

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340155

研究課題名（和文） 原始地球大気における天体衝突による HCN 生成量の実験的推定

研究課題名（英文） Experimental estimation of HCN production rate due to meteoritic impacts in the primordial Earth atmosphere

研究代表者

杉田 精司 (SUGITA SEIJI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：80313203

研究成果の概要（和文）：本研究では、炭素に富む小天体が窒素に富む大気中で高速衝突した際に生じる化学反応過程を調べた。衝突実験のフィルター分光計測からは、高温の衝突破片から有機ガスが昇華して周辺大気と反応して CN ラジカルが生成される過程の定量観測ができた。また、最終生成ガスの分析からは、ごく微量ながら HCN の生成を確認でき、天体衝突現象によって高温で安定な CN ラジカルのみでなく室温常圧でも安定なシアン化合物が形成されうることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）： In this research project, we studied chemical reaction processes that occur during hypervelocity impacts of carbon-rich meteoritic bodies to primordial Earth with an N₂-rich atmosphere. Band-filter imaging observations of impact experiments simulating such meteoritic collisions allowed us quantitatively describe the processes that hot impact fragments evaporates to organic gas and form CN radical through reaction with a surrounding N₂-rich atmosphere. Analyses of final gas product have revealed that significant amounts of HCN are produced, strongly suggesting that cyanic compounds, which are stable in room temperature and pressure and important in the origin of life, can be synthesized by meteoritic impacts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2009 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、地球宇宙化学

キーワード：大気圏・水圏化学

1. 研究開始当初の背景

CO₂-N₂ 中心の原始地球大気の中では、有機物の収率は極端に低くなってしまったため(e.g., Cameides & Walker, 1981; Fegley et al. 1986)、近年では還元的な宇宙空間で生成された有機物が隕石や惑星間塵 (IDP) の形で地上に持ち込まれたのではないかという説が唱えられることとなった(e.g., Chyba & Sagan, 1992; Pierazzo & Melosh, 2000)。しかし、大きな隕石は地表面での高速衝突に際して非常

な高温高压を経験し、中の有機物は分解してしまう(Mukhin et al. 1989; Sugita and Schultz, 2003)。一方、サイズの小さい惑星間塵は、惑星間空間を浮遊する間に大量の宇宙線を浴び、ほとんどの有機物がグラファイト化してしまい、生命反応には役立たなくなってしまうことが指摘されている。

こうした中、最近の申請者らの予備的な実験結果から、高速隕石衝突において隕石物質と地球大気との化学反応により大量の有

機物が生成される可能性が示唆された (Sugita and Schultz, 2000)。具体的には、酸化的なモデル大気中で還元炭素を含む粒子を衝突させたところ、大気中の窒素と衝突粒子中の還元炭素が結合して CN ラジカル分子の強い輝線が観測されたのである。このラジカルは、HCN 分子の前駆体として知られている。HCN 分子は、アデニンのような核酸塩基やアミノ酸の合成に中心的役割を果たし、生命の誕生に関して極めて重要な分子であり、いわば生命の前駆物質と考えられている (e.g., Ferris and Hagan, 1984)。もし隕石中の有機物が原始地球大気中の窒素や水素と化学反応して大量の HCN を生成すれば、生命誕生に非常に大きな役割を果たした可能性が高い。

2. 研究の目的

だが、我々の予備的な実験結果からは、観測された CN ラジカルの絶対量も 1 モルの CN ラジカルから何モルの HCN が生産されるのかの収率も得られていない。そこで、本研究計画では、この 2 点の調査を主たる目的として研究を行った。

3. 研究の方法

そこで本計画では、パルスレーザーを用いた直接照射実験、東大柏キャンパスのレーザー銃および宇宙科学研究センターの 2 段式軽ガス銃の 3 つを用いて窒素雰囲気中で炭素質隕石物質を用いた高速衝突実験を行い、高速分光観測により各衝突条件下での CN ラジカルと HCN 分子の生成効率を測定した。

4. 研究成果

レーザーの直接照射によるグラファイト、炭素鋼、炭素質隕石 (マーチソン隕石) の 3 種類の蒸発実験を実施した。実験からは、鉄が標的物質中に含まれる場合には生成ガスにシアン化水素 (HCN) が大量に発生することはないものの、凝縮物中に CN 基が多く含まれることが FTIR 計測および燃焼ガス計測によって確認された。また、CN 基の量は、雰囲気ガス中の N_2 濃度の関数として単調減少することも確認された。これらの固体凝縮物は、熱分解や加水分解の反応により水溶液中に HCN の形で溶出する可能性が高く、原始地球の海にシアン化合物が隕石衝突によって大量に供給される可能性を強く示唆する。

宇宙科学研究センターの 2 段式軽ガス銃を用いて衝突実験を行い、高速分光計測、フィルター分光計測、固体物質の回収分析を同時に実施した。まず、高速分光計測では、従来の NASA/Ames 研究センターでは計測がなされていなかった CN および C_2 分子の高波長分解能計測と時間分解計測 (ストリークカメラを用いて気体分子発光を時間の関数として計測) に成功した。高波長分解計測の結果

は、 $\sim 7\text{km/s}$ の炭素質弾丸の高速衝突において発生する分子の熱状態がレーザー照射で発生する高温プラズマの熱状態でよく再現できることを示していた。また、時間分解計測の結果は、CN の濃度が時間と共に上昇することを示しており、衝突蒸気雲中で高い生成量を持っていることを明らかにした。さらに、フィルター分光計測では、CN および C_2 の分子発光バンドに対応した波長の光を画像として計測することによって、CN の場所による生成効率の違いを調査した。実験結果は、理論的予測どおり衝突蒸気雲の先端部分において CN の相対濃度が最も高くなることを示唆するものであった。

さらに、衝突生成ガスの捕獲装置を製作して質量分析装置による衝突生成 HCN の定性分析を行った。実験からは微量ながら HCN の形成を確認でき、天体衝突現象によって高温で安定な CN ラジカルのみでなく室温常圧でも安定なシアン化合物が形成されうることが初めて明らかにした。この実験は、メタン、水素、アンモニアなど還元性のガスを大気中に入れずに行われており、酸化還元度において中性な N_2 大気中で行われている点が重要である。HCN は、生命の起源におけるいわゆる化学進化段階において非常に重要な役割を果たすことが指摘されている分子である。本研究の結果は、天体衝突によって還元物質が宇宙空間からもたらされれば、地球原始大気は必ずしも還元的でなくとも窒素に富んでいれば大量の生命の材料物質をその場生産できる可能性を示しているという意味で非常に大きな意義がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 0 件)

- 1) Hong, P. K., S. Sugita, N. Okamura, Y. Sekine, H. Terada, N. Takatoh, Y. Hayano, T. Fuse, T. -S. Pyo, H. Kawakita, D. H. Wooden, E. F. Young, P. G. Lucey, K. Kurosawa, H. Genda, J. Haruyama, R. Furusho, T. Kadono, R. Nakamura, S. Kamata, T. Hamura, T. Sekiguchi, M. Sôma, H. Noda, J. Watanabe, A ground-based observation of the LCROSS impact events using the Subaru Telescope, *Icarus*, 掲載確定, 2011(査読有).
- 2) Sekine, Y., H. Genda, S. Sugita, T. Kadono, and T. Matsui, Replacement and late formation of atmospheric N_2 on undifferentiated Titan by impacts, *Nature Geosci.*, 掲載確定, 2011(査読有).
- 3) Kurosawa K., S. Sugita, T. Kadono, K. Shigemori, Y. Hironaka, K. Otani, T. Sano, A. Shiroshita, N. Ozaki, K. Miyaniishi, T. Sakaiya, Y. Sekine, S. Tachibana, K. Nakamura, S. Fukuzaki, S. Ohno, R. Kodama, and T. Matsui In-situ spectroscopic observations of silicate

- vaporization due to >10 km/s impacts using laser driven projectiles, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L23203, doi:10.1029/2010GL045330, 2010. (査読有)
- 4) Kurosawa, K. and S. Sugita, A pressure measurement method for high-temperature rock vapor plumes using atomic line broadening, *J. Geophys. Res.*, 115, E10003, doi:10.1029/2010JE003575, 2010. (査読有)
 - 5) Ishimaru, R., H. Senshu, S. Sugita, and T. Matsui, A hydrocode calculation coupled with reaction kinetics of carbon compounds within an impact vapor plume and its implications for cometary impacts on Galilean satellites, *Icarus*, 210, 411-423, 2010. (査読有)
 - 6) Fukuzaki, S., Y. Sekine, H. Genda, S. Sugita, T. Kadono, and T. Matsui, Impact-induced N₂ production from ammonium sulfate (NH₄)₂SO₄: Implications for the origin and evolution of N₂ in Titan's atmosphere, *Icarus*, 209, 715-722, 2010. (査読有)
 - 7) Kadono, T., S. Sugita, T. Ootubo, S. Sako, T. Miyata, R. Furusho, M. Honda, H. Kawakita, J. Watanabe, Interpretation on Deep Impact results: Radial distribution of ejecta and the size distribution of large-sized grains, *Earth Planet. Sp.*, 62, 13-16, 2010. (査読有)
 - 8) Kadono, T., T. Sakaiya, Y. Hironaka, K. Otani, T. Sano, T. Fujiwara, T. Mochiyama, K. Kurosawa, S. Sugita, Y. Sekine, W. Nishikanbara, T. Matsui, S. Ohno, A. Shiroshita, K. Miyanishi, N. Ozaki, R. Kodama, A. M. Nakamura, M. Arakawa, S. Fujioka, and K. Shigemori, Impact experiments with a new technique for acceleration of projectiles to velocities higher than Earth's escape velocity 11.2 km/s, *J. Geophys. Res.*, 115, E04003, doi:10.1029/2009JE003385, 2010. (査読有)
 - 9) 黒澤耕介, 門野敏彦, 杉田精司, 重森啓介, 弘中陽一郎, 尾崎典雅, 城下明之, 長勇一郎, 境家達弘, 橘省吾, 大野宗祐, 藤岡慎介, Tommaso Vinci, 兒玉了祐, 松井孝典, 宇宙速度衝突による珪酸塩蒸発過程のその場時間分解発光分光観測, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 19, 332-339, 2010. (査読有)
 - 10) 洪鵬, 岡村奈津子, 杉田精司, 関根康人, 寺田宏, 高遠徳尚, 早野裕, 布施哲治, 河北秀世, 黒澤耕介, 春山純一, 古荘玲子, 門野敏彦, 中村良介, 羽村太雅, 関口朋彦, 渡部潤一, LCROSS 衝突の放出物のすばる望遠鏡による地上観測, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 19, 96-104, 2010. (査読有)
 - 11) 廣井孝弘, 杉田精司, C型小惑星の探索における可視・近赤外分光の役割, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 19, 36-47, 2010. (査読有)
 - 12) 杉田精司, 黒澤耕介, 門野敏彦, プラズマ・核融合学会誌, 高速レーザー銃がもたらす惑星間衝突物理学の進展, 86, 10, 589-593, 2010 (査読無).
 - 13) Hamura, T., K. Kurosawa, S. Hasegawa, T. Matsui, and S. Sugita, High-Speed Time-Series Spectroscopic and Imaging Observations on Aerodynamic Ablation Processes within Vapor Plumes due to Oblique Impacts, *Proc. of 43th Lunar and Planet. Symp.*, 掲載確定, 2010 (査読無).
 - 14) Kadono, T., T. Sakaiya, Y. Hironaka, K. Otani, T. Sano, T. Fujiwara, T. Mochiyama, K. Kurosawa, S. Sugita, Y. Sekine, W. Nishikanbara, T. Matsui, S. Ohno, A. Shiroshita, K. Miyanishi, N. Ozaki, R. Kodama, A. M. Nakamura, M. Arakawa, S. Fujioka, and K. Shigemori, Impact experiments with projectiles at velocities higher than 10 km/s, *Proc. 16th APS Topical Conf. on Shock Compression of Condensed Matter*, 875-877, 2009. (査読有)
 - 15) Sugita, S., and P. H. Schultz, Efficient cyanide formation due to impacts of carbonaceous bodies on a planet with a nitrogen-rich atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L20204, doi:10.1029/2009GL040252, 2009. (査読有)
 - 16) Kurosawa, K., S. Sugita, K. Fujita, K. Ishibashi, T. Kadono, S. Ohno, T. Matsui, Rotational-Temperature Measurements of Chemically Reacting CN using Band-Tail Spectra, *J. Thermophys. Heat Transfer*, 23, 463-472, 2009. (査読有)
 - 17) Kawaragi, K. Y. Sekine, T. Kadono, S. Sugita, S. Ohno, K. Ishibashi, K. Kurosawa, T. Matsui, S. Ikeda, Direct measurements of chemical composition of shock-induced gases from calcite: an intense global warming after the Chicxulub impact due to the indirect greenhouse effect of carbon monoxide, *Earth, Planet. Sci. Lett.*, 282, 56-64, 2009. (査読有)
 - 18) Namiki, N., T. Iwata, K. Matsumoto, H. Hanada, H. Noda, S. Goossens, M. Ogawa, N. Kawano, K. Asari, S. Tsuruta, Y. Ishihara, Q. Liu, F. Kikuchi, T. Ishikawa, S. Sasaki, C. Aoshima, K. Kurosawa, S. Sugita, and T. Takano, Results from the Japanese SELENE mission shed light on differences between the far and near sides of the Moon, *Science*, 323, 900-905, 2009. (査読有)
 - 19) 杉田精司, 宮本英昭, 橘省吾, 岡田達明, 出村裕英, 大森聡一, 並木則行, 高橋幸弘, 三浦弥生, 長尾敬介, 三河内岳, 佐藤毅彦, MELOS の目指す火星表層科学探査, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 18, 79-83, 2009. (査読有)
 - 20) 並木則行, 杉田精司, 石原吉明, 野田寛大, 佐々木 晶, 岩田隆浩, 花田英夫, 荒木博

- 士, 黒澤耕介, 松村瑞秀, 横山聖典, 鎌田俊一, 久保公央, 森朝子, 佐藤麻里, 月衝突盆地地形補償メカニズムの比較研究, *日本測地学会誌*, 55, 291-305, 2009. (査読有)
- 21) 門野敏彦, 重森啓介, 境家達弘, 弘中陽一郎, 佐野孝好, 大谷一人, 藤原隆史, 持山智浩, 藤岡慎介, 黒澤耕介, 城下明之, 宮西宏併, 尾崎典雅, 関根康人, 杉田精司, 松井孝典, 橘省吾, 大野宗祐, 荒川政彦, 竹内拓, 中村昭子, 高出力レーザーを使った弾丸飛翔体加速および衝突実験: 秒速10kmを越える衝突, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 18, 4-9, 2009. (査読有)
- 22) Kurosawa, K., S. Sugita, S. Hasegawa, Y. Nagaoka, and T. Matsui, Spectroscopic observations on CN radical production process due to oblique impacts: Thermodynamic states of impact- and laser-induced CN radicals, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 146-149, 2009(査読無).
- 23) Ishibashi, K., S. Ohno, K. Wada, H. Senshu, M. Kobayashi, T. Arai, N. Namiki, T. Matsui, Y. Cho, S. Kamata, S. Sugita, Y. Iijima, S. Tazawa, H. Noda, S. Sasaki, Effect of Spectral Quality on the Precision of Elemental Abundance Prediction Using Partial Least Squares Regression in Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 141-145, 2009(査読無).
- 24) Cho, Y., S. Sugita, K. Ishibashi, S. Ohno, S. Kamata, K. Kurosawa, Y. Sekine, T. Arai, M. Kobayashi, H. Senshu, K. Wada, N. Namiki, and T. Matsui, Toward Applications of LIBS to Planetary Explorations: Laser Energy Effects, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 135-140, 2009(査読無).
- 25) Tsuboi, N., S. Sugita, T. Hiroi, K. Nagata and M. Okada, Development of a new modified Gaussian model (MGM) scheme using the cross validation method, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 118-122, 2009(査読無).
- 26) Namiki, N., Y. Ishihara, S. Sasaki, S. Sugita, T. Iwata, S. Kamata, A. Mori, and M. Sato, Comparative study of compensation mechanism of lunar impact basins, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 71-75, 2009(査読無).
- 27) Sasaki, S., Y. Ishihara, H. Araki, H. Noda, H. Hanada, K. Matsumoto, S. Goossens, N. Namiki, T. Iwata, S. Sugita, Shape and Structure of the Lunar South Pole-Aitken Basin from KAGUYA(SELENE) Gravity/Topography, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 63-66, 2009(査読無).
- 28) Kamata, S., S. Sugita, and Y. Abe, A new scheme for the calculation of viscoelastic deformation in a planet with time-dependent viscosity structure, *Proc. of 42th Lunar and Planet. Symp.*, 38-42, 2009(査読無).
- 29) Kadono T. K. Shigemori, S. Fujioka, K. Otani, T. Sano, Y. Sakawa, H. Azechi, N. Ozaki, T. Kimura, K. Miyanishi, T. Endo, M. Arakawa, A. M. Nakamura, S. Sugita, and T. Matsui, Impact vaporization of rocks using a high-power laser, *Proc. Fifth Intl. Conf. on Inertial Fusion Sci. and Applications, (IFSA2007), J. Phys. Conf. Ser.*, 112, 042014, 2008. (査読有)
- 30) Hashimoto, G. L., M. Roos-Serote, S. Sugita, M. S. Gilmore, L. W. Kamp, R. W. Carlson, and K. H. Baines, Felsic highland crust on Venus suggested by Galileo Near-Infrared Mapping Spectrometer data, *J. Geophys. Res.* 113, E00B24, doi:10.1029/2008JE003134, 2008. (査読有)
- 31) Ohno, S., T. Kadono, K. Ishibashi, K. Kawaragi, S. Sugita, E. Nakamura, and T. Matsui, Direct measurements of impact devolatilization of calcite using a laser gun, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L13202, doi:10.1029/2008GL033796, 2008. (査読有)
- 32) Chambers, L. S., J. N. Cuzzi, E. Asphaug, J. Colwell and S. Sugita, Hydrodynamical and Radiative Transfer Modeling of Meteoroid Impacts into Saturn's Rings, *Icarus*, 194, 623-635, 2008. (査読有)
- 33) Sekine, Y., S. Lebonnois, H. Imanaka, T. Matsui, B. N. Khare, E. L.O. Bakes, C. P. McKay, and S. Sugita, The role of organic haze in Titan's atmospheric chemistry II: Effect of heterogeneous reaction to the hydrogen budget and chemical composition of the atmosphere, *Icarus*, 194, 201-211, 2008. (査読有)
- 34) Sekine, Y., H. Imanaka, T. Matsui, B. N. Khare, E. L.O. Bakes, C. P. McKay, and S. Sugita, The role of organic haze in Titan's atmospheric chemistry I: Laboratory investigation on heterogeneous reaction of atomic hydrogen with Titan tholin, *Icarus*, 194, 186-200, 2008. (査読有)
- 35) 関根康人, 今中宏, 杉田精司, セバスチャン レボノア, エマ ベイクス, ピシユン カレー, クリス マッケイ, 松井孝典, タイタン大気における有機物エアロゾルの表面不均一反応とその役割, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 17, 105-116, 2008. (査読有)
- 36) 大野宗祐, 門野敏彦, 河原木皓, 石橋高, 黒澤耕介, 関根康人, 杉田精司, 中村栄三, 松井孝典, レーザー銃実験と衝突脱ガスの新しい描像, *日本惑星科学会誌 遊星人*, 17, 98-104, 2008. (査読有)
- 37) Kamata, S., K. Kurosawa, S. Sugita, Y. Sekine, M. Yokoyama, K. Ozawa and T. Matsui, Toward applications of LIBS to the lunar and asteroid explorations: Effects of laser pulse repetition rate, *Proc. of 41th Lunar and Planet. Symp.*,

- 159-162, 2008(査読無).
- 38)Kurosawa, K., Y. Sekine, S. Sugita, N. Ohkouchi, N. O. Ogawa, K. Ishibashi, T. Kadono, S. Ohno, and T. Matsui, Cyanide production by chemical reactions between impactor material and an ambient atmosphere after oblique impacts, *Proc. of 41th Lunar and Planet. Symp.*, 163-167, 2008(査読無).
- 39)T. Kadono, Y. Hironaka, K. Otani, T. Sano, T. Fujiwawa, K. Takarada, A. Shiroshita, S. Fujioka, and K. Shigemori, T. Sakaiya, K. Miyanishi and N. Ozaki, K. Kurosawa, S. Sugita, and T. Matsui, Impact Vaporization with a velocity larger than 10 km/s, *Proc. of 41th ISAS Lunar Planet. Symp.*, 41, 35-38, 2008(査読無).
- 40)杉田精司、ディープインパクト探査が明かす彗星の内部構造と太陽系の起源, *低温科学*, 66, 97-105, 2008(査読無).
- [学会発表] (計 25 件)
- 1)Kurosawa, K. and S. Sugita, Pressure measurements of self-luminous rock vapors using atomic line broadening, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXII, #1714, The Woodlands, TX, USA., Mar. 7, 2011.
- 2)Sugita, S., K. Nagata, N. Tsuboi, T. Hiroi, and M. Okada, A new modified Gaussian model (MGM) using a Bayesian estimation approach: Toward automated analysis of planetary spectra, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXII, #2624, The Woodlands, TX, USA., Mar. 7, 2011.
- 3)Kamata, S., S. Sugita, Y. Abe, Y. Ishihara, Y. Harada, N. Namiki, T. Iwata, H. Hanada, and H. Araki, Radiogenic heat source concentration in the lunar farside crust estimated from viscoelastic deformation of impact basins, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXII, # 1648, The Woodlands, TX, USA., Mar. 7, 2011.
- 4)Barnouin, O. S., C.M., Ernst, J.T. Heinick, S. Sugita, M.J. Cintala, D.A. Crawford, and T. Matsui, Experimental results investigating impact velocity effects on crater growth and the transient depth-to-diameter ratio, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXII, #2258, The Woodlands, TX, USA., Mar. 7, 2011.
- 5)Ohno, S., T. Kadono, K. Kurosawa, T. Hamura, T. Sakaiya, S. Sugita, K. Shigemori, Y. Hironaka, T. Watari, and T. Matsui, Experimental study of SO₃/ SO₂ ratio in impact vapor clouds using a high-speed laser gun, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXII, #1752, The Woodlands, TX, USA., Mar. 7, 2011.
- 6)Ishibashi, K., S. Ohno, T. Arai, K. Wada, S. Kameda, H. Senshu, N. Namiki, T. Matsui, Y. Cho, and S. Sugita, Prediction of the elemental composition of olivine by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) , *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXII, # 1743, The Woodlands, TX, USA., Mar. 7, 2011.
- 7)Ishibashi, K. S. Ohno, K. Wada, H. Senshu, M. Kobayashi, T. Arai, N. Namiki, T. Matsui, Y. Cho, Y. S. Kamata, S. Sugita, Y. Iijima, S. Tazawa, H. Noda, S. Sasaki, Effect of Spectral Quality on Laser-induced Breakdown Spectroscopy Measurements: The Precision of Elemental Abundance Prediction Using Partial Least Squares Regression, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1719, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 8)Fukuzaki, S., Y. Sekine, S. Sugita, H. Genda, T. Kadono, T. Matsui, Has Titan's atmospheric N₂ been replenished from Crustal NH₃ Through Cometary Impacts?, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1731, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 9)Kamata, S., S. Sugita, Y. Abe, Y. Ishihara, Y. Harada, N. Namiki, T. Iwata, H. Hanada, H. Araki, Viscoelastic Deformation of Lunar Basins: Implications for Lunar Farside Thermal History Based on Selenodetic Data of Kaguya, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1727, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 10)Tsuboi, N., S. Sugita, T. Hiroi, K. Nagata, M. Okada, A New Modified Gaussian Model (MGM) Using the Cross-Validation Method, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1744, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 11)Kurosawa, K., S. Sugita, T. Kadono, and 11 coauthors, Roles of Shock-induced Ionization due to >10 km/s Impacts on Evolution of Silicate Vapor Clouds, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1785, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 12)Okamura, N., S. Sugita, and 17 coauthors, The Estimate of the Amount of Ejecta in LCROSS Mission, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1821, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 13)Hong, P. K., S. Sugita, and 17 coauthors, Hot Bands Observation of Water in Ejecta Plume of LCROSS Impact Using the Subaru Telescope, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #1939, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 14)Cho, Y., S. Sugita, and 11 coauthors, Effects of laser energy of LIBS spectra, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXXI, #2158, The Woodlands, TX, USA., Mar. 4, 2010.
- 15)Sugita, S., K. Kurosawa, T. Kadono, and 18 coauthors, In-situ spectroscopic observation of

- silicate vaporization due to >10km/s impacts using a laser-driven launcher, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXX, #2493, The Woodlands, TX, USA., Mar. 24, 2009.
- 16) Kurosawa, K., Y. Sekine, S. Sugita, N. Ohkouchi, N. O. Ogawa, K. Ishibashi, T. Kadono, S. Ohno, and T. Matsui, Cyanide production by chemical reactions between impactor material and an ambient atmosphere after oblique impacts, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXX, #1636, The Woodlands, TX, USA., Mar. 24, 2009.
- 17) Fukuzaki, S., Y. Sekine, K. Kurosawa, S. Sugita, T. Kadono, and T. Matsui, Impact devolatilization of ammonium sulfate: implications for the origin of N₂ in Titan's atmosphere, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXX, #1575, The Woodlands, TX, USA, Mar. 24, 2009.
- 18) Kurosawa, K., S. Sugita, T. Kadono, and 18 coauthors, Spectroscopic observations of a liquid-vapor phase change of silicate in the warm dense matter region, *International Workshop on Warm Dense Matter 2009* (Mar. 16 – 19, Hakone), 2009.
- 19) Namiki, N., S. Sugita, and 15 coauthors, Comparative study of compensation mechanism of lunar impact basins from new gravity field model of SELENE (KAGUYA), *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXX, #1519, The Woodlands, TX, USA, Mar. 24, 2009.
- 20) Kadono, T., Y. Hironaka, K. Otani, T. Sano, T. Fujiwara, K. Takarada, A. Shiroshita, S. Fujioka, K. Shigemori, T. Sakaiya, K. Miyanishi, N. Ozaki, K. Kurosawa, S. Sugita, T. Matsui, Technique for acceleration of projectiles to a velocity larger than the escape velocity of Earth 11.2 km/s, *AGU Fall Meeting*, #P31A-1387, San Francisco, USA, Dec. 8, 2008.
- 21) Kadono, T., K. Shigemori, S. Fujioka, K. Otani, T. Sano, A. Shiroshita, Y. Hironaka, Y. Sakawa, N. Ozaki, T. Kimura, K. Miyanishi, T. Endo, M. Arakawa, A. Nakamura, S. Sugita, T. Matsui, Projectile acceleration to a velocity over the Earth's escape velocity and application in planetary science, *American Physical Society, 2008 APS April Meeting and HEDP/HEDLA Meeting*, #S1.024, St. Louis, USA, (Apr. 11-15) 2008.
- 22) Sugita, S., Hypervelocity Impact experiments in planetary environments: HITEN, Deep Impact, SMART-1 and beyond, *Japan-France Workshop on High Energy Density Science*, p. 10, Oct. 8, Tokyo, 2008.
- 23) Ohno, S., T. Kadono, K. Ishibashi, K. Kawaragi, S. Sugita, E. Nakamura, and T. Matsui, Impact devolatilization of calcite; Direct measurements using a laser gun, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXIX, #2046, League City, TX, USA., Mar. 11, 2008.
- 24) Sugita, S., T. Kadono, and 13 coauthors, Acceleration of projectiles to >10 km/s with a laser gun: Toward silicate impact vaporization experiments, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXIX, #2501, League City, TX, USA., Mar. 11, 2008.
- 25) Kurosawa, K., K. Ishibashi, S. Sugita, T. Kadono, S. Ohno, and T. Matsui, An experimental study on HCN production in redox-neutral atmospheres by oblique impacts: size and velocity scaling, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, XXXIX, #2037, League City, TX, USA., Mar. 11, 2008.
- [図書] (計 3 件)
- 1) Mori, Y. T. Sekiguchi, S. Sugita, and 7 coauthors, One month of near-IR imaging photometry of comet 9P/Tempel 1, in *Deep Impact as a world observatory event: Synergies in space, time, and wavelength, ESO Astrophysics Symposia*, edited by H. U. Käufl and C. Serken, Springer Verlaag Berlin, 323-328, 2009.
- 2) Kadono, T., S. Sugita, and 8 coauthors, The subsurface structure of comet 9P/Tempel 1 projected into the dust plume, *ibid*, 143-146, 2009.
- 3) Ootsubo, T., S. Sugita, J. Watanabe, M. Honda, H. Kawakita, T. Kadono, R. Furusho, Subaru/COMICS mid-infrared spectroscopic observations of the dust plume from comet 9P/Tempel, *ibid*, 131-137, 2009.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
杉田 精司 (SUGITA SEIJI)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授
研究者番号：80313203
- (2) 研究分担者
佐々木 岳彦 (SASAKI TAKEHIKO)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号：90242099
- 門野 敏彦 (KADONO TOSHIHIKO)
大阪大学・レーザーエネルギー学研究センター・准教授
研究者番号：60359198
- (3) 連携研究者
該当なし