

平成 20 年 4 月 15 日現在

研究種目：基盤研究 (S)

研究期間：2004～2008

課題番号：16104007

研究課題名 (和文) 星の進化とシリケートダスト進化の関係の実験的解明

研究課題名 (英文) Experimental study on the relationship between evolution of stars and silicate dust

研究代表者

永原 裕子 (NAGAHARA HIROKO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：80172550

研究成果の概要：原始惑星系円盤、晩期星周囲のガス中におけるダスト形成を理論的に考察し、天文観測と対比可能とするため、凝縮装置を開発し、ダスト凝縮にともなう種々のカイネティックパラメータを世界で初めて実験により決定した。その結果を用い、星周におけるダストの化学進化、ダストとガスの分離による化学分別をモデルにより考察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 16 年度	45,700,000	13,710,000	59,410,000
平成 17 年度	18,400,000	5,520,000	23,920,000
平成 18 年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
平成 19 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
平成 20 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	81,300,000	24,390,000	105,690,000

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：星、ダスト、ガス、凝縮、ケイ酸塩

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 星の回りにケイ酸塩ダスト(微粒子)が沢山存在することが明らかとなってきた
- (2) ダスト形成は物理条件に支配される
- (3) 星の回りにおけるダスト形成を理論的に考察することができていない
- (4) 理論的考察ができない理由は、ダスト凝縮速度、非平衡条件における生成ダスト種などについての定量的実験データが存在しないためである

## 2. 研究の目的

- (1) 凝縮実験装置の開発
- (2) Mg-ケイ酸塩凝縮のカイネティックパラメータの決定、非平衡凝縮における凝縮相の実験的決定
- (3) ダスト進化モデルの開発

- (4) 実験結果を用い、星周におけるダスト進化の推定

## 3. 研究の方法

- (1) 分子線エピタキシー型凝縮装置(ガス発生装置、基盤加熱装置つき)および赤外線集中加熱型凝縮装置の開発
- (2) Mg-ケイ酸塩の凝縮実験、フォルステライトと SiO<sub>2</sub> ガスの反応実験、金属鉄の凝縮実験
- (3) 実験産物の電界放射型走査電子顕微鏡による観察
- (4) 実験結果と熱力学的考察から、凝縮速度係数の決定
- (5) 星のまわりにおけるダスト粒子進化モデルの開発
- (6) 実験結果とモデルを用いたダスト進化のコンピュータシミュレーション

#### 4. 研究成果

##### (1) 星周環境を実現する高温・低压条件下のダスト形成実験を可能とするエピタキシー型真空装置星装置の開発

装置はタングステンメッシュヒーターによるガス発生部分、赤外線導入加熱機構により独立に温度コントロールされる基盤、水素・酸素ガス導入システム等から構成される。星周環境でダストの形成される温度(約 1000°C)で、Mg ケイ酸塩凝縮、ガス反応が可能である



##### (2) Mg-ケイ酸塩の非平衡な凝縮相、凝縮条件の決定

Mg-Si-O ガスを様々な温度で凝縮させると、1200°C 程度ではフォルステライト (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)、約 1150°C ではフォルステライトとエンスタタイト (MgSiO<sub>3</sub>)、1050°C 以下では非晶質 Mg-ケイ酸塩が形成されることが明らかとなった。高温で凝縮したフォルステライトとガスの反応が制約される場合は(図の Type 2)、エンスタタイトは形成されない。また、酸素が少ないと金属ケイ素が凝縮しうる。フォルステライトの不均質凝縮に必要な過飽和度は、凝縮温度 1200°C で約 50 であり、もっとも低温は約 800°C で、係数は 10000 と決定された。フォルステライト凝縮の過飽和比条件が決定されたのは初めてである。

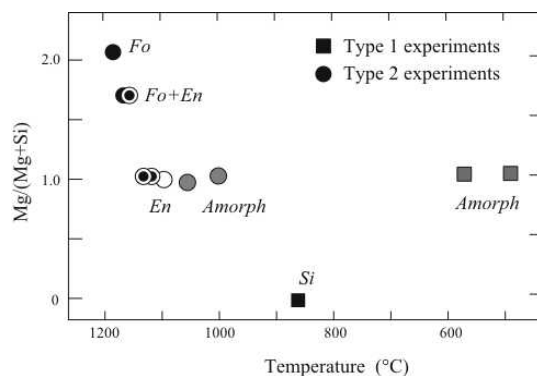


図2 : Mg-Si-O ガスからの凝縮物の凝縮温度による化学組成変化および相 (Fo: forsterite, En: enstatite, Amorph: amorphous)。

##### (3) 金属鉄の凝縮条件の決定

金属鉄は種々の基板上、広い温度範囲で凝縮することが示された(写真は凝縮した鉄の単結晶粒子)。不均質核形成の条件を過

飽和比 (S) の関数として決定することに成功した。凝縮係数は S~5 の場合 0.5、S~50 の場合 0.8、S>50 で 1 となる。S~5 が不均質核形成のおこる最低の条件であることが明らかとなった。不均質核形成の条件がガスの過飽和比の関数として決定されたのは初めてである。この結果は、以下のモデル計算を可能とした。

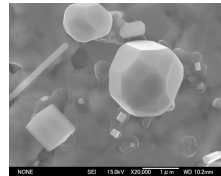


図3 基板上に凝縮した金属鉄粒子

##### (4) 結晶異方性と赤外スペクトルの関係

フォルステライトを水素ガス中で蒸発させると、異方的に蒸発することが明らかとなった。異方性の程度は温度、水素圧、蒸発程度により異なる。そのため、星周環境に応じ、フォルステライトの安定な結晶形状が異なることが実験により明らかとなった。それをもとに赤外スペクトルを計算すると、条件に応じた特徴的なピーク位置、ピーク強度が出現する。星周を赤外線天文観測し、フォルステライト存在する場合、ピークからダスト形成条件の推定が可能となることが示された。

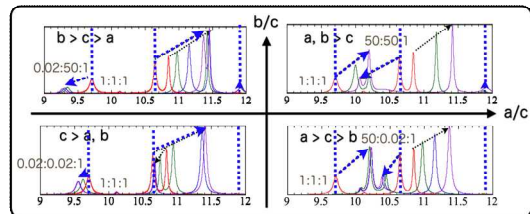


図4 : フォルステライト結晶軸比の変化に応じた赤外線スペクトル変化。

##### (5) 星周環境におけるダスト形成モデルの開発

太陽系元素存在度組成のガスの冷却に伴う、不均質核形成をと考慮したダスト凝縮モデルを構築した。ガスの圧力、冷却速度の関数として、凝縮するダスト種、ケイ酸塩と金属鉄の存在形態、粒子サイズ分布が変化することを示した。重要な結果として、金属鉄の不均質核形成により、フォルステライトの周囲に金属鉄が凝縮し、フォルステライトはガスと直接接することができなくなる。そのためエンスタタイト形成が阻害され、より低温で SiO<sub>2</sub> が出現することが明らかとなった。結果をまとめると、圧力とガスの冷却速度の空間において、最終

産物がフォルステライトを核とし金属鉄がとりまく粒子と SiO<sub>2</sub> からなる条件 (図のピンクの記号) とフォルステライトやエンスタタイトの出現できる条件 (その他の色) が存在することが示された。

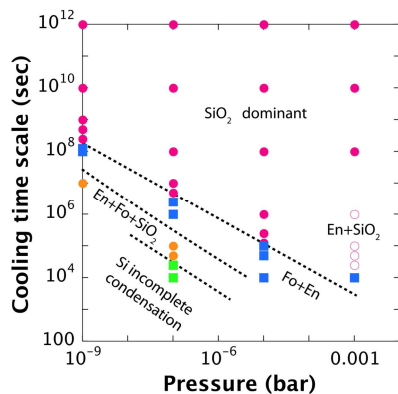


図5：太陽系組成ガスの非平衡凝縮により出現する主要なケイ酸塩相。

(6) 原始惑星系円盤におけるガスとダストの相対運動による化学分別モデル開発

原始太陽系のガスが冷却によりダストが形成され、密度差によりガスから分離することでおこる化学分別を、(2)-(5)の結果を用いて検討した。ダスト分離のおこる条件が異なると、ガス組成が異なり、その結果新たなダストの核形成および成長の過程が異なる。その結果分離したダスト組成も異なる。分離したダストは原始惑星の素材になると考えられるため、この過程が原始太陽系円盤における化学分別につながる。コンドライト隕石にみられる Mg/Si、Fe/Si 化学分別が形成されるためには、図のオレンジの条件に示す冷却速度で、ミクロンサイズのダスト分離が必要であることが明らかとなった。

H-He-C-N-O-Mg-Si-Fe, 10<sup>-5</sup> bar

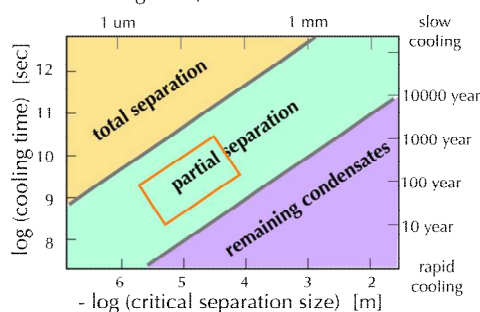


図6：原始太陽系円盤においてガスの冷却速度とダストの分離サイズにおいて、ダストの分離度合い (化学分別程度) のちがひ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 18 件)

- (1) Nagahara, H., Ozawa, K., Ogawa, R., Tachibana, S., and Chiba, H. (2009):

Laboratory condensation and reaction of silicate dust. In "Cosmic Dust - Near and Far", Th. Henning, E. Grün, J. Steinacker (eds.). ASP Conf. Ser., (印刷中).

- (2) Nagahara, H., Kita, N., Ozawa, K. and Morishita, Y. (2008) : Condensation of major element during chondrule formation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72, 1442-1465.
- (3) Kurahashi, E., Kita, N. T., Nagahara, H., and Morishita, Y. (2008) : 26Al-26Mg systematics of chondrules in a primitive CO chondrite. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72, 3865 - 3882.
- (4) Takigawa A., Miki J., Tachibana S., Huss G. R., Tominaga N., Umeda H. and Nomoto K. (2008) Injection of short-lived radionuclides from a faint supernova with mixing-fallback into the early solar system. *Astrophys. J* 688, 1382-1387.
- (5) 瀧川 晶・横山聖典・橘 省吾・永原裕子・小澤一仁 (2007) 原始惑星系円盤におけるフォルステライト蒸発の赤外スペクトルへの影響. *日本惑星科学会誌 遊星人* 16, 128-134.
- (6) 橘 省吾 (2007) 物質科学的研究・観測的研究で探る惑星系の誕生と進化. *遊星人* 16, 94-98.
- (7) 三木順哉・瀧川 晶・橘 省吾・Huss G. R. (2007) 短寿命放射性核種存在度と超新星元素合成モデルから推定する太陽系形成環境. *日本惑星科学会誌 遊星人* 16, 135-145.
- (8) Yamada, M., Tachibana, S., Nagahara, H. and Ozawa, K. (2006) : Anisotropy of Mg isotopic fractionation during evaporation and Mg self-diffusion of forsterite in vacuum. *Planet. Space Sci.* 54, 1096-1106.
- (9) Lauretta, D. S., Nagahara, H. and Alexander, C. M. O'D. (2006): Petrology of ferromagnesian silicate chondrules. In *Meteorites and the Early Solar System II*. Univ. Arizona Press, 431-459.
- (10) Suto H., Sogawa H., Tachibana S., Koike C., Karoji H., Tsuchiyama A., Chihara H., Mizutani K., Akedo J., Ogiso K., Fukui T., Ohara S. (2006) Low temperature single crystal reflection spectra of forsterite. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Main Journal* 370, 1599-1606.
- (11) Tachibana S., Huss G. R., Kita N. T., Shimoda G. and Morishita Y. (2006) 60Fe in chondrites: Debris from a nearby supernova in the early solar system? *Astrophys. J. Letters* 639, L87-L90.
- (12) Sogawa H., Koike C., Chihara H., Suto H., Tachibana S., Tsuchiyama A. and Kozasa T. (2006) Infrared reflection spectra of

- forsterite crystal. *Astron. Astrophys.* 451, 357-361.
- (13) Tachibana S. (2006) Chondrule formation and the evolution of the early solar system. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 101, 37-47.
- (14) Nagahara, H., Ozawa, K. and Tomomura, S. (2005): Kinetic condensation of silicate melt and its role in the chemical diversity of chondrules. In *Chondrites and the Protoplanetary Disk*. ASP Conf. Ser., 341, 456-468.
- (15) Davis, A., Alexander, C. M. O'D., Nagahara, H., and Richter, F. (2005): Evaporation and condensation during CAI and chondrule formation. In *Chondrites and the Protoplanetary Disk*. ASP Conf. Ser., 341, 432-455.
- (16) Kita N. T., Huss G. R., Tachibana S., Amelin Y., Nyquist L. E. and Hutcheon I. D. (2005) Constraints on the origin of chondrules and CAIs from short-lived and long-lived radionuclides. In *Chondrites and the Protoplanetary Disk* (eds. A. N. Krot, E. R. D. Scott and B. Reipurth), San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 558-587.
- (17) Nakamoto T., Hayashi M. R., Kita N. T. and Tachibana S. (2005) Chondrule-forming shock waves in the solar nebula by X-ray flares. In *Chondrites and the Protoplanetary Disk* (eds. A. N. Krot, E. R. D. Scott and B. Reipurth), San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 883-892.
- (18) Hua X., Huss G. R., Tachibana S. and Sharp T. G. (2005) : Oxygen, Si, and Mn-Cr isotopes of fayalite in the oxidized Kaba CV3 chondrite: Constraints for its formation history. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69, 1333-1348.
- [学会発表](計 85 件)  
招待講演 (計 8 件):
- (1) Nagahara, H. (2008) : Meteoritic and IDP evidence of silicate dusts in the early solar nebula: a review. Workshop on Silicate Dust in Protostars: Astrophysical, Experimental and Meteoritic Link (Tokyo), 2008.7.25-7.26.
- (2) Tachibana S. (2008) Experimental constraints on silicate dust formation in protoplanetary disks : a review. Workshop on Silicate Dust in Protostars: Astrophysical, Experimental and Meteoritic Link (Tokyo), 2008.7.25-7.26.
- (3) Nagahara, H. (2008) : Laboratory condensation and reaction of silicate dusts. Workshop "Cosmic Dust : Near and Far" (Heidelberg, Germany) , 2008.9.8-12.
- (4) Nagahara, H., Tachibana, S., Ogawa, R., Tamada, S., and Chiba, H. (2008) : Laboratory study of crystalline and amorphous silicate. Workshop " AGB stars" (Tokyo). 2008.11.13-14.
- (5) Tachibana S. (2008) Injection of short-lived and stable nuclides from a "faint" supernova into the early solar system. Goldschmidt Conference 2008 (University of British Columbia, Vancouver), 2008.7.13-7.18.
- (6) 永原裕子 (2007) : フォルステライトと金属鉄の凝縮カイネティクスと珪酸塩 / 金属化学分別. 日本鉱物科学会2007年会 .(東京) . 2007.9.23-9.24.
- (7) Nagahara, H. (2006) : Evaporation and condensation kinetics for minerals and silicate melt. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association (Kobe). 2006.7.23-7.28.
- 国際学会等発表 (計 45 件)
- (1) Nagahara, H. and Ozawa, K. (2009) : Condensation kinetics of forsterite and metal and chemical fractionation in the proto Solar Nebula. 40<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas), 2009.3.23-3.27.
- (2) Tachibana, S., Nagahara, H., Ozawa, K., Tamada, S. and Ogawa, R. (2009) : Condensation experiments of Mg-rich crystalline and amorphous silicates in vacuum. (Houston, Texas), 2009.3.23-3.27.
- (3) Takigawa, A., Tachibana, S., Nagahara, H., and Ozawa, K. (2009) : Condensation anisotropy of corundum around AGB stars and its effect on infrared spectra. (Houston, Texas), 2009.3.23-3.27.
- (4) Nagahara, H. & Ozawa, K. (2008) : Heterogeneous nucleation and growth of metal on silicates and its astrophysical implication. 39<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2008.3.9-3.14.
- (5) Tachibana, S., Tamada, S., Nagahara, H. and Ozawa, K. (2008) : Experimental study of condensation in the system Mg-Si-O by a newly developed infrared vacuum furnace. 39<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2008.3.9-3.14.
- (6) Takigawa, A., Tachibana, S. and Nagahara, H. (2008) : Effects of anisotropic evaporation of circumstellar forsterite on infrared spectra. 39<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2008.3.9-3.14.
- (7) Chiba, H., Tachibana, S., and Nagahara, H. (2008) : Experimental study of reaction

- between forsterite and Si-rich gas. 39<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2008.3.9-3.14.
- (8) Nomura, R., Nagahara, H. and Tachibana, S. (2008) : Condensation of metallic iron: the role of temperature s of gas and condensed phase. 39<sup>th</sup> Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2008.3.9-3.14.
- (9) Nagahara, H. and Ozawa, K. (2008) : The role of heterogeneous condensation on dust formation in protoplanetary disc. 5th Ann. General. Meeting of Asia Oceanic Geoscience Society. (Pusan, Korea) 2008.6.16-19.
- (10) Tachibana, S., Tamada, S., and Nagahara, H. (2008) : Condensation experiments in the system of Mg-Si-O and its application to dust-formation in mass-loss winds from evolved stars. 5th Ann. General. Meeting of Asia Oceanic Geoscience Society. (Pusan, Korea) 2008.6.16-19.
- (11) Nomura, R., Nagahara, H., and Tachibana, S. (2008) : The role of temperatures of gas and condensed phase in condensation kinetics of metallic Iron. 5th Ann. General. Meeting of Asia Oceanic Geoscience Society. (Pusan, Korea) 2008.6.16-19.
- (12) Chiba, H., Tachibana, S., and Nagahara, H. (2008) : Solid-gas reaction experiments between forsterite and Si-rich gas. 5th Ann. General. Meeting of Asia Oceanic Geoscience Society. (Pusan, Korea) 2008.6.16-19.
- (13) Nagahara, H. and Ozawa, K. (2008) : Genetic relationships among types of CAIs and chondrules. 71st Annual Meeting of the Meteoritical Society. (Matsue) 2008.7.27-8.1.
- (14) Tachibana, S., Nagahara, H., Ozawa, K. and Tamada, S. (2008) : Non-equilibrium condensation in the Mg-Si-O system: An experimental study. 71st Annual Meeting of the Meteoritical Society. (Matsue) 2008.7.27-8.1.
- (15) Takigawa, A., Tachibana, S., and Nagahara, H. (2008) : Shape effects of crystalline silicate on IR spectra and anisotropic evaporation of forsterite as a possible process for shape change. Workshop "Cosmic Dust : Near and Far" (Heidelberg, Germany) , 2008.9.8-12.
- (16) Takigawa, A., Tachibana, S., and Nagahara, H. (2008) : Evaporation anisotropy of forsterite and its implication for dust formation environment, Workshop "AGB stars" (Tokyo). 2008.11.13-14.
- (17) Ikeda, Y., Nagahara, H., Ozawa, K., and Tachibana, S. (2007) : Experimental condensation of metallic iron at controlled supersaturation. 38th Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2007.3.12-3.16.
- (18) Yokoyama, M., Takigawa, A., Tachibana, S., Nagahara, H., Ozawa, K., (2007) : Anisotropic evaporation of forsterite in hydrogen gas. 38th Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2007.3.12-3.16.
- (19) Tachibana S., Huss G. R. and Nagashima K. (2007) 60Fe-60Ni systems in ferromagnesian chondrules in least equilibrated ordinary chondrites. 38th Lunar Planet. Sci. Conf. (Houston, Texas). 2007.3.12-3.16.
- (20) Nagahara, H. and Ozawa, K. (2007) : Evolution of forsterite and metallic iron dust in circumstellar discs. 2007 Europ. Geosci. Union General Assembly. (Vienna, Austria). 2007.4.15-4.20
- (21) Nagahara, H. and Ozawa, K. (2007) : Kinetics of condensation and growth of silicate and metal dusts, and its implication to chemical heterogeneity in the protosolar disc. 70th Ann. Meeting Met. Soc. (Tucson, Arizona). 2007.8.13-8.17.
- (22) Tachibana, S., Nagahara, H., Ozawa, K., and Yamada, M. (2007) : Isotopic fractionation of iron during kinetic evaporation of metallic iron. 70th Ann. Meeting Met. Soc. (Tucson, Arizona). 2007.8.13-8.17.
- (23) Takigawa, A., Yokoyama, M., Tachibana, S., Nagahara, H., and Ozawa, K. (2007) : Anisotropic evaporation of forsterite in protoplanetary discs and its effects on infrared spectra. 70th Ann. Meeting Met. Soc. (Tucson, Arizona).
- (24) Tachibana S., Takigawa A., Miki J. and Yoshida T. (2007) A mixing-fallback supernova as a possible source of short-lived radionuclides in the early solar system. Workshop on the Chronology of Meteorites and the Early Solar System (Sheraton Kauai Resort, Kauai), 2007.11.5-2007.11.7.
- (25) Nagahara, H., Ozawa, K., Ikeda, Y., and Tachibana, S. (2006) : Condensation of forsterite and metallic iron around evolved and young stars. 37th Lunar Planet Sci. Conf. (Houston, Texas).
- (26) Kita, N. T., Nagahara, H., Tomomura, S., Tachibana, S., and Valley, J. W. (2006) : Systematic oxygen isotopic variations among chondrules from the least equilibrated ordinary chondrites. 37th Lunar Planet Sci. Conf. (Houston, Texas).

- (27) Ogawa, R., Nagahara, H., Ozawa, K., and Tachibana, S. (2006) : Experimental condensation of crystalline magnesium-rich silicates. 37th Lunar Planet Sci. Conf. (Houston, Texas).
- (28) Tachibana, S., Nagahara, H., and Mizuno, K. (2006) : Constraints on cooling rates of chondrules from metal-troilite assemblages. 37th Lunar Planet Sci. Conf. (Houston).
- (29) Matsumoto, N., Nagahara, H., Ozawa, K., and Tachibana, S. (2006) : Evaporation anisotropy of olivine. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association (Kobe). 2006.7.23-7.28.
- (30) Yamada, M., Tachibana, S., Nagahara, H., Ozawa, K., and Matsumoto, N. (2006) : Evaporation of forsterite in vacuum: anisotropy in rates and Mg isotopic mass fractionation. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association (Kobe). 2006.7.23-7.28.
- (31) Nagahara, H., Kita, N. T. and Ozawa, K. (2006) : Melt condensation for the origin of chondrules in ordinary chondrites inferred from bulk chemical composition and mass-dependent oxygen isotopic fractionation. 69th Ann. Meeting Meteorit. Soc. (Zurich, Switzerland). 2006.8.6-8.11.
- (32) Tachibana, S., Ikeda, Y., Nagahara, H., Ozawa, K., and Yamada, M. (2006) : Experimental study of kinetic condensation of metallic iron under controlled supersaturation. 69th Ann. Meeting Meteorit. Society (Zurich, Switzerland). 2006.8.6-8.11.
- (33) Nagahara, H., Ozawa, K., Ikeda, Y. and Tachibana, S., (2005) : Condensation of forsterite and metallic iron around evolved and young stars. The 37th Lunar and Planetary Science Conference (Houston) 2006.3.
- (34) Nagahara, H., Ozawa, K. and Tomomura, S. (2005) The role of condensation kinetics of silicate melt on the chemical variation of chondrules. 29th Antarct. Met. Symp. 2005.5.
- (35) olution of CAIs and CaAl-rich chondrules and ferromagnesian chondrules through equilibrium and disequilibrium condensation. 28th Met. Soc. Meeting., Tennessee (2005.9) Astrophysics and Cosmology (University of Tokyo, Tokyo), 2005.11.8-11.11.

国内学会等発表 (計 28 件)

- (1) 橘省吾・玉田真之介・永原裕子・小澤二仁 (2008) : Mg-Si-O系ガスからのマグ

- ネシウム珪酸塩の凝縮 . 日本天文学会 2008年春季年会 (東京). 2008.3.24-27 .
- (2) 瀧川晶・橘省吾・永原裕子 (2008) : 星周フォルステライトダストの形状変化と赤外スペクトルの関係 . 日本天文学会 2008年春季年会 (東京). 2008.3.24-27 .
- (3) 永原裕子・小澤二仁 (2008) : 不均質核形成によるダスト成長 . 日本地球惑星連合2008年大会 . (幕張) 2008.5.25-30 .

〔図書〕(計 3 件)

- (1) ニュートンムック 未解決の天文学 「太陽系内の惑星と生命」(2008.4) 永原裕子
- (2) 惑星地質学 東京大学出版会 (2008.1) 橘省吾
- (3) 太陽系と惑星 日本評論社 (2007) 橘省吾

〔その他〕

- \* 研究室見学受け入れ 水戸二高地学部・SSHクラス 35名 (2009.3.21)
- \* 女子中高生夏の学校 2008 150名
- \* 茨城県高校生冬季天体観測合宿「実験室から宇宙を覗いてみよう」180名
- \* 東京大学創立 130周年記念事業公開講座『異星の踏査ー「アポロ」から「はやぶさ」へー』30名
- \* 高校生・大学生のための地球惑星科学公開シンポジウム「実験室から探る太陽系創世記：惑星物質科学の最前線」65名
- \* 第7回地球システム・地球進化ニューイヤースクール「太陽系の誕生・進化を実験室からさぐる」120名(2009.1.10)
- \* 第2回日本地球化学会ショートコース「宇宙化学・惑星化学」50名
- \* 日本真空展一般講演会「実験室でさぐる太陽系と星たち」80名

ホームページ等

<http://www-sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp/members/nagahara.html>

<http://www-sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~tachi/research.html>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

永原 裕子 (NAGAHARA HIROKO)  
東京大学・大学院理学系研究科・教授  
研究者番号：80172550

(2) 研究分担者

小澤 一仁 (OZAWA KAZUHITO)  
東京大学・大学院理学系研究科・教授  
研究者番号：90160853  
橘 省吾 (TACHIBANA SHOGO)  
東京大学・大学院理学系研究科・助教  
研究者番号：50361564

(3) 連携研究者

なし