

平成17年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

ふりがな（ローマ字）		MARUYAMA SHIGENORI					
①研究代表者氏名		丸山 茂徳		②所属研究機関・部局・職 東京工業大学・大学院理工学研究科・教授			
③研究課題名	和文	全地球史解読 Part II					
	英文	Decoding the History of the Earth, Part II					
④研究経費		平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総合計
17年度以降は内約額 金額単位：千円		16,000	17,000	17,000	17,000	17,000	84,000
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者）							
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
丸山 茂徳	東京工業大学・大学院理工学研究科・教授	地球史、地球テクトニクス	全体計画、野外地質調査、岩石の分析、結果のとりまとめ				
磯崎 行雄	東京大学・大学院総合文化研究科・教授	生命史、テクトニクス	微化石の同定、野外地質調査				
中嶋 悟	大阪大学・大学院理学研究科・教授	地球物理化学	生命化学進化・光合成模擬実験、流体・分子化石の定量分析				
坂本 尚義	東京工業大学・大学院理工学研究科・助教授	岩石・鉱物学、分析化学	SIMSによる同位体分析				
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>39～30億年前、27～20億年前、8～5億年前、及び2.5億年前の大規模地球変動記録を、従来よりも格段に精度をあげて解読する。調査対象地域を絞り込み、場合によっては cm スケールでの精密サンプリング、微化石の抽出、及び同位体分析を行い、固体地球変動（大規模火山活動）と表層環境変動、及びそれらが与えた生命進化との因果関係を明らかにする。</p>							

⑦これまでの研究経過（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。）

研究分担者、磯崎、中嶋、塚本の協力の下、東工大丸山を中心に助手（小宮）、PD、博士・修士課程の院生、総数約30名が研究を推進してきた。以下、①39-30億年前、②27-20億年前、③8-5億年前、④2.5億年前、のイベントの研究それぞれの進捗状況を概説する。研究計画では①②が過去2年、③④を今後の計画としているが、年度による力点の違いはあるものの、実質的には並行して進めてきたので③④についても以下に記す。

① 39-30億年前：西オーストラリアと南アフリカ地域で継続調査（太古代の世界の標準を作る）

- ・地質調査：1990年以来、太古代の世界標準地域の候補地の研究を進めてきたが（図1）、本基盤研究Sでは、従来の調査と試料の不足を補う為に表題地域で調査と試料収集を行い、収集した試料の一次記載を完了した。特に正確な放射性同位体年代を得る為に、チャート層中の酸性凝灰岩薄層の収集、ジルコンの分離と年代測定を行った。
- ・固体地球：火成岩岩石学の研究はほぼ収束し、論文化した。中央海嶺熱水変成作用の研究と炭素固定の研究が発展中である。
- ・表層環境：中央海嶺での熱水変成作用によって固定された二酸化炭素の定量的把握（39, 35, 32億年前）を終了。次は流体包有物の定量分析で、測定技術を改良しつつ発展中。新たな試料の収集：世界最古の氷河性堆積物（ポンゴラ氷河期：30億年前）、世界最古のストロマトライト（30億年前）を収集。
- ・生命化石：続々と微化石を発見、記載。炭素同位体点分析だけでなく、窒素などの二次元分布を化石の同定に使う試み、すなわち微化石認定基準研究（化石の形態とサイズ分布に加えて、ラマン分光、FTIR、炭素同位体スポット分析、分子化石）（中嶋）を人工化石化実験などを通して発展させつつある。

② 27-20億年前：西オーストラリアと南アフリカ地域で継続調査（表層環境変化とその原因）

地質調査：両地域にて精密地質柱状図を作成し、系統的な試料の収集（総数2300）を完了。それらの岩石研摩片の検鏡と一次記載が終了。

固体地球：標準地域（西オーストラリア、化学分析、全岩、微量元素、REE）の岩石学、全球規模の洪水玄武岩の活動（コンパイル）終了。

表層環境：西オーストラリア・レッドモント周辺の精査、地質は投稿中。酸素の急増層準の発見、全球凍結時（23億年前）の試料収集（西オーストラリアと南アフリカ）と一次記載終了。

生命化石：ストロマトライトの出現と繁栄（微化石記載、炭素同位体）。

③ 8-5億年前：模式地域は中国中南部（全球凍結と直後のカンブリア紀大爆発）

地質調査：予察的には昨年度から開始。中国から550mの連続コアを入手。スコットランドも調査。

固体地球：本年度から開始、特に年代測定。

表層環境：分析ラボ（大量迅速分析）の準備と予察的分析開始。

生命化石：本年度から開始。

④ 2.5億年前：古生代／中生代境界の生物大量絶滅（表層環境変動と大量絶滅）

地質調査：中国中央部の掘削を中心に研究を推進（2002-2004）。

アフリカ、南米、英国の調査予定（2006）。

固体地球：次年度から開始予定。

表層環境：同位体（炭素、酸素）の大量迅速分析と同位体層序の確立（進行中）。

生命化石：二回の絶滅、年代精密決定。

獲得済み試料：深海の他に、海洋島周辺珊瑚礁、大陸棚堆積物。

成果：ミリメートル規模の同位体変動と環境変動の一致、大量絶滅が二回。

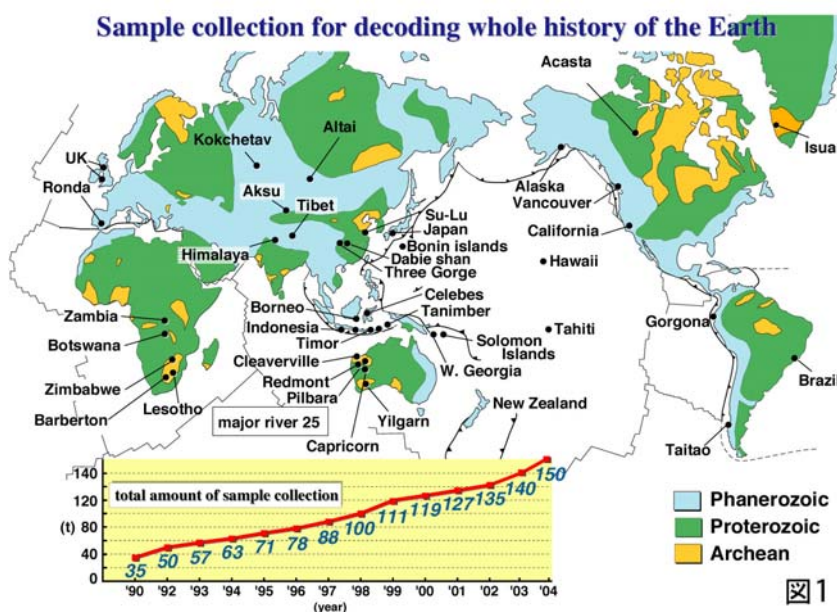


図1 世界の地質と研究地域，試料の充足状況

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

これまでの研究で特筆すべき発見は以下の通り。

①世界最古の微化石の発見 (図1)

これまで世界最古の微化石は米国カリフォルニア大学 (Awramik, Schopf, & Walter, *Precam. Res.*, **20**, 357-374, 1983) や、東工大グループ (Ueno, Isozaki, Yurimoto & Maruyama, *Intern. Geol. Rev.*, **43**, 196-212, 2001) によるものであった。年代は約35億年前である。しかし、昨年度、西オーストラリアから、36.7億年前(酸性凝灰岩中のジルコンのU-Pb年代)の微化石を発見した。球状或いはフィラメント状の炭質物(ケロゲン)として残存するが、一定した形態だけでなく、SIMSによる炭素同位体のスポット分析(種類に依存して $\delta C^{13} = -40-50\%$ に達する)も生命化石(図1)であることを強く示唆している。微化石の産状は海面上に聳え立つ火山島の周辺の浅海(水深100m以浅)有光層であり、その当時太陽光を既に利用した光合成が行われていた可能性を示す(論文準備中)。

②保存度が世界で最も良好な太古代微化石(32億年前)の発見(図2)。西オーストラリア西部クーパービル地域から、単細胞微化石を発見した(Ueno et al., 2004, *Inter. Geol. Rev.*, in press)。細胞の内部構造、細胞膜、細胞分裂の途中段階などが明瞭に残存している。この試料は今後、分子化石の探索、二次元組成分析、真核生物の出現時期など多様な分野にインパクトを与えるだけでなく、利用できるだろう。

③世界最古の岩体、42億年前のかこう岩体の発見(カナダ・アカスタ地域)(Iizuka et al., 投稿中)。

④世界の主要河川25の河口砂ジルコンの大量迅速分析から大陸地殻の成長曲線を見積もることに成功(図3)。(Rino et al., 2004; 準備中)

研究はほぼ収束しつつあるので成果を要約すると、①27億年前までに大陸面積は現在の20%程度しか存在せず、②主な成長時期は原生代で6億年前までに90%まで成長、③大陸地殻の生成率は時代と共に非常に明確な不連続的成長を示し、28-27, 23-20, 8-6億年前に最大のピーク、25-24, 9-8億年前に最低のピークを持つ、④最低と最高の間にひと桁の差が存在する。インパクト: プレート運動活性化の歴史解読に繋がる。

⑤全球凍結(23億年前と7.5-6.0億年前)は地球大気中の二酸化炭素やメタンの欠乏が原因でなく、地球磁場強度の低下が原因(Maruyama, 2004, *Penrose Conf.*, 図4)。大陸地殻の成長率曲線から明らかなように、全球凍結時の固体地球変動は最弱ではなく、最強への移行期に対応する。マントル起源の二酸化炭素がミニマムの時期とは対応しない。一方、全球凍結の時期は地球磁場の強度が現在の約50%以下になった時期に対応する。これは磁場強度の低下が雲を作りやすくし、アルベドの低下を招き、表層温度の低下を促進するメカニズムを支持する。インパクト: 表層環境は温暖化ガスでなく磁場が支配するという新説の提案。

⑥太古代(38-32億年前)に海洋底表層で固定されマントルに埋没した二酸化炭素の定量化に成功。これを太古代の沈み込み帯の地温勾に基づいてマントルに固定された炭素の量を計算。インパクト: 太古代の二酸化炭素の見積もりの新展開。同様に38-32億年前の海水の総量を還元海底火山と熱水変質作用の圧力推定から求めた(3-5km)。インパクト: 惑星科学の理論計算との間に接点を作った。

⑦太古代付加体の普遍的存在の発見とその意義(インパクト): 付加体地質学の応用によって初めて太古代のプレート運動、太古代の海洋地域(中央海嶺、ホットスポット、大陸(島弧)地域)の地質現象の区別、マントルの温度と組成、巨大海洋地域の古環境などの記録が解読可能になった。英国他の研究者が先導して普及活動が始まった。

炭素同位体スポット分析による生物の代謝経路の識別

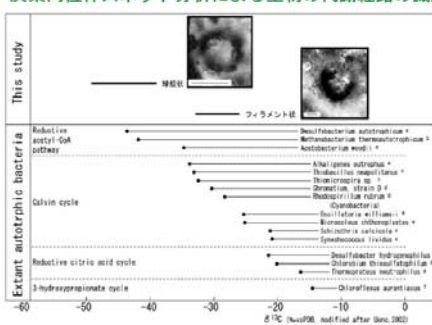


図1

微化石探索・特殊技術の開発

(30億年前の微化石=世界でベスト)
細胞の内部構造まで観察可能

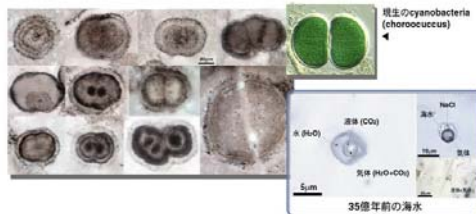


図2

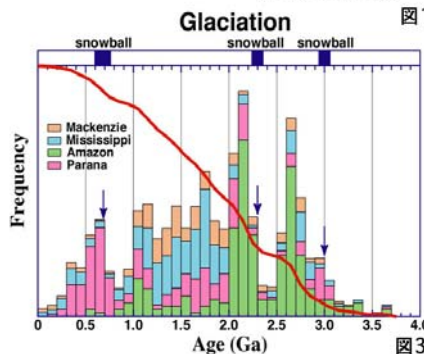


図3

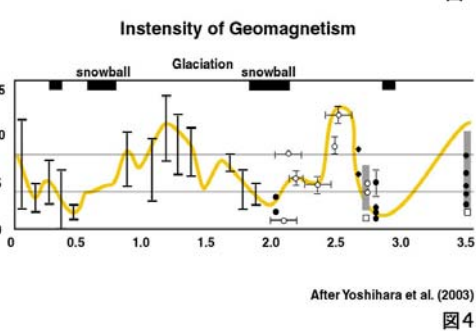


図4

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

【代表者】丸山茂徳

地質調査結果、放射性同位体年代測定、微化石記載、種々の化学分析などに基づく研究は博士・修士課程の院生、PD、及び助手を中心に学会(国内・国際)発表し、以下に示すように論文化を進めてきた。研究代表者の丸山は、それらを総合化する論文を中心に成果を公表してきた。

同時に本研究の終了時に期日を合わせて、成果を専門書の形で出版の予定である。それらは、①生命惑星学の創成(丸山他編集、東大出版会、現在第2稿、2005年度末までに出版予定)、② Superplume (Maruyama, Yuen, Karato, Windley eds, Kluwer, 2005-06)、③ Blueschist, Eclogite and Mantle Dynamics (Maruyama, Liou & Ernst, Kluwer, 2006, 第1稿済)、同じく、④ History of Life and the Earth (Maruyama, Isozaki & Windley, Cambridge Univ. Press, 2007-2008年出版予定)。

〈学術雑誌等に発表した論文〉

1. Usui, T., Nakamura, E., Kobayashi, K. and Maruyama, S. (2003) Fate of the subducted Farallon plate inferred from eclogite xenoliths in the Colorado Plateau. *Geological Society of America*, 31, 7, 589-592.
2. Katayama, I., Muko, A., Iizuka, T., Maruyama, S., Terada, K., Tsutsumi, Y., Sano, Y., Zhang, R. Y. and Liou, J. G. (2003) Dating of zircon from Ti-clinohumite-bearing garnet peridotite: Implication for timing of mantle metasomatism, *Geology*, 31, 8, 713-716.
3. Katayama, I. and Maruyama, S. (2003) Inclusion study in zircon from ultrahigh-pressure metamorphic rocks: An excellent tracer of metamorphic history, *Recent Res. Devel. Stat. Phys*, 3, 1-23.
4. Liu, F., Zhang, Z., Katayama, I., Xu, Z., and Maruyama, S. (2003) Ultrahigh-pressure metamorphic records hidden in zircons from amphibolites in Sulu Terrane, eastern China. *The Island Arc*, 12, 256-267.
5. Ueno, Y., Yoshioka, H., Maruyama, S., Isozaki, Y. (2004) Carbon isotopes and petrography of kerogens in ~ 3.5-Ga hydrothermal silica dikes in the North Pole area, Western Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68, 573-589.
6. Komabayashi, T., Omori, S., Maruyama, S. (2004) Petrogenetic grid in the system MgO-SiO₂-H₂O up to 30 GPa, 1600deg.C: Applications to hydrous peridotite subducting into the Earth's deep interior. *Journal of Geophysical Research*, 109, B03206, doi:10.1029/2003JB002651.
7. Omori, S., Komabayashi, T., and Maruyama, S. (2004) Dehydration and earthquakes in the subducting slab: empirical link in intermediate and deep seismic zones. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 146, 297-311.
8. Sachan, H., Mukherjee, B., Ogasawara, Y., Maruyama, S., Ishida, H., Muko, A., and Yoshioka, N. (2004) Discovery of coesite from Indus Suture Zone (ISZ), Ladakh, India: Evidence for deep subduction. *Eur. J. Mineral*, 16, 235-240.
- ⑨ Komiya, T., Maruyama, S., Hirata, T., Yurimoto, H. and Nohda, S. (2004) Geochemistry of the oldest MORB and OIB in the Isua supracrustal belt (3.8 Ga), southern West Greenland: implications for the composition and temperature of early Archean upper mantle. *The Island Arc*, 13, 47-72.
10. Liou, J.G., Tsujimori, T., Zhang, R.Y., Katayama, I. and Maruyama, S. (2004) Global UHP metamorphism and continental subduction/collision: the Himalayan model. *International Geology Review*, 46, 1-27.
11. Omori, S., Komabayashi, T. and Maruyama, S. (2004) Dehydration event and earthquake in the subducting slab. In *Physicochemistry of Water in Geological and Biological Systems* (eds. Nakashima S., Spiers, C.J., Mercury, L., Fenter, P.A., and Hochella, M.F., Jr.) pp. 241-257. Universal Academy Press, Tokyo.
12. Iizuka, T., Hirata, T. (2004) Simultaneous determinations of U-Pb age and REE abundances for zircons using ArF excimer laser ablation-ICPMS. *Geochemical Journal*, 38, 229-241.
13. Ishikawa, A., Maruyama, S. and Komiya, T. (2004) Layered lithospheric mantle beneath the Ontong Java Plateau: implications from xenoliths in Alnote, Malaita, Solomon Islands. *Jour. Petrol.*, 45, 2011-2044.
14. Komabayashi, T., Omori, S. and Maruyama, S. (2004). Petrogenetic grid in the system MgO-SiO₂-H₂O up to 30 GPa, 1600deg.C: Applications to hydrous peridotite subducting into the Earth's deep interior. *Journal of Geophysical Research*, 109, B03206, doi:10.1029/2003JB002651.

15. Ono, S., Kikegawa, T. and Iizuka, T. (2004) The equation of state of orthorhombic perovskite in a peridotitic mantle composition to 80 GPa: Implications for chemical composition of the lower mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 145, 9-17.
16. Rino, S., Komiya, T., Windley, B. F., Katayama, I., Motoki, A. and Hirata, T. (2004). Major episodic increases of continental crustal growth determined from zircon ages of river sands; implications for mantle overturns in the Early Precambrian. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 146, 369-394.
17. Shimizu, K., Nakamura, E., Kobayashi, K. and Maruyama, S. (2004) Discovery of Archean continental and mantle fragments inferred from xenocrysts in komatiites, the Belingwe greenstone belt, Zimbabwe, *Geological Society of America*, 32, 285-288.
18. Sachan, H., Mukherjee, B., Ogasawara, Y., Maruyama, S., Ishida, H., Muko, A. and Yoshioka, N. (2004) Discovery of coesite from Indus Suture Zone (ISZ), Ladakh, India: Evidence for deep subduction. *Eur. J. Mineral*, 16, 235-240.
19. Yurimoto, H., Kogiso, T., Abe, K., Barszczus, H. G., Utsunomiya, A. and Maruyama, S. (2004) Lead isotopic compositions in olivine-hosted melt inclusions from HIMU basalts and possible link to sulfide components. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 146, 231-242.
20. Hirata, T., Asada, Y., Apinya, T., Ohno, T., Iizuka, T., Hayano, Y., Tanimizu, M. and Orihashi, Y. (2004) Improvements in precision and accuracy of elemental and isotopic analyses of geochemical samples by laser ablation-ICP-mass spectrometer. *Bunseki Kagaku (in Japanese)*, 53, 491-502.
21. Kadarusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C. D. and Ishikawa, A. (2004) Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. *Tectonophysics*, 392, 55-83.
22. Okamoto, K. and Maruyama, S. (2004) The Eclogite-Garnetite transformation in the MORB+H₂O system. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 146, 283-296.
23. Komabayashi, T., Omori, S. and Maruyama, S. Experimental and theoretical study of stabilities of dense hydrous magnesium silicates in the deep upper mantle. Submitted to *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. (in press).
24. Omori, S., Komabayashi, T. and Maruyama, S. (2004). Dehydration and earthquakes in the subducting slab: empirical link in intermediate and deep seismic zones. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, in press.
25. Maruyama, S. and Liou, J. G. (2005) From Snowball to Phanerozoic Earth. *Inter. Geol. Rev.* (in press)
26. Terabayashi, M., Okamoto, K., Yamamoto, H., Kaneko, Y., Maruyama, S., Katayama, I., Komiya, T., Ota, T., Ozawa, H., Anma, R., Windley, B. and Liou, J. G. (2005) Accretionary complex origin of the mafic-ultramafic bodies of the Sanbagawa belt, central Shikoku, Japan. *International Geology Review*, in press.
27. Shi, R., Yang, J., Wu, C., Iizuka, T., Hirata, T. (2005) Island Arc Volcanic Rocks in the North Qaidam UHP Belt, Northern Tibet Plateau: Evidence for Ocean-Continent Subduction Preceding Continent-Continent Subduction. *Journal of Asian Earth Sciences* (in press)
28. Ono, S., Iizuka, T. and Kikegawa, T. (2005) Compressibility of the calcium aluminosilicate, CAS, phase to 44 GPa. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (in press)
29. Iizuka, T., Hirata, T., Komiya, T., Rino, S., Katayama, I., Motoki, A., Maruyama, S. (2005) U-Pb and Lu-Hf isotope systematics of zircons from the Mississippi River sand: Implications for reworking and growth of continental crust. *Geology* (in press).

〈国際会議、学会等における発表状況〉

『13th Goldschmidt Conference』, Kurashiki, Japan, 2003年9月7～12日

『GSA Annual Meeting』, Seattle, USA, 2003年11月2～5日

『2003 American Geophysical Union Fall Meeting』, San Francisco, USA, 2003年12月7～12日

『European Geosciences Union 1st General Assembly』, Nice, France, 2000年4月25日～30日

『Joint AOGS 1st Annual Meeting』, Singapore, 2004年7月5日～9日

『HKT』, ニセコ, 北海道, 2004年7月9日～12日

『32nd International Geological Congress』, Florence, Italy, 2004年8月20日～28日

『Penrose Conference』, St. George, USA, 2004年10月22日～28日

『AGU 2004 Fall meeting』, San Francisco, USA, 2004年12月13日～17日

【分担者】 代表的なものを記載した。国際会議他の講演は紙面の都合上割愛させて頂いた。

磯崎行雄

1. Matsuo, M., Kubo, K. and Isozaki, Y. (2003) Moessbauer spectroscopic study on characterization of iron in the Permian to Triassic deep-sea chert from Japan. *Hyperfine Interact.(C)*, 5, 435-438.
2. Ueno, Y., Yoshioka, H., Maruyama, S. and Isozaki, Y. (2004) Stable isotopes and petrography of ¹³C-depleted kerogen in ca. 3.5 Ga hydrothermal silica dikes in the North pole area, Western Australia: implications for the early life in the Archean sub-seafloor. *Geoch. Cosmoch. Act.*, 68, 573-589.
3. Isozaki, Y., Yao, J.X., Matsuda, T., Sakai, H., Ji, Z.S., Shimizu, N., Kobayashi, N., Kawahata, H., Nishi, H., Takano, M. and Kubo, T. (2004) Stratigraphy of the Middle-Upper Permian and Lowermost Triassic at Chaotian, Sichuan, China - record of Late Permian double mass extinction events-. *Proc. Japan Acad.*, 80B, 10-16.
4. Uchio, Y., Isozaki, Y., Ota, T., Utsunomiya, A., Buslov, M.M., and Maruyama, S. (2004) The oldest mid-oceanic carbonate buildup complex: setting and lithofacies of the Vendian (Neoproterozoic) Baratal limestone in the Gorny Altai Mountains, Siberia. *Proc. Japan Acad.* 80B, 422-428.
5. Ueno, Y., Isozaki, Y. and Macnamara, K. Coccoid-like microstructures in a 3.0 Ga chert from Western Australia. *Int. Geol. Rev.* (in press)
6. Isozaki, Y. Guadalupian-Lopingian boundary event in mid-Panthalassa: correlation of accreted deep-sea chert and mid-oceanic atoll carbonate. *Royal Dutch Acad. Sci., Spec. Publ.* (in press).

中嶋悟

1. Katayama, I. and Nakashima, S. (2003) Hydroxyl in clinopyroxene from the deep subducted crust: Evidence for H₂O transport into the mantle. *American Mineralogist*, 88, 229-234.
2. Katayama, I., Hirose, K., Yurimoto, H. and Nakashima, S. (2003) Water solubility in majoritic garnet in subducting oceanic crust. *Geophysical Research Letters*, 30, doi:10.1029/2003GL018127.
3. Takahashi-Shimase, K. and Nakashima, S. (2004) Shape changes of calcareous nannofossils upon aqueous dissolution as revealed by atomic force microscope measurements. *Geophysical Research Letters*, 31, L14313, doi:10.1029/2004GL020416.
4. Nakashima, S., Spiers, C.J., Mercury, L., Fenter, P.A. and Hochella, Jr., M.F. (2004) Physicochemistry of thin film water in geological and biological systems. - Current issues and new developments-. In: *Physicochemistry of Water in Geological and Biological Systems. - Structures and Properties of Thin Aqueous Films -* (Eds. Nakashima, S, Spiers, C.J., Mercury, L., Fenter, P. and Hochella, Jr., M.F.) Universal Academy Press, Tokyo, 1-15.
5. Kuya, N., Nakashima, S., Okumura, S., Nakauchi, M., Kimura, S. and Narita Y. (2004) Near field infrared microspectroscopy on the distribution of water and organics in submicron area. In: *Physicochemistry of Water in Geological and Biological Systems. - Structures and Properties of Thin Aqueous Films -* (Eds. Nakashima, S, Spiers, C.J., Mercury, L., Fenter, P. and Hochella, Jr., M.F.) Universal Academy Press, Tokyo, 179-187.

坂本尚義

1. Yurimoto, H., Nagashima, K. and Kunihiro, T. (2003) High precision isotope micro-imaging of materials. *Appl. Surf. Sci.* 203-204, 793-797.
2. Komiya, T., Maruyama, S., Hirata, T., and Yurimoto, H. (2003) Petrology and geochemistry of MORB and OIB in the mid-Archean North Pole region, Pilbara craton, Western Australia: implications for the composition and temperature of the upper mantle at 3.5 Ga. *International Geology Review* 44, 988-1016.
3. Yurimoto, H. (2003) Dark current reduction in stacked-type CMOS-APS for charged particle image. *Trans. Electron Dev.* 50, 70- 76.
4. Komiya, T., Maruyama, S., Hirata, T., Yurimoto, H., and Nohda, S. (2004) Geochemistry of the oldest MORB and OIB in the Isua supracrustal belt (3.8Ga), southern West Greenland: implications for the composition and temperature of early Archean upper mantle. *The Island Arc* 13, 47-72.
5. Yurimoto, H., Kogiso, T., Abe, K., Barszczus, H.G, Utsunomiya, A. and Maruyama, S. (2004) Lead isotopic compositions in olivine-hosted melt inclusions from HIMU basalts and possible link to sulfide components. *Physics of The Earth and Planetary Interiors* 146, 231-242.