

平成 22 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17310009

研究課題名（和文） 沈降粒子フラックスと海洋環境変動

研究課題名（英文） Marine particle flux and oceanographic changes

研究代表者

高橋 孝三（TAKAHASHI KOZO）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：30244875

研究成果の概要： 日本学術振興会の科学研究費基盤研究（B）による補助金を使用して、以下の研究を推進する事ができた。ベーリング海、北太平洋中部亜寒帯海域、北太平洋亜寒帯西部海域および西・中部赤道太平洋海域においてセディメント・トラップを使用して得られた時系列海洋生物源粒子フラックス試料を中心に解析を進めた。北太平洋亜寒帯海域での生物源粒子フラックスは、ベーリング海と西部亜寒帯で高く、中部亜寒帯海域では比較的低い値を示した。これらのデータにより過去に計測された東部亜寒帯のアラスカ湾でのフラックスは、もっとも低いグループに位置する事も分かり、亜寒帯海域全体の生物生産レベルの掌握に寄与した。また、生物ポンプの稼働状況の2海域での比較は、ベーリング海が著しく高く、中部亜寒帯海域がそれに続くレベルで稼働している様子が分かり、CO<sub>2</sub>の大气から表層水への移動を示唆する結果が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	8,800,000	0	8,800,000
2006年度	3,000,000	0	3,000,000
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	15,600,000	1,140,000	16,740,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目： 環境学・環境動態解析

キーワード： セディメント・トラップ、沈降粒子フラックス、生物ポンプ、ベーリング海、北太平洋中部亜寒帯、放散虫、珪藻、珪質ペン鞭毛藻

## 1. 研究開始当初の背景

現在、人類にとって地球温暖化は、大問題である。ICPP4の報告によると、西暦2100には2-4℃の大気温度上昇が予測されている。このような背景のもとで海洋生物源粒子フラックスを長期間捕捉し、分析・解析すれば、現在の海洋表層付近での様々なプロセスの季節変動や年変動の詳細が理解出来るはず

だ。また、未来予測には過去に起きた様々な事象の復元が欠かせない。例えば、過去の温暖期には何がどうして起きたのかが分かれば、今後の温暖化に対処出来るかもしれないからだ。古環境復元には、主として微化石群集が用いられるが、セディメント・トラップを使用して得られるプランクトン骨格の時系列沈降変動のキャラクティゼーションが

必須である。

また、物質循環の中で、CO<sub>2</sub>の行方をセディメント・トラップを使って考察が可能だ。人類が産業革命以降、主として過去100年程度の間には燃焼した化石燃料起源のCO<sub>2</sub>の約1/2が大気中CO<sub>2</sub>（現在の濃度は約370 ppm）として観測されている。あとの約1/2は海洋によって吸収されたと考えるのが妥当であるが、実際にその吸収プロセスを見極めるには今まで時系列の試料が欠如するなどの困難が伴ってきた。低緯度海域からの時系列データと比較することで、珪藻の卓越する高緯度海域における長期時系列試料を用いた海洋のバイオロジカルポンプの機能研究は、温暖化等の地球環境変動を理解する上で重要である。

## 2. 研究の目的

海洋生物源粒子の生産と沈降は、日々刻々変化する海洋環境の詳細を記録していると考えられる。従ってセディメント・トラップを使用して海洋生物源粒子フラックスを時系列で捕捉収集すれば、海洋環境の変遷がモニター出来る。また、この様な時系列フラックスデータは、気候変動や物質循環を理解する上で極めて重要だ。本研究グループでは、1990年以降ベーリング海ならびに北太平洋中部亜寒帯海域にて長期時系列セディメント・トラップ沈降粒子フラックス試料を継続収集してきた。気候変動の立場から長期的な沈降粒子フラックス変動を考察し、更に気候変動要素の長期的変動パラメータとの関連の理解を深めることが重要だ。また、中部亜寒帯海域との比較の為、JAMSETC本多牧生博士らの努力によって1997-2000年に得られた北太平洋亜寒帯西部海域のStations KNOT, 40°, 50°, および同博士により2001-2003年に回収されたStations K1, K2, K3のセディメント・トラップ試料のうち珪藻、珪質鞭毛藻、レディオオラリア（放散虫）フラックスについての研究も推進する。更に、平成10-14年度に行われた文部科学省科学技術振興調整費総合研究炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究（研究代表者名：川幡徳高；分担者：高橋孝三）では、筆者は主として西・中部赤道太平洋における珪質海洋プランクトンおよび沈降粒子の試料を用いてエルニーニョ現象の理解を深め、炭素循環理解に貢献してきた。本研究では、これらの西・中部赤道太平洋試料のうち珪藻、レディオオラリア（放散虫）フラックスについて解析を進める。

## 3. 研究の方法

ベーリング海、北太平洋中部亜寒帯海域、北太平洋亜寒帯西部海域および西・中部赤道太平洋海域においてセディメント・トラップを使用して得られた時系列海洋生物源粒子フラックス試料が中心的な試料となる。更に、プランクトンネットを用いて放散虫等の深度分布を解明する。これらのフィールドから得られた生物源沈降粒子フラックスやプランクトンネット現存量試料の分析は、主として化学分析と生物群集分析がある。全フラックス（Total mass flux）に付け加え、化学的主要成分（例えばC, H, N, CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>）を測定する。また、プランクトン殻粒子生物群集は、種レベルで顕微鏡下の計数を行いフラックス（個体数・m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>）を算出する。

## 4. 研究成果

研究成果内容は、数が多いので後述の「5. 主な発表論文等」のリストおよびそれぞれの出版論文を参照されたい。ここでは、数ある研究成果内容の中で一例のみを示す。北太平洋中部亜寒帯海域における長期時系列フラックス試料中の有孔虫群集解析をして、東方からのAlaskan Streamと西方からのSubarctic Currentの影響の盛衰を解明した。また、珪藻群集解析により、北極振動(AO), 太平洋10年振動(PDO)と生物生産のリンクが見いだされた。

Asahi, H. and Takahashi, K., 2007. Nine-years time-series of planktonic foraminifer fluxes and environmental changes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific Ocean, 1990-1999. *Progress in Oceanography*, 73, 343-363. 査読有

Onodera, J., and K. Takahashi. 2009. Long-term diatom fluxes in response to oceanographic conditions at Stations AB and SA in the central subarctic Pacific and the Bering Sea, 1990-1998. *Deep-Sea Research I*, 56 (2), 189-211. doi:10.1016/j.dsr.2008.08.006. 査読有

## 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22件）

1. Onodera, J., and K. Takahashi. 2009. Long-term diatom fluxes in response to oceanographic conditions at Stations AB and SA in the central subarctic Pacific and the Bering Sea, 1990-1998. *Deep-Sea Research I*, 56 (2), 189-211. doi:10.1016/j.dsr.2008.08.006. 査読有
2. Onodera, J., Takahashi, K., Kobayashi, F., Ono, I., and Katsurada, Y., 2009. Diatom sinking fluxes in the western and central Equatorial Pacific during 1999-2002: Summary and data. *Memoirs of the Faculty of*

- Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences, 32(2), 15-44. 査読有
3. Tsutsui, H., Takahashi, K., and Fowell, S. J., 2009. Pollen and spores from the perennial sea-ice covered environment of the central Arctic Ocean, summer 2004 (IODP ACEX 302). *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences*, 32(2), 45-56. 査読有
  4. Tsutsui, H., and Takahashi, K., 2009. Biometry of *Distephanus medianoctisol* (Silicoflagellata) in the sea-ice covered environment of the central Arctic Ocean, summer 2004. *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences*, 32(2), 57-68. 査読有
  5. Katsuki, K., Khim, B.K., Itaki, T., Harada, N., Sakai, H., Ikeda, T., Takahashi, K., Okazaki, Y., Asahi, H., 2009. Land-sea linkage of Holocene paleoclimate on the Southern Bering Continental Shelf. *The Holocene*, 19, 745-754. 査読有
  6. Katsuki, K., K. Takahashi, J. Onodera, R. W. Jordan, and I. Suto, 2009. Living diatoms in the vicinity of the North Pole, summer 2004. In: M. Kaminski and K. Takahashi, Guest Editors, *The Arctic Coring Expedition (IODP 302): Micropaleontology at the North Pole. Micropaleontology*, 55(2-3), 137-170. 査読有
  7. Takahashi, K., J. Onodera, and K. Katsuki, 2009. Significant populations of seven-sided *Distephanus* (Silicoflagellata) in the sea-ice covered environment of the central Arctic Ocean, summer 2004. In: M. Kaminski and K. Takahashi, Guest Editors, *The Arctic Coring Expedition (IODP 302): Micropaleontology at the North Pole. Micropaleontology*, 55(2-3), 313-325. 査読有
  8. Takahashi, K., Onodera, J., and Katsurada, Y., 2009. Relationship between time-series diatom fluxes in the central and western equatorial Pacific and ENSO-associated migrations of the Western Pacific Warm Pool. *Deep-Sea Research I*, 56, 1298-1318. doi:10.1016/j.dsr.2009.04.002. 査読有
  9. 小野寺丈尚太郎・高橋孝三・大西広二・築田満, 2009. ベーリング海 Station AB 及び北太平洋 Station SA における珪藻沈降群集フラックス 1990-1998. *海の研究* 18, 307-322. 査読有
  10. Tanaka, S., and Takahashi, K. 2008. Detailed vertical distribution of radiolarian assemblage (0-3000 m, fifteen layers) in the central subarctic Pacific, June 2006. *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences*, 32(1), 49-72. 査読有
  11. Asahi, H., and Takahashi, K. 2008. A new insight into oceanography with multivariate and time-series analyses on the 1990-1999 planktonic foraminiferal fluxes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific. *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences*, 32(1), 73-96. 査読有
  12. Ishitani, Y., K. Takahashi, Y. Okazaki, and S. Tanaka, 2008. Vertical and geographic distribution of selected radiolarian species in the North Pacific. *Micropaleontology*, 54(1), 27-40. 査読有
  13. Okazaki, Y., Takahashi, K., and Asahi, H., 2008. Temporal fluxes of radiolarians along the W-E transect in the central and western equatorial Pacific, 1999-2002. *Micropaleontology*, 54(1), 71-85. 査読有
  14. Ishitani, Y., and Takahashi, K. 2007. The vertical distribution of Radiolaria in the waters surrounding Japan. *Marine micropaleontology*, 65, 113-136. 査読有
  15. Asahi, H. and Takahashi, K., 2007. Nine-years time-series of planktonic foraminifer fluxes and environmental changes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific Ocean, 1990-1999. *Progress in Oceanography*, 73, 343-363. 査読有
  16. Onodera, J., and Takahashi, K. 2007. Diatoms and Siliceous Flagellates (Silicoflagellates, Ebridians, and Endoskeleton Dinoflagellate *Actiniscus*) from the Subarctic Pacific. *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences* 31, 105-136. 査読有
  17. Takahashi, K., and Hurd, D.C., 2007. Micro- and ultra-structures of phaeodarian Radiolaria. *Memoirs of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences* 31, 137-158.
  18. Okazaki, Y., Seki, O., Nakatsuka, T., Sakamoto, T., Ikehara, M., and Takahashi, K., 2006. Cycladophora davisiana (Radiolaria) in the Okhotsk Sea: A Key for Reconstructing Glacial Ocean Conditions. *Journal of Oceanography*, 62, 639-648. 査読有
  19. Onodera, J., and K. Takahashi, 2005. Silicoflagellate fluxes in the western subarctic Pacific, 1997-2000. *Deep-Sea Res. I*, 52(2), 371-388. 査読有
  20. Osawa, M., K. Takahashi, and B. J. Hay, 2005. Shell-bearing plankton fluxes in the central Black Sea, 1989-1991. *Deep-Sea Res. I*, 52(9), 1677-1698. 査読有
  21. Onodera, J., Takahashi, K., Honda, M.C., 2005. Pelagic and coastal diatom fluxes and the environmental changes in the northwestern North Pacific during December 1997- May 2000. *Deep-Sea Res. II*, 52(16/18), 2218-2239. 査読有
  22. Okazaki, Y., Takahashi, K. Onodera, J., Honda, M.C., 2005b. Temporal and spatial flux changes of radiolarians in the northwestern Pacific Ocean during 1997-2000. *Deep-Sea Res. II*, 52(16/18), 2240-2274. 査読有
- [学会発表] (計 37 件)
1. 赤木 右・Fu FENGFU・本郷やよい・高橋孝三, 2010. 沈降粒子の希土類元素組成から見たオパール成分の溶解速度論. 日本海洋学会, 2010年春大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 口頭発表. 2010年春季大会講演予稿集, 0252, P. 120.
  2. 筒井英人・高橋孝三・松岡敷充, 2010. ベーリング海セディメントトラップで捕捉された花粉について. 日本海洋学会, 2010年春大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 口頭発表. 2010年春季大会講演予稿集, 0254, P. 122.
  3. 池上 隆仁, 田中 聖二, 高橋 孝三, 2010. ベーリング海および北太平洋亜寒帯における過去15年間のレディオオラリア時系列フラックス変動とその環境要因(1990-2005) 日本地球惑星科学連合2009年大会. 演題番号 ACG032-17. 千葉県幕張, 2010年5月26日.
  4. 小野寺丈尚太郎・高橋 孝三, 2010. 1990-1994年ベーリング海南部および北太平洋亜寒帯北部における珪質鞭毛藻フラックスと海洋環境. Silicoflagellate flux and

- oceanographic conditions in the northern Subarctic Pacific and the southern Bering Sea, 1990-1994. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会. 演題番号 ACG032-P05. 千葉県幕張, 2010 年 5 月 26 日.
5. 石谷佳之・高橋孝三. 2010. 放散虫 Collodaria 目の進化と多様性 日本地球惑星科学連合 2009 年大会. 演題番号 BP0021-12. 千葉県幕張, 2010 年 5 月 26 日.
  6. Tsutsui, H., Takahashi, K., and Kawabata, Y. 2010. Morphological character response of aberrant *Distephanus speculum* (silicoflagellata) on nutrients in the Southern Ocean. Ocean Science Meeting, OS2010. Feb., 22-26, 2010 in Portland, Oregon, USA. Poster session, B015G-16. Session theme: Upper Ocean Nutrient Limitation: Processes, Patterns, and Potential for Change 2. OS2010 Program, p. 33.
  7. 今野進・香月興太・原田直美・高橋孝三・Richard W. Jordan. 2009. 北極チュクチ海の一年水中の植物プランクトン観察. 2008 年度古海洋シンポジウム 2009 年 1 月 8-9 日, P2, 於東京大学海洋研究所.
  8. Tsutsui, H. and Takahashi, K. 2009. Morphological characteristics of *Distephanus medianoetis* (Silicoflagellate) in the central Arctic Ocean. Advancing the Science of Limnology and Oceanography Aquatic Sciences Meeting, 25-30 January 2009, Nice, France, Abstracts with Program, p. 86.
  9. 池上隆仁・高橋孝三・田中聖二. 2009. ベーリング海および中部亜寒帯太平洋におけるレディオオリア時系列フラックス変動とその要因. 2008 年度古海洋シンポジウム 2009 年 1 月 8-9 日, 010, 於東京大学海洋研究所.
  10. 筒井英人・高橋孝三・Sarah J. Fowell. 2009. 北極海極点付近の多年氷海域における表層海水中の花粉について. IODP-MRC2009 研究発表会. 講演要旨集, 0-14.
  11. 池上隆仁, 高橋孝三. 2009. 北太平洋高緯度縁辺海域におけるレディオオリアを用いた海洋環境復元 MRC2009 研究発表会, 講演要旨集 O-15, 国立科学博物館新宿分館. 2009 年 3 月 2 日-3 月 4 日.
  12. Boltovskoy, E., Kling, S. A., Takahashi, K., and Bjorklund, K. R., 2009. World atlas of distribution of Recent Polycystina (Radiolaria). The 12<sup>th</sup> Meeting of the International Association of Radiolarian Paleontologists: Radiolarians Through Time. 14-17 September 2009, Nanjing, China. Programme and Abstracts, pp. 35-36.
  13. Ishitani, Y., Takahashi, K., and De Vargas, C. 2009. New phylogenetic scheme for Spumellarian based on molecular approaches. The 12<sup>th</sup> Meeting of the International Association of Radiolarian Paleontologists: Radiolarians Through Time. 14-17 September 2009, Nanjing, China. Programme and Abstracts, pp. 84-85.
  14. Ikenoue, T., Takahashi, K., and Tanaka, S. 2009. Environmental conditions assessed from sediment trapped radiolarians in the Bering Sea and the central subarctic Pacific. The 12<sup>th</sup> Meeting of the International Association of Radiolarian Paleontologists: Radiolarians Through Time. 14-17 September 2009, Nanjing, China. Programme and Abstracts, p. 78.
  15. Takahashi, K. 2009. Introduction for Radiolaria. JSPS 日仏二国間交流事業 Radiolarian Biology based on Paleooceanography Workshop-RABOPAWORK, Kyushu University, Fukuoka, Japan, 11-13, November, 2009
  16. Ishitani, Y., Takahashi, K., de Vargas, C. and Not, F. 2009. Radiolarian evolution through geological time. JSPS 日仏二国間交流事業 Radiolarian Biology based on Paleooceanography Workshop-RABOPAWORK, Kyushu University, Fukuoka, Japan, 11-13, November, 2009
  17. Asahi, H., Okazaki, Y., Ikehara, M., Takahashi, K. 2009. Planktonic foraminiferal carbon and oxygen isotope records from sediment traps in the Bering Sea and the central subarctic Pacific: testing their validities and application to the paleoceanographic reconstructions. JSPS 日仏二国間交流事業 Radiolarian Biology based on Paleooceanography Workshop-RABOPAWORK, Kyushu University, Fukuoka, Japan, 11-13, November, 2009
  18. Tsutsui, H., Takahashi, K., Nishida, S. 2009. Variation calcareous nannoplankton scale sizes and environmental factors in the Bering Sea, the subarctic northwestern and central equatorial Pacific Ocean. JSPS 日仏二国間交流事業 Radiolarian Biology based on Paleooceanography Workshop-RABOPAWORK, Kyushu University, Fukuoka, Japan, 11-13, November, 2009
  19. 池上隆仁・高橋孝三・田中聖二・大西広二・築田満. 2009. ベーリング海および北太平洋亜寒帯におけるレディオオリアンフラックス群集解析. 日本海洋学会 2009 年度春季大会講演予稿集, 発表番号 352, p. 196.
  20. 筒井英人・高橋孝三・築田満・大西広二. 2009. ベーリング海・北太平洋亜寒帯中部海域に設置したセディメントトラップ試料中のナノプランクトン *C. pelagicus* の placolith 径による季節変動. 日本海洋学会 2009 年度春季大会講演予稿集, 発表番号 353, p. 197.
  21. 筒井英人・高橋孝三・西田史朗, 2009. 南大洋における奇形珪質鞭毛藻と栄養塩に対する反応. 日本海洋学会秋季大会 (9/25-29, 京都大学), 口頭発表, 430. 日本海洋学会講演要旨集, 188.
  22. 小野寺丈尚太郎・高橋孝三. 2008: 北太平洋・ベーリング海における珪藻フラックス (1990-1998 年). 2008 年度日本海洋学会秋季大会要旨集, P. 185.
  23. 高橋孝三・小野寺丈尚太郎・香月興太・筒井英人. 2008: 2004 年夏北極多年氷海域の珪質鞭毛藻: I. 2008 年度日本海洋学会秋季大会要旨集, P. 186.
  24. 筒井英人・高橋孝三. 2008: 2004 年夏北極多年氷海域の珪質鞭毛藻: II. 2008 年度日本海洋学会秋季大会要旨集, P. 187.
  25. 大橋敦史・高橋孝三・本田牧生. 2008: 西部亜寒帯循環域 Station K2 における珪藻群集解析. 2008 年度日本海洋学会秋季大会要旨集, P. 265.
  26. Onodera, J., Takahashi, K., Yanada, M., Yoshida, T. 2007. Diatom floral fluxes and the oceanographic changes at Station AB in the Bering Sea and Station SA in the subarctic Pacific during 1990-1998. *ASLO 2007 Aquatic Sciences Meeting*. Santa Fe, New Mexico, USA, 4-9 February 2007, Abstract ID: 571.
  27. 石谷佳之・高橋孝三. 2007. 日本列島周辺海域における放散虫及び珪質植物性プランクトンの生群集分布解析, 2007 年度日本海洋学会春季大会 2007 年 3 月, 於東京海洋大学.
  28. Okazaki, Y. and Takahashi, K., 2006. Temporal fluxes and standing stocks of radiolarians along the W-E transect in the central and western Equatorial Pacific, 1999-2002. 2006 Ocean Sciences Meeting,

- Honolulu, Hawaii, 20-24 February 2006, OS45B-7.
29. Takahashi, K., Okazaki, Y., and Matsueda, D., 2006. El Niño and La Niña radiolarian flux changes in the equatorial Pacific. Program. InterRad 11 & Triassic Stratigraphy Symposium, Wellington, New Zealand, 19-24 March 2006, Programme and Abstracts, 129.
  30. Tanaka, S., Takahashi, K., Katsukuki, K., and Onodera, J., 2006. Radiolarian distribution using vertical multiple plankton sampler and paleoceanography in the Bering Sea. InterRad 11 & Triassic Stratigraphy Symposium, Wellington, New Zealand, 19-24 March 2006, Programme and Abstracts, 133.
  31. Ishitani, Y., and Takahashi, K., 2006. Vertical distribution of radiolarian assemblages in the waters off Japan. InterRad 11 & Triassic Stratigraphy Symposium, Wellington, New Zealand, 19-24 March 2006, Programme and Abstracts, 70.
  32. 朝日博史、高橋孝三、岡崎裕典、岡田誠 2006. ベーリング海浮遊性有孔虫長期時系列沈降粒子データを基にした古水温復元式の確立とその応用. 2006 年度日本地質学会秋季大会要旨集, p. 72.
  33. 朝日博史、高橋孝三 2006. ベーリング海および北太平洋亜寒帯に於ける浮遊性有孔虫フラックスの時系列変化. 2006 年度日本海洋学会秋季大会要旨集, p. 183.
  34. 高橋孝三・築田満・小野寺丈尚太郎・兼松芳幸・朝日博史・大西広二・田中聖二・吉田卓哉. 2006. ベーリング海および北太平洋中部亜寒帯における 1990 年代-2000 年代の長期時系列フラックス観測, 2006 年度日本海洋学会秋季大会要旨集, p. 41, 280.
  35. 石谷佳之・高橋孝三. 2006. 日本周辺の放散虫、珪藻の鉛直及び地理分布と海洋環境, 2006 年度古海洋シンポジウム 2007 年 1 月、於東京大学海洋研究所.
  36. 岡崎裕典・関宰・中塚武・高橋孝三・池原実. 2005. オホーツク海におけるバクテリアと放散虫中層種の関係: 氷期海洋中層環境復元の手がかり. 2005 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, p. 83.
  37. Onodera, J., and Takahashi, K., 2005. Diatom Sinking Assemblages in the Northwestern North Pacific. Neogene Polar Marine Diatom Workshop, Yamagata, Japan.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://paleobio.geo.kyushu-u.ac.jp/KT/jp.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 孝三 (TAKAHASHI KOZO)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号: 30244875