

平成22年6月9日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19310020

研究課題名（和文） 雪氷中の微生物活動が氷河アルベドに及ぼす影響評価

研究課題名（英文） How microbial activities in the snow and ice reduce glacial albedo?

研究代表者

幸島 司郎（KOHSHIMA SHIRO）

京都大学野生動物研究センター・教授

研究者番号：60183802

研究成果の概要（和文）：雪や氷の中での微生物活動が、氷河表面のアルベド（反射率）を低下させることによって氷河の融解を促進する過程を理解し、その影響を評価するために、様々なタイプの氷河で氷河のアルベドと微生物相や表面構造、気象条件などに関する現地調査を行い、その結果を比較した。これらの調査により、氷河上での微生物活動と氷河アルベドとの関係の理解に必要な、氷河微生物相や氷河アルベド、環境条件の様々な地域差が明らかになった。

研究成果の概要（英文）：To understand how microbial activities on the glacier accelerate melting of the glaciers by reducing the surface albedo and estimate the intensity of such biological albedo-reducing effects, we conducted field researches on glacier albedo, microorganisms, surface structure and environmental conditions at various types of glaciers. We could clarify various regional differences in microbiological communities, albedo and environmental conditions on the glaciers that could provide important cues to understand the relationship between the microbial activity and the albedo of glaciers.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,600,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：氷河、微生物、バクテリア、藻類、アルベド、環境変動、遺伝子解析、リモートセンシング

## 1. 研究開始当初の背景

近年、世界各地で地球温暖化が原因と考えられる氷河の後退や縮小が報告されており、海面上昇や水資源の減少、急激な気候変動の原因となることが懸念されているが、氷河表面

のアルベド（反射率）は、氷河の融解に影響する重要な要因の一つであり、その変動プロセスを理解することは温暖化による氷河変動を理解する上で非常に重要である。最近、申請者らの研究によって、氷河上で増殖する

微生物やその活動に由来する有機物が、雪氷面のアルベドを低下させて、融解を加速している、つまり、雪氷微生物の活動が氷河の融解に影響していることが明らかになった (Kohshima et al. 1993, Takeuchi et al. 2001)。このような雪氷微生物のアルベド低下効果には、地域による環境条件の違いを反映した氷河上の微生物相によって大きな差があることも明らかになってきた。つまり雪氷微生物による氷河のアルベド低下効果は、温暖化などの環境変動によって大きく変動する可能性がある。したがって、海面上昇など、将来の環境変動を予測するためには、このような生物学的プロセスの理解が重要であると考えられるが、氷河上の微生物活動と氷河のアルベドとの関係については、まだ詳しい研究がなされておらず、これまでの氷河変動モデルにおいてはまったく考慮されていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、氷河上の微生物活動が氷河のアルベドを低下させる過程を明らかにするとともに、その地球レベルでの影響を評価し、将来の変動を予測するために、次のような目的の基礎的研究を行なった。

- (1) 雪氷微生物による氷河アルベド改変プロセスの解明
- (2) リモートセンシングによる氷河アルベドと氷河微生物活動の広域分布解析法の開発
- (3) 生物学的アルベド改変プロセスを考慮した氷河変動モデルの構築

## 3. 研究の方法

(1) 氷河上の微生物活動によるアルベド改変プロセスを理解することを目的に、様々なタイプの氷河において現地調査を行い、氷河上の微生物や汚れ物質のサンプルを採取し、微生物相の分析や有機物量の測定を行うとともに、氷河上にアルベド計と自動撮影装置を設置して、汚れ物質の移動や表面構造の変化の連続記録を行なった。

(2) また、汚れの質や量、表面構造の異なる様々な地点で反射スペクトルを測定し、それらの関係をもとに衛星画像から氷河表面の生物量や表面状態を推定する方法の開発を試みた。

## 4. 研究成果

(1) 微生物活動によるアルベド改変プロセスを理解することを目的に、アジア高山域の「黒い氷河」、つまり微生物活動によるアルベド低下が非常に大きい氷河である、中国新疆ウイグル自治区のウルムチ No. 1 氷河 (2007年) とネパールヒマラヤのヤラ氷河 (2008年) において、また、アルベド低

下の低い「白い氷河」であるチリ・パタゴニア南氷原のネフ氷河で (2009年)、それぞれ融解期に現地調査を行った。その結果、DNA 分析による微生物群集解析に必要なサンプルの採取を行うとともに、汚れ物質の移動や表面構造の変化の様子を初めて長期間克明に記録することに成功した。さらに、そのアルベド変化が将来の地球環境変動に大きな影響を及ぼすグリーンランド氷床において、微生物相と表面構造、アルベドに関する予察的現地調査を行なった (2007年)。その結果、氷床北西部 (カナック地区) の方が、南西部 (カンゲルーサク地区) より有機物量や藻類バイオマスが大きく、汚れ物質が多いばかりでなく、クリオコナイトホールが浅くて密度が高いなど、表面構造にも大きな違いがあるため、アルベドが低いことが明らかになった。さらに、氷床北西部では単細胞緑藻類が優占するのに対して、南西部では糸状シアノバクテリアが優占するなど、微生物相の違いも明らかになった (図1)。

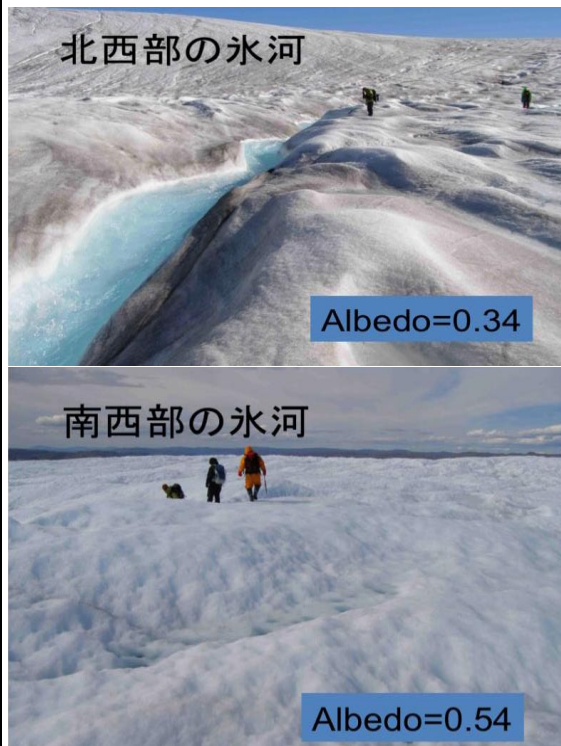


図1：グリーンランドの氷河アルベド地域差

(2) 我々はこれまでの研究で、ヒマラヤやチベットなど、アジア高山域の氷河の多くでは、夏期には消耗域表面が暗色の汚れ物質に覆われた「黒い氷河」になること、この黒い汚れ物質 (クリオコナイト, cryoconite) は糸状シアノバクテリアとバクテリアが形成する粒状のストロマトライト様藻類マットであり、暗色の色彩はこれらの微生物活動によって形成される腐植物質などの有機物によるものであることを明らかにしてきた (Takeuchi et al. 2001)。しかし、シアノバ

クテリアやバクテリアは形態からの分類が困難なため、クリオコナイト粒形成に関わる微生物はまだはっきり同定されていなかった。そこで、本研究では採取したサンプルに含まれる rRNA 遺伝子の DNA 配列を分析することによって微生物を同定した。また、クローンライブラリー中の各バクテリア種の比率を利用して、氷河上のバクテリア群集の群集構造解析を行い、氷河上のバクテリア群集が高度によって異なることを明らかにした。

(3) 氷河表面のアルベドは、氷河表面の微生物量だけでなく、微生物活動によって形成される腐植物質などの有機物や風送粒子の量や色彩、さらには、それらの汚れ物質が日射を吸収して形成する縦穴構造 (cryoconite hole) などの氷河の表面構造などによっても大きく変化する。したがって、生物活動と氷河アルベドの関係を明らかにするには、氷河上で増殖する微生物の種類や量だけでなく、その他の要因や要因間の関係も全て考慮して分析する必要がある。そこで、(1) の現地調査によって得られたデータをもとに、氷河の表面構造の形成プロセス分析やリモートセンシングによる分析を進めるとともに、以上の調査地で採取したサンプルから微生物を分離・培養し、新たな手法による遺伝子解析を進めている。

#### 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 44 件)

- (1) Segawa T, Ushida K, Narita H, Kanda H, Kohshima S, (2010) Bacterial communities in two Antarctic ice cores analyzed by 16S rRNA gene sequencing analysis, *Polar Science*, accepted. 査読有り
- (2) Segawa T, Takeuchi N, Ushida K, Kanda H, and Kohshima S. (2010) Altitudinal changes in bacterial community on the Gulkana Glacier in Alaska, *Microbes and Environments*, accepted. 査読有り
- (3) Uetake J, Naganuma T, Hebsgaard MB, Kanda H, Kohshima S, (2010) Communities of algae and cyanobacteria on glaciers in west Greenland. *Polar Science*, 4(1), 71-80. 査読有り
- (4) Ushida K, Segawa T, Kohshima S, Takeuchi N, Fukui K, Zhongqin Li, and Kanda H. (2009) Application of real-time PCR array to the multiple detection of antibiotic-resistant genes in glacier ice samples. *Journal of General and Applied Microbiology*, 56, 43-52. 査読有り
- (5) Takeuchi, N, Fujita, K., Nakazawa, F., Nakawo, M., and Rana, B. (2009) A snow algal community on the surface and in an ice core of Rikha-Samba Glacier in Western Nepali Himalayas. *Bulletin of Glaciological Research*, 27, 23-35. 査読有り
- (6) Scheihing R, Cardenas L, Nespolo RF, Krall P, Walz K, Kohshima S, Labarca P. (2009) Morphological and molecular analysis of centropagids from the high Andean plateau (Copepoda: Calanoidea). *Hydrobiologia*, 637(1), 45-52. 査読有り
- (7) Takeuchi, N., Miyake, T., Nakazawa, F., Narita, H., Fujita, K., Sakai, A., Nakawo, M., Fujii, Y., Duan, K., and Yao, T. (2009) A shallow ice core re-drilled on the Dunde Ice Cap, western China: recent changes in the Asian high mountains. *Environmental Research Letter*, 4, 045207 (6pp) 査読有り
- (8) Fujita K, Sakai A, Nuimura T, Yamaguchi S, Sharma RR (2009) Recent changes in Imja Glacial Lake and its damming moraine in the Nepal Himalaya revealed by in-situ surveys and multi-temporal ASTER imagery. *Environmental Research Letters*, 4, 045205 (7pp) 査読有り
- (9) Sakai A, Fujita K (2009) Formation conditions of supraglacial lakes on debris-covered glaciers in the Himalayas. *Journal of Glaciology*, 56(195), 177-181. 査読有り
- (10) Shiraiwa, T. (2009) The Amur River basin as a Giant Fish-Breeding Forest for the Sea of Okhotsk and Oyashio. *Geography*, 54. 査読有り
- (11) Takeuchi, N. (2009) Temporal and spatial variations in spectral reflectance and characteristics of surface dust on Gulkana Glacier, Alaska Range. *Journal of Glaciology*, 55(192), 701-709. 査読有り
- (12) Sakai A, Nishimura K, Kadota T, Takeuchi N (2009) Onset of calving at supraglacial lakes on debris covered glaciers of the Nepal Himalayas. *Journal of Glaciology*, 55(193), 909-917. 査読有り
- (13) Sakai A, Fujita K, Nakawo M, Yao T (2009) Simplification of heat balance calculation and its application to the glacier runoff from the July 1<sup>st</sup> Glacier in northwest China since the 1930s, *Hydrological Processes*, 23(4), 585-596. 査読有り

- (14) Santibañez P, Kohshima S, Scheibling R, Jaramillo J, Shiraiwa T, Matoba S, Kanda D, Labarca P, Casassa G. (2008), Glacier mass balance interpreted from biological analysis of firn cores in the Chilean lake district, *Journal of Glaciology*, 54 (186) 452-461. 査読有り
- (15) Fujita K, Suzuki R, Nuimura T, Sakai A (2008) Performance of ASTER and SRTM DEMs, and their potential for assessing glacier lakes in the Lunana region, Bhutan Himalayas, *Journal of Glaciology*, 54(185), 220-228. 査読有り
- (16) Kanamori, S., Benson, C.S., Truffer, M., Matoba, S., Solie, D. J. and Shiraiwa, T. (2008) Seasonality of snow accumulation at Mt. Wrangell, Alaska, *Journal of Glaciology*, 54(185), 273-278. 査読有り
- (17) Fujita, K. (2008), Influence of precipitation seasonality on glacier mass balance and its sensitivity to climate change. *Annals of Glaciology*, 48, 88-92. 査読有り
- (18) Fujita K. (2008) Effect of precipitation seasonality on climatic sensitivity of glacier mass balance, *Earth and Planetary Science*, 276(1-2), 14-19. 査読有り
- (19) Pu J, Yao T, Yang M, Tian L, Wang N, Ageta Y, Fujita K (2008) Rapid decrease of mass balance observed in the Xiao (Lesser) Dongkemadi Glacier, in the central Tibetan Plateau, *Hydrological Processes*, 22(16), 2953-2958. 査読有り
- (20) Takeuchi, N., Nakawo, M., Narita, H., and Han, J. (2008) Miaoergou Glaciers in the Kalik Mountains, western China: Report of a reconnaissance for future ice core drilling and biological study. *Bulletin of Glaciological Research*, 26, 33-40. 査読有り
- (21) Takeuchi, N., and Li, Z. (2008) Characteristics of surface dust on Ürümqi Glacier No. 1 in the Tien Shan Mountains, China. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40, 744-750. 査読有り
- (22) Bhatt, M. P., Masuzawa, T., Yamamoto, M., Takeuchi, N. (2007) Chemical characteristics of pond waters within the debris area of Lirung Glacier in Nepal Himalaya. *Journal of Limnology*, 66(2), 71-80. 査読有り
- (23) Kohshima, S., Takeuchi, N., Uetake, J., Shiraiwa, T., Uemura, R., Yoshida, N., Matoba, S. and Godoi, M. A. (2007): Estimation of net accumulation rate at a Patagonian glacier by ice core analyses using snow algae. *Global and Planetary Change*. 59, 236-24 査読有り
- (24) Yamaguchi, S., Naruse, R., Shiraiwa, T. (2008) Climate reconstruction since the Little Ice Age by modelling Koryto glacier, Kamchatka Peninsula, Russia. *Journal of Glaciology*, 54, 184, 125-130. 査読有り
- (25) Yasunari, T., Shiraiwa, T., Kanamori, S., Fujii, Y., Igarashi, M., Yamazaki, K., Benson, C. S. and Hondoh, T. (2007), Intra-annual variations in atmospheric dust and tritium in the North Pacific region detected from an ice core from Mount Wrangell, Alaska, *Jour. Geophys. Res.*, 112, D10208, doi:10.1029/2006JD008121. 査読有り
- (26) Solomina, O., Wiles, G., Shiraiwa, T. and D'Arrigo, R. (2007) Multiproxy records of climate variability for Kamchatka for the past 400 years. *Climate of the Past*, 3, 119-128. 査読有り
- (27) Ganzei, S.S., Ermoshin, V.V., Mishina, N. and Shiraiwa, T. (2007) Modern landuse in the Amur basin. *Geography and Natural Resources*, 3, 17-25. 査読有り
- (28) Fujita, K. (2007) Effect of dust event timing on glacier runoff: sensitivity analysis for a Tibetan glacier. *Hydrological Processes*, 21(21), 2892-2896, 査読有り
- (29) Fujita, K., Ohta, T., Ageta, Y. (2007) Characteristics and climatic sensitivities of runoff from a cold-type glacier on the Tibetan Plateau. *Hydrological Processes*, 2882-2891, 査読有り
- (30) 幸島司郎 (2009): 空を巡る微生物. エアロゾル研究, 25(1), 43-47. 査読有り
- (31) 竹内望 (2009): 雪氷上の生物群集. *Japan Geoscience Letters*, 5(4), 6-8. 査読有り
- (32) 幸島司郎 (2008): 氷河の生物. 遺伝, 62(1), 66-70. 査読なし

- (33) 幸島司郎 (2008): ヒマラヤから海  
中へ, 氷河から熱帯雨林へ, 科学, 78(7),  
792-793. 査読なし
- (34) 幸島司郎 (2007): ヒマラヤの氷  
河生態系. ヒマラヤ学誌, 8, 113-119.  
査読あり

[学会発表] (計 52 件)

- (1) Ogawa M, Yoshimura Y and others,  
Antarctic MARIMO as ecosystem -  
Structure, microorganisms and organic  
matter in a mass of the algae. 10th SCAR,  
International Biology Symposium,  
Sapporo, 2009/7/26-31
- (2) Mita H, Yoshimura Y and others,  
Preliminary studies for distribution  
and alteration of living  
microorganisms and organic compounds  
in the extreme Antarctic environments.  
10th SCAR, International Biology  
Symposium, Sapporo, 2009/7/26-31
- (3) Kohshima S, Uetake J, Segawa  
T, Naganuma T Hebsgaard M, Kanda K.  
Microbial flora of glaciers in West  
Greenland, XXXI Symposium on Polar  
Biology, Tokyo, 2008/12/3
- (4) Uetake J, Naganuma T, Hebsgaard M,  
Kanda K, Kohshima S. Snow algal  
communities on the glaciers in West  
Greenland. First International  
Symposium on the Arctic Research,  
Tokyo, 2008/10/4
- (5) Segawa T, Abe T, Motoyama H, Imura S,  
Kohshima S, Kanda H. Microbial analysis  
of subglacial samples drilled at Dome  
Fuji, Antarctica. Russia, 2008/7/9.
- (6) Uetake J, Naganuma T, Hebsgaard MB,  
Kanda H, Kohshima S., International  
Conference on Polar and Alpine  
Microbiology, Banff, 2008/5/14
- (7) Uetake J, Nakazawa F, Kohshima S,  
Miyake T, Narita H, Fujita K, Takeuchi  
N, Aizen V, Nakawo M. Yeast  
distribution in ice core from Russian  
Altai mountains, International  
Conference on Polar and Alpine  
Microbiology, Banff, 2008/5/14
- (8) Yoshimura Y, Nakazato Y, Inoue G,  
Segawa T, Inoue G, Segawa T, Uetake J,  
Kohshima S. Exploration of  
microorganisms from snow environments.  
International Conference "Cryogenic  
Resources of Polar Regions", Salekhard,  
Russia, 2008/6/19
- (9) Nozomu Takeuchi, Yoriko Ishida,  
Changes of biological community from  
the 1990s to 2008 on the Yala Glacier,  
Nepali Himalayas. XXXI Symposium on  
Polar Biology, Tokyo, 2008/12/3
- (10) Fujita K. Effect of precipitation  
seasonality on glacier mass balance.  
International Workshop on Mass Balance  
Measurements and Modelling, Skeikampen,  
Norway, 2008/03/28
- (11) Fujita K. A rapid shrinkage of  
glaciers in the Nepal Himalayas.  
International Workshop on Recent  
Change of Climate and Cryosphere in  
Nepal Himalayas, Kathmandu,  
Nepal, 2007/11/22
- (12) Fujita K. Inter-annual variability of  
d-T relation at Dome Fuji, east  
Antarctica. International Union of  
Geodesy and Geophysics, Perugia,  
Italy, 2007/07/07
- (13) Shiro Kohshima, Jun Uetake, Nozomu  
Takeuchi, Takahiro Segawa, Takeshi  
Naganuma, Martin Hebsgaard and Keiji  
Kanda. Biogenic dirt materials and  
albedo of glaciers in West Greenland.  
XXX Symposium on Polar Biology, NIPR,  
Tokyo, 2007/11/15
- (14) Nozomu Takeuchi, Shiro Kohshima  
Significant Effect of Biogenic  
Material (cryoconite) on Surface  
Albedo of Asian Glaciers:  
-Geographical Comparison of the  
Amounts of Cryoconite and Surface  
Albedo of Glaciers. IUGG, Perugia,  
2007/7/9
- (15) Nozomu Takeuchi, Takahiro Segawa, Li  
Zhongqin, A distinctive snow algal  
community on a glacier in the Tianshan  
Mountains, China. IUGG, Perugia,  
2007/7/12
- (16) Jun Uetake, Fumio Nakazawa, Shiro  
Kohshima, Takayuki Miyake, Hideki  
Narita, Koji Fujita, Nozomu Takeuchi,  
Vladimir Aizen, Masayoshi  
Nakawo, Biological Ice Core Analysis in  
Russian Altai, 2007AGU Fall meeting  
2007/12/14 San Francisco
- (17) Takahiro Segawa, Jun Uetake, Shiro  
Kohshima, Andres Rivera, Motoyama  
Hideaki, and Hiroshi Kanda, Studies  
on bacterial community on Antarctic ice  
sheet by 16S rRNA gene, XXX Symposium  
on Polar Biology, 2007. 11. Tokyo,
- (18) Yoshimura Yoshitaka, Nakazato Yuki,  
Inoue Genki, Segawa Takahiro, Uetake  
Jun and Shiro Kohshima. Exploration of  
microorganisms from snow environments.  
International Conference "Cryogenic  
Resources of Polar Regions". Salekhard,

- Russia, 19 June, 2007.
- (19) 永塚尚子, 中野孝教, 竹内望. アジア・アラスカの山岳氷河上の鉱物粒子および有機物の Sr, Nd 同位体比, 日本雪氷学会全国大会, 札幌, 2009/10/1
  - (20) Abake Gulkianati, 竹内望, 西尾文彦. Landsat 衛星画像を使った中国新疆ウイグル, 天山山脈の氷河表面反射率と表面ダストの空間分布の解析. 日本雪氷学会全国大会, 札幌, 2009/10/1
  - (21) 西山大陸, 竹内望. アジアの3つの氷河におけるクニコナイト粒の比較. 日本雪氷学会全国大会, 札幌, 2009/10/1
  - (22) 石田依子, 竹内望. アジアの山岳氷河のアイスコア中に含まれる固体粒子の特性. 日本雪氷学会全国大会, 札幌, 2009/10/1
  - (23) 伊藤弘樹, 竹内望, ほか. 衛星画像をつかったグリーンランド氷床裸水域の不純物分布の解析—スペクトル特性による表面条件の推定—, 日本雪氷学会全国大会, 札幌, 2009/10/1
  - (24) 植竹淳, 長沼毅, マーティン・ヘプスガード, 神田啓史, 幸島司郎. グリーンランド氷床西部における雪氷藻類の地域分布. 日本微生物生態学会全国大会, 札幌, 2008/11/26
  - (25) 植竹淳, 長沼毅, マーティン・ヘプスガード, 神田啓史, 幸島司郎. 西グリーンランドの氷河における雪氷藻類群集と雪水面アルベド. 地球惑星科学連合大会, 幕張, 2008/5/30
  - (26) 吉村義隆, 瀬川高弘, 山下智大, 見上貴教, 吉川永美, 長沼毅, ジーノ・カッササ, 幸島司郎. チリ・モトヨ氷河における微生物群集の解析. 平成19年度 極域生物シンポジウム, 国立極地研究所, 2008/11/15.
  - (27) 竹内望, 藤田耕史, 岡本祥子, 直木和弘, 奈良町千之, Vladimir Aizen, キルギスタン・グリゴリア氷帽から掘削した87mアイスコア, 日本雪氷学会, 東京, 2008/9/26
  - (28) 竹内望, 中国祁連山およびロシアアルタイ山脈のアイスコアから復元した過去100年の風送ダストの年変動, 日本地球惑星科学連合同大会, 幕張, 2008/5/29
  - (29) 古川隆朗, 西山大陸, 竹内望, 富山県・立山の融雪期の積雪面における不純物の特性と積雪面アルベド, 日本雪氷学会, 富山, 2007/9/28
  - (30) 竹内望, 角川咲江, 伊吹山頂上付近の雪渓の雪氷藻類, 日本雪氷学会, 富山, 2007/9/27
  - (31) 永塚尚子, 中野孝教, 竹内望, アジアの氷河表面の汚れ物質のストロンチウム同位体比, 日本雪氷学会, 富山, 2007/9/27

- (32) 石田依子, 竹内望, 中国・天山山脈ウルムチ No. 1 氷河のアイスコア中の不純物の特性, 日本雪氷学会, 富山, 2007/9/27
- (33) 竹内望, 李忠勤, 中国天山ウルムチ NO. 1 氷河の表面汚れ物質の特性, 日本雪氷学会, 富山, 口頭, 2007/9/26
- (34) 岡本祥子, 藤田耕史, 成田英器, 植竹淳, 竹内望, 三宅隆之, 中澤文男, アルタイ山脈ベルーハ氷河におけるアイスコア中の氷層を用いた夏期気温復元, 日本雪氷学会, 富山, 2007/9/26
- (35) 竹内望 ほか, 中国祁連山のアイスコアの分析から明らかになった中国乾燥域の近年の環境変動, 日本地球惑星科学連合同大会, 幕張, 2007/5/22

〔図書〕 (計3件)

- (1) 竹内望, ヒマラヤと地球温暖化—消え行く氷河, 昭和堂, 2, 5 章分担執筆 総ページ数: 159ページ
- (2) 竹内望, 他 (2007) アイスコアによる黒河流域の環境の変化の復元, 黒水城人文と環境研究, 中華人民大学出版社, 104-118
- (3) 竹内望 (2007) 京都とオアシスとクニコナイト, アジア遊学・特集 地球環境を黒河に探る, 99, 56-58 勉誠出版 224頁

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

幸島 司郎 (KOHSHIMA SHIRO)  
京都大学野生動物研究センター・教授  
研究者番号: 60183802

### (2) 研究分担者

牛田 一成 (KAZUNARI USHIDA)  
京都府立大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号: 50183017  
白岩 孝行 (TAKAYUKI SHIRAIWA)  
総合地球環境学研究所・准教授  
研究者番号: 90235739  
吉村 義隆 (YOSHITAKA YOSHIMURA)  
玉川大学・農学部・生命化学科・教授  
研究者番号: 90384718  
竹内 望 (NOZOMU TAKEUCHI)  
千葉大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号: 30353452  
藤田 耕史 (KOJI FUJITA)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授  
研究者番号: 80303593