

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2005～2009

課題番号：17GS0203

研究課題名（和文） 大気・陸上生物・海洋圏に係る温室効果気体の全球規模循環の解明

研究課題名（英文） Comprehensive studies of global greenhouse gas cycles in the atmosphere, terrestrial biosphere and oceans

研究代表者

中澤 高清 (NAKAZAWA TAKAKIYO)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：30108451

研究成果の概要（和文）：大気中のCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの濃度や同位体比およびO<sub>2</sub>濃度を、地上基地や航空機、船舶、大気球を利用して広域にわたって測定し、全球におよぶ時間空間変動の実態を明らかにした。また、全球3次元大気輸送モデルを開発し、観測から得られた結果を解析して、変動の原因を究明すると同時に、近年における温室効果気体の循環を明らかにした。さらに、南極ドームふじ深層氷床コアを分析し、過去70万年にわたる温室効果気体の変動を復元し、その変動を解釈した。

研究成果の概要（英文）：The concentrations and isotopic ratios of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, as well as the O<sub>2</sub> concentration, were measured using ground-fixed stations, aircraft, ships and scientific balloons, and global pictures of their temporal and spatial variations were obtained. By analyzing the observed results using newly developed atmospheric transport models, the variations of the three gases were closely examined and their global cycles were quantitatively evaluated. The concentrations of atmospheric CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O over the last 700 kyrs were reconstructed by analyzing the Dome-Fuji deep ice core from Antarctica, and their variations were interpreted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	93,400,000	28,020,000	121,420,000
2006年度	72,700,000	21,810,000	94,510,000
2007年度	57,400,000	17,220,000	74,620,000
2008年度	57,200,000	17,160,000	74,360,000
2009年度	52,400,000	15,720,000	68,120,000
総計	333,100,000	99,930,000	433,030,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：温室効果気体・物質循環・気候変動・環境変

## 1. 研究開始当初の背景

近年、CO<sub>2</sub>を始めとする温室効果気体が人間活動に伴って急速に増加しており、近い将来の気候が大きく変化すると懸念されている。

この問題に的確に対応するためには、地球表層における温室効果気体の循環を明らかにし、大気中濃度の将来予測と濃度増加の抑制対策を可能にする事が重要である。しかしな

がら、温室効果気体の循環に関する現在の知識は全く不十分であり、早急に解決すべき科学的研究課題として国際的な関心事となっている。

## 2. 研究の目的

地球温暖化にとって重要な温室効果気体である  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の濃度や同位体比および関連要素の時間・空間変動の実態を把握するとともに、得られた結果を数値モデルなどで解析することにより、大気圏・海洋圏・陸上生物圏にまたがる発生・消滅プロセスや人為的・自然的要因による変動を明らかにする。また、人為起源の温室効果気体の収支およびその時間変動について定量的理解を得る。

## 3. 研究の方法

地上基地や航空機、船舶、大気球等の各種プラットフォームを利用して、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の濃度や同位体比および  $\text{O}_2$  濃度などの関連要素を広域にわたって観測するとともに、極域氷床コアからの空気を分析し、時間・空間変動を詳細に明らかにする。また、温室効果気体の発生・消滅過程を組み込んだ全球大気輸送モデルを開発・改良し、観測や分析から得られた結果を解析することにより、地球表面における関連気体の循環を明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) ガスクロマトグラフ質量分析計を用いた高精度のオンライン  $\text{CH}_4$  同位体比分析システムと、大気  $\text{O}_2$  濃度を 0.5 ppm 以下という極めて高い精度で連続的に測定する装置を開発した。氷床コア分析に際して必要となるコア量を低減し、変動の時間分解能を向上させるために、40 g のコア試料でこれまでより高い精度の分析を可能とした。また、非分散型赤外  $\text{CO}_2$  分析計による濃度測定に  $^{13}\text{C}$  同位体が与える影響を初めて評価した。

(2) 日本と昭和基地で採取された成層圏大気の  $\text{N}_2$  の  $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\text{O}_2$  の  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\text{O}_2/\text{N}_2$  比を高精度で分析した結果、成層圏において大気成分の重力分離が生じていること、 $\text{O}_2/\text{N}_2$  比が人間活動によって経年減少を示していることが世界で初めて明らかとなった。

(3) 成層圏の広い高度範囲にわたる  $\text{CH}_4$  の  $\delta^{13}\text{C}$  と  $\delta\text{D}$  の鉛直分布を初めて明らかにするとともに、消滅の際の同位体分別が成層圏中層と下層で異なり、その挙動が季節に依存すること、実験室で求められこれまで広く使われてきた  $\delta\text{D}$  の分別係数が現実とは大きくかけ離れている可能性を見いだした。

(4) 北極ニーオルスン基地での  $\text{CH}_4$  濃度と  $\delta^{13}\text{C}$  の変動を解析したところ、北半球高緯度で見られる濃度の年々変動には、気候変動に伴う湿地起源  $\text{CH}_4$  の放出の影響が大きく、また解釈が分かれていた 1998 年の濃度アノマ

リーには、湿地起源と森林火災起源の  $\text{CH}_4$  が 2:1 の比率で寄与していたことを初めて明らかにし、循環解明における同位体利用の有用性を示した。

(5) 日本上空での航空機観測や西部太平洋での船舶観測から  $\text{O}_2$  濃度の詳細な高度・緯度分布が初めて明らかになり、またこれらと仙台、落石岬、波照間島、昭和基地、ニーオルスン基地の観測結果を解析し、近年の海洋と陸上生物圏による  $\text{CO}_2$  吸収が 2.0-2.3 GtC/yr と 0.7-1.0 GtC/yr であると推定した。

(6) 全球を 64 領域に分け、67-87 地点での濃度データを用いて 1979-2004 年という長期間にわたって大気輸送モデルによる時間依存の逆解法を初めて実施し、大気-陸上生物圏間および大気-海洋間の月毎の  $\text{CO}_2$  フラックスを推定した。1990 年代の全球平均の海洋と陸上生物圏による  $\text{CO}_2$  吸収は 1.9 GtC/yr と 1.2 GtC/yr と推定された。また、得られたフラックスの変動を解析し、エルニーニョや火山噴火などによる気候変動および陸域からの栄養塩供給などが重要な役割を果たしていることを明らかにした。

(7) 北半球に加え、昭和基地での  $\text{CO}_2$  連続観測データなど南半球におけるデータを特に多用して逆解法を新たに行い、海洋による  $\text{CO}_2$  吸収において重要な役割を持つと考えられてきた南大洋がその吸収能力を 1980 年頃より弱めており、近年ではほとんど吸収していないことを見出した。全球生物地球化学モデルを用いた解析を行った結果、オゾン層破壊などに起因した西風の強化による海洋循環の変化が原因としてあげられ、人間活動が炭素循環に影響を及ぼしている可能性を初めて指摘した。

(8) 日本やシベリア、アメリカなど、主に北半球での航空機観測から得られた  $\text{CO}_2$  濃度の鉛直分布を基に、大気輸送モデルによる逆解法の結果を検討したところ、赤道域の森林からの  $\text{CO}_2$  放出と北半球中高緯度の森林による吸収は、これまで受け入れられてきた量よりかなり小さい可能性があることが判明した。本研究の結果は、陸域の炭素循環の従来の見の見直しを迫るものであり、国際的に高い関心を集めた。

(9) フィルン空気の分析によって、過去 50-100 年の温室効果気体の濃度と同位体比の変動が正確に復元でき、それが循環と深い関係にあることを示した。実際、 $\text{N}_2\text{O}$  について得られた結果を詳細に解析したところ、過去 50 年間の濃度増加には土壌起源の  $\text{N}_2\text{O}$  が強く関与していたことが明らかとなった。

(10) ドームふじ氷床コアから得られた  $\text{O}_2/\text{N}_2$  比が、地球の軌道要素によって決まる現場での夏期日射量と良い相関を示すことを新たに見だし、深層コア分析による諸要素の復元にとって懸案であったコアの絶対年代を

決める方法として提案し、国際的に高い評価を得た。また、この年代スケールを採用して過去 70 万年間の CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O の濃度変動を正確に復元し、気候変動との関わりを明らかにした。

(11) 大気大循環モデルは、温暖化に伴ってブリューワー・ドブソン循環が強まり、成層圏の化学過程が影響を受けることを示唆しているが、日本やフランス、スカンジナビア上空の成層圏で観測された CO<sub>2</sub> と SF<sub>6</sub> の濃度を対流圏の値と比較することにより、そのような輸送の早まりは少なくとも高度 20 km 以上にはないという事実を発見した。

(12) 施肥された農業土壌、家畜排泄物の堆肥化、自動車、都市河川、下水処理過程などから放出される N<sub>2</sub>O のアイソトポマー比を初めて明らかにした。各発生源では起源物質や N<sub>2</sub>O 生成における環境条件に依存してアイソトポマー比の変化が起こること、3 種のアイソトポマー比を用いると発生源をある程度識別可能であること、大気中 N<sub>2</sub>O のアイソトポマー比の経年変化から推定される人為発生源のアイソトポマー比は農業土壌起源の値と概ね一致することが明らかになった。

(13) 航空機観測データと数値モデル計算を用いて詳細な解析を行い、全球規模の CO<sub>2</sub> の輸送過程と上空での分布・変動の要因を明らかにした。また、各種観測データおよび全球輸送モデルによって取得される情報を統合するために、CO<sub>2</sub> に関する 4 次元データ同化システムを開発し、大気中濃度の全球分布および陸面・海面-大気間のフラックスを推定することを可能とした。

(14) 北太平洋中緯度における大気-海洋間の O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> の交換に関して、冬季に深い混合層で形成される亜熱帯モード水が、春季以降に有光層へ栄養塩を供給して亜表層での基礎生産を維持している可能性があること、夏季の季節密度躍層の発達に伴い、一次生産によって生成された O<sub>2</sub> が躍層内およびその直下に捕捉され、O<sub>2</sub> 極大層が形成されること、秋季の混合層の発達に伴い、夏季の一次生産によって蓄積された O<sub>2</sub> が、比較的短期間のうちに大気に放出されることなど、新たな知見を得た。

(15) 波照間島において冬季に観測された CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> のシノプティックスケールの濃度変動を解析し、両者の変動の比が、経済発展の著しい中国における化石燃料起源 CO<sub>2</sub> 排出量の変化の指標として利用できる可能性があることを明らかにした。

(16) 日本航空の航空機を用いて対流圏から成層圏下部にかけて広域にわたって連続的に測定された CO<sub>2</sub> 濃度データを解析し、森林火災や人間活動の影響、大気輸送について新たな情報を得るとともに、全球規模にわたる季節変化や年平均値の分布の実態を初めて

明らかにした。

## 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 21 件)

(1) Tohjima, Y., H. Mukai, S. Hashimoto and P. K. Patra, Increasing synoptic scale variability in atmospheric CO<sub>2</sub> at Hateruma Island associated with increasing East-Asian emissions, *Atmos. Chem. Phys.*, 査読有, 10, 453-462, 2010.

(2) Engel, A., T. Möbius, H. Bönisch, U. Schmit, R. Heinz, I. Levin, E. Atlas, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Sugawara, F. Moore, D. Hrst, J. Elkins, S. Schaufner, A. Andrew and K. Boering, Age of stratospheric air unchanged within uncertainties over the past 30 years, *Nature Geoscience*, 査読有, 2, doi:10.1038/NGEO388, 2009.

(3) Patra, P. K., M. Takigawa, K. Ishijima, B. -C. Choi, D. Cunnold, E. J. Dlugokencky, T.-Y. Goo, J. -S. Kim P. Krummel, R. Langenfelds, F. Meinhardt, S. Morimoto, H. Mukai, R. G. Prinn, P. Steele, Y. Tohjima, K. Tsuboi, K. Uhse, R. Weiss, D. Worthy and T. Nakazawa, Growth rate, seasonal, synoptic, diurnal variations and budget of methane in lower atmosphere, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 査読有, 87, 635-663, 2009.

(4) Tohjima, Y., K. Katsumata, I. Morino, H. Mukai, T. Machida, I. Akama, T. Amari and U. Tsunogai, Theoretical and experimental evaluation of the isotope effect of NDIR analyzer on atmospheric CO<sub>2</sub> measurement, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 114, D13302, doi:10.1029/2009JD011734, 2009.

(5) Ishijima, K., T. Nakazawa and S. Aoki, Variations of atmospheric nitrous oxide concentration in the northern and western Pacific, *Tellus*, 査読有, 61B, 408-415, 2009.

(6) Umezawa, T., S. Aoki, T. Nakazawa and S. Morimoto, A high-precision measurement system for carbon and hydrogen isotopic ratios of atmospheric methane and its application to air samples collected in the western Pacific region, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 査読有, 87(3), 365-379, 2009.

(7) Yashiro, H., S. Sugawara, K. Sudo, S. Aoki and T. Nakazawa, Temporal and spatial variations of carbon monoxide in the western part of the Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 114, D08305, doi:10.1029/2008JD010876, 2009.

(8) Miyazaki, K., P. K. Patra, M. Takigawa, T. Iwasaki and T. Nakazawa, Global-scale transport of carbon dioxide in the troposphere, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 113, D15301, doi:10.1029/2007JD009557, 2008.

(9) Tohjima, Y., H. Mukai, Y. Nojiri, H. Yamagishi and T. Machida, Atmospheric O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

measurements at two Japanese sites; estimation of global oceanic and land biotic carbon sinks and analysis of the variations in atmospheric potential oxygen (APO), *Tellus*, 査読有, doi:10.1111/j.1600-0889.2007.00334, 2008.

(10) S. Ishidoya, S. Sugawara, S. Morimoto, S. Aoki and T. Nakazawa, Gravitational separation of major atmospheric components of nitrogen and oxygen in the stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 35, L03811, doi:10.1029/2007GL30456, 2008.

(11) Toyoda, S., S. Yamamoto, S. Arai, H. Nara, N. Yoshida, K. Kashiwakura and K. Akiyama, Isotopomeric characterization of N<sub>2</sub>O produced, consumed, and emitted by automobiles, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 査読有, 22, 603-612, 2008.

(12) Kawamura, K., F. Parrenin, L. Lisiecki, R. Uemura, F. Vimeux, J. P. Severinghaus, M. Hutterli, T. Nakazawa, S. Aoki, J. Jouzel et al., Northern Hemisphere forcing of climatic cycles over the past 360,000, *Nature*, 査読有, 448, 912-916, doi:10.1038/nature06015, 2007.

(13) Stephens, B. B., K. R. Gurney, P. Tans, C. Sweeney, W. Peters, L. Bruhwiler, P. Ciais, M. Ramonet, P. Bousquet, T. Nakazawa, S. Aoki, T. Machida, G. Inoue et al., Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO<sub>2</sub>, *Science*, 査読有, 316, 1732-1735, DOI:10.1126/science.1137004, 2007.

(14) Le Quere, C., C. Rodenbeck, E. T. Buitenhuis, T. J. Conway, R. Langenfelds, A. Gomez, C. Labuschagne, M. Ramonet, T. Nakazawa, N. Metzl et al., Saturation of the Southern Ocean CO<sub>2</sub> sink due to recent climate change, *Science*, 査読有, 316, 1735-1738, DOI: 10.1126/science.1136188, 2007.

(15) Patra, P. K., Coupling between land and ocean biospheres as observed by Sea-viewing Wide Field-of-view (SeaWiFS), *SOLA*, 査読有, 3, 77-80, 2007.

(16) Ishijima, K., S. Sugawara, K. Kawamura, G. Hashida, S. Morimoto, S. Murayama, S. Aoki and T. Nakazawa, Temporal variations of the atmospheric nitrous oxide concentration and its  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  for the latter half of the 20th century reconstructed from firn air analyses, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 112, D03305, doi:10.1029/2006JD007208, 2007.

(17) Patra, P. K., J. K. Moore, N. Mahowald, M. Uematsu, S. C. Doney and T. Nakazawa, Exploring the sensitivity of basin-scale air-sea CO<sub>2</sub> fluxes to interannual to decadal variability in atmospheric dust decomposition using ocean carbon models and atmospheric CO<sub>2</sub> inversion, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 112,

doi:10.1029/2006JG000236, 2007.

(18) Ishidoya, S., S. Sugawara, G. Hashida, S. Morimoto, S. Aoki, T. Nakazawa, and T. Yamanouchi, Vertical profiles of the O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio in the stratosphere over Japan and Antarctica, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 33, L13701, doi:10.1029/2006GL025886, 2006.

(19) Kawamura, K., J. P. Severinghaus, S. Ishidoya, S. Sugawara, G. Hashida, H. Motoyama, Y. Fujii, S. Aoki and T. Nakazawa, Convective mixing of air in firn at four polar sites, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 査読有, 244, 3-4, 672-682, doi:10.1016/j.epsl.2006.02.017, 2006.

(20) Patra, P. K., S. E. Mikaloff-Fletcher, K. Ishijima, S. Maksyutov, T. Nakazawa and TransCom-3 modelers, Sensitivity of inverse estimation of annual mean CO<sub>2</sub> sources and sinks to ocean-only sites versus all-sites observational networks, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 33, L05814, doi:10.1029/2005GL025403, 2006.

(21) Morimoto, S., S. Aoki, T. Nakazawa and T. Yamanouchi, Temporal variations of the carbon isotopic ratio of atmospheric methane observed at Ny Ålesund, Svalbard from 1996 to 2004, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 33, L01807, doi:10.1029/2005GL024648, 2006.

[学会発表] (計 20 件)

(1) Maksyutov S., T. Machida, M. Sasakawa, Y. Koyama, T. Saeki, K. Shimoyama, M. Glagolev, H. -S. Kim, G. Inoue, M. Arshinov, D. Davidov, A. Fofonov, O. Krasnov and B. Belan, Tropospheric methane and carbon dioxide over West Siberia: observation data analysis, surface flux inventories and transport modeling, AGU 2009 Fall Meeting, San Francisco, Dec. 14-18, 2009.

(2) Umezawa, T., S. Aoki, T. Nakazawa, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, K. Ishijima and P. K. Patra, Seasonal cycles of atmospheric methane and its carbon and hydrogen isotopic ratios in the lower and upper troposphere of the western Pacific region, AGU 2009 Fall Meeting, San Francisco, Dec. 14-18, 2009.

(3) Saeki, T., S. Maksyutov and T. Nakazawa, Simulation of atmospheric methane and its carbon and hydrogen isotopes to constrain its global budget, AGU 2009 Fall Meeting, San Francisco, Dec. 14-18, 2009.

(4) Nakagawa, Y., T. Suga, C. Sukigara, K. Hanawa, T. Kobayashi and N. Shikawa, Sea-to-air oxygen flux associated with the destruction of shallow oxygen minimum, SOLAS Open Science Conference, Barcelona, Spain, Nov. 16-19, 2009.

(5) Patra, P. K., Y. Niwa, Y. Sawa, M. Ikegami, R. Imasu, T. Maki, T. Machida, S. Maksyutov, H.

Matsuenda, T. Nakazawa, T. Oda and M. Takigawa, CONTRAIL-Transport Model Intercomparison (TMI): analysis of CO<sub>2</sub> concentrations in the UT/LS region, 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany, Sep. 13-19, 2009.

(6) Aoki, S., T. Nakazawa, Y. Terunuma and M. Ishizawa, Temporal and spatial variations of the concentration and carbon isotopic ratio of the atmospheric carbon dioxide in the western Pacific region, 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany, Sep. 13-19, 2009.

(7) Kawamura, K., J. P. Severinghaus, T. Nakazawa and S. Aoki, From thermometer to chronometer- Paleoenvironmental reconstruction using non-greenhouse gases in ice cores, EPICA 2008 Open Science Conference, Quaternary Climate: from Pole to Pole, Venice, Italy, Nov. 10-13, 2008.

(8) Le Quéré, C., C. Rödenbeck, E. T. Buitenhuis, T. J. Conway, R. Langenfelds, A. Gomez, C. Labuschagne, M. Ramonet, T. Nakazawa, N. Metz, N. Gillett and M. Heiman, Saturation of the Southern Ocean CO<sub>2</sub> sink due to recent climate change, 2008 EGU general assembly, Vienna, Austria, Apr. 13-18, 2008.

(9) Engel, A., T. Möbius, H. Bönisch, U. Schmidt, R. Heinz, I. Levin, E. Atlas, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Sugawara, F. Moore, D. Hurst, J. Elkins, S. Schauffler, A. Andrews and K. Boering, Thirth years of stratospheric mean age tracer measurements; no observable change in the stratospheric circulation, 2008 AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 14-19, 2008.

(10) Ishijima, K., S. Toyoda, M. Takigawa, P. K. Patra, T. Nakazawa, S. Aoki, S. Morimoto, C. Yoshikawa, S. Arihara and N. Yoshida, Three-dimensional model simulation of atmospheric nitrous oxide isotopes: comparison with balloon-observed profiles and estimation of the stratospheric effect on the surface, 4th International Symposium on Isotopomers, Tokyo, Oct. 4-8, 2008.

(11) Morimoto, S., T. Yamanouchi, H. Honda, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Sugawara, S. Ishidoya, I. Iijima and T. Yoshida, Development of a compact cryogenic air sampler and its application to stratospheric greenhouse gas observation at Syowa Station, Antarctica, 19th International Global Atmospheric Chemistry Conference, Annecy, France, Sep. 7-12, 2008.

(12) Kawamura, K., F. Parrenin, L. Lisiecki, M. E. Raymo, R. Uemura, F. Vimeux, J. P. Severinghaus, M. Hutterli, T. Nakazawa, S. Aoki, J. Jouzel, Y. Fujii and O. Watanabe, Northern hemisphere forcing of climatic cycles over the past 360,000 years implied by accurate dating of

Antarctic ice cores, IODP Tropical Symposium: North Atlantic & Arctic Climate Variability, Bremen, Aug. 15-16, 2007.

(13) Miyazaki, K., P. K. Patra, M. Takigawa and T. Nakazawa, Transport analysis of tropospheric carbon dioxide, EGU general Assembly, Vienna, Austria, Apr. 15-20, 2007.

(14) Tohjima, Y., H. Mukai, T. Machida, I. Akama, T. Amari and K. Katsumata, Evaluation of carbon isotope effect on CO<sub>2</sub> measurements by NDIR analyzer, 14th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Tracer Measurement Techniques, Helsinki, Finland, Sep. 10-13, 2007.

(15) Machida, T., H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Nakagawa, N. Kondo, K. Ishikawa, T. Nakazawa, T. Ogawa, Y. Matsumoto, T. Suenaga and T. Oka, Global observation of CO<sub>2</sub> and other trace species by aircraft, Annual IAGOS Meeting 2006, Toulouse, France, May 9, 2006.

(16) Sugawara, S., S. Aoki, T. Nakazawa, S. Ishidoya, T. Umezawa, K. Genma, S. Morimoto and H. Honda, Carbon isotopic fractionation factor of stratospheric CH<sub>4</sub> estimated from <sup>13</sup>CH<sub>4</sub> and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> measurements, Joint CACGP/IGAC and WMO Conference, Cape Town, Sep. 17-23, 2006.

(17) Toyoda, S., H. Iwai, K. Koba and N. Yoshida, Isotopomeric analysis of N<sub>2</sub>O dissolved in a river in Tokyo metropolitan area, 3rd International Symposium on Isotopomers, La Jolla, USA, Aug. 27-31, 2006.

(18) Aoki, S., K. Kawamura, T. Mori, T. Nakazawa, Y. Fujii and O. Watanabe, Changes in the atmospheric methane concentration in the Arctic and Antarctic regions for the last 110,000 years deduced from NGRIP and Dome Fuji deep ice cores, 7th International CO<sub>2</sub> Conference, Broomfield, Colorado, USA, 25-30 September 2005.

(19) Morimoto, S., T. Nakazawa, S. Aoki, G. Hashida and T. Yamanouchi, Temporal variations of the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and isotope ratios in the Arctic and Antarctic regions, 7th International CO<sub>2</sub> Conference, Broomfield, Colorado, USA, 25-30 September 2005.

(20) Sugawara, S., S. Aoki, T. Nakazawa, J. Tang, D. Zhang, G. Shi, Y. Liu, S. Morimoto, S. Ishidoya, T. Saeki, T. Hayasaka and M. Ishizawa, Observation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and its carbon isotopic ratio in China, 7th International CO<sub>2</sub> Conference, Broomfield, Colorado, USA, 25-30 September 2005.

〔図書〕 (計6件)

(1) 中澤高次郎・青木周司, 地球変動研究の最前線を訪ねる, 地球規模の炭素

循環-大気, 88-108, 清水弘文堂書房, 2010.

. (2) 中澤高清, 気候科学の冒険者-温暖化を測るひとびと, 第二章 ミスターCO<sub>2</sub>, 70-113, 技術評論社, 2009.

. (3) 中澤高清, 地球を救う仕事, CO<sub>2</sub>を測る仕事, 149-194, 汐文社, 2009.

. (4) 中澤高清, 菅原敏, 「次世代への架け橋-今, プロジェクトリーダーが語る-」, 第4章 温室効果気体の広域観測と地球規模循環, 日本気象学会, 53-65, 2007.

(5) 青木周司, 遠嶋康徳, 町田敏暢, 中澤高清, 第5版実験化学講座20-2巻, 丸善, 東京, 64-70, 200-206, 207-209 & 247-250, 2007.

. (6) 遠嶋康徳, 地球温暖化はどこまで解明されたか, 丸善, 東京, 13-20, 2006.

[その他]

ホームページ等

<http://tgr.geophys.tohoku.ac.jp/JSPS/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中澤 高 清 (NAKAZAWA TAKAKIYO)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 30108451

### (2) 連携研究者

青木 周 司 (AOKI SHUJI)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 00183129

(H17→H19: 研究分担者)

花輪 公 雄 (HANAWA KIMIO)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 40142921

(H17→H19: 研究分担者)

石戸谷 重之 (ISHIDOYA SHIGEYUKI)

東北大学・大学院理学研究科・特別教育研究教員

研究者番号: 70374907

(H17→H19: 研究分担者)

菅原 敏 (SUGAWARA SATOSHI)

宮城教育大学・教育学部・准教授

研究者番号: 80282151

(H17→H19: 研究分担者)

森本 真 司 (MORIMOTO SHINJI)

国立極地研究所・研究教育系・助教

研究者番号: 30270424

(H17→H19: 研究分担者)

町田 敏 暢 (MACHIDA TOSHINOBU)

国立環境研究所・地球環境研究センター・室長

研究者番号: 20260185

(H17→H19: 研究分担者)

遠嶋 康 徳 (TOHJIMA YASUNORI)

国立環境研究所・大気圏環境研究領域・室長

研究者番号: 40227559

(H17→H19: 研究分担者)

マクシュートフ シャミル (MAKSYUTOV SHAMIL)

国立環境研究所・地球環境研究センター・  
上席研究員

研究者番号: 70392959

(H17→H19: 研究分担者)

佐伯 田 鶴 (SAEKI TAZU)

国立環境研究所・地球環境研究センター・  
リサーチアシスタント

研究者番号: 30302243

(H17→H19: 研究分担者)

パトラ プラビール (PATRA PRABIR)

海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主  
任研究員

研究者番号: 70392967

(H17→H19: 研究分担者)

石島 健 太郎 (ISHIJIMA KENTARO)

海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研  
究員

研究者番号: 90399494

(H17→H19: 研究分担者)

豊田 栄 (TOYODA SAKAE)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・  
助教

研究者番号: 30313357

(H17→H19: 研究分担者)