

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340154

研究課題名(和文) ニュージーランド沖陸棚堆積物試料を用いた後期新生代汎世界的海水準変動の解析

研究課題名(英文) Late Cenozoic sea level changes, their timing and amplitude in offshore New Zealand: Results from IODP Expedition 317

研究代表者

保柳 康一 (HOYANAGI, Koichi)

信州大学・理学部・教授

研究者番号：30202302

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,000,000円、(間接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)： 統合国際海洋掘削計画(IODP)317次航海「ニュージーランド沖海水準変動研究」によって得られた試料について、1)底棲有孔虫を用いた酸素同位体比曲線と年代モデルの作成、2)底棲化石群集解析による古水深解析、3)粒度分析と堆積相の解析と化学分析を総合した海進海退サイクルの解析、4)浮遊性微化石による海洋環境変動の解析などの分析をおこなった。さらに、それらをもとに海水準変動の時期とその振幅を求めた。求めた海水準変動の振幅は、0.8 Maまでは約50 mの小さい振幅を示すことが多いが(平均63m)、0.8 Ma以降は大きくなり最大132m(平均98m)の振幅を示す。

研究成果の概要(英文)： IODP Expedition 317 drilled a shelf-slope system in the Canterbury Basin on the eastern margin of the South Island of New Zealand. Seven major core discontinuities correspond to Pleistocene sequence boundaries interpreted on the seismic profiles. An Oxygen isotopic curve and a depth-age curve were generated based on isotopic analysis of benthic foraminifera coupled with biostratigraphy. Sea level amplitudes between glacial and interglacial stages were reconstructed by the analysis of fossil ostracode assemblage taking into consideration subsidence and sedimentation rates. The sequence boundaries that follow the mid-Pleistocene transition correspond to the highest-amplitude oxygen isotope positive excursions that occur during this period (MIS 22, 16, 12, 8 and 6) and the corresponding sequence durations are ~0.2 m.y.. We estimate that eustatic amplitudes were ~50 m from 1.8 to 1.26 Ma and exceed 100 m from 0.9 Ma to present.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：海水準変動 更新世 酸素同位体比 海洋酸素同位体ステージ シーケンス層序学

1. 研究開始当初の背景

1977年に発表されたジュラ紀以降の汎世界的海水準変動曲線 (Vail et al., 1977) とそれを改定した Haq et al. (1987) の汎世界的海水準変動曲線は、サイスミック層序学、シーケンス層序学の原理をもちいて作成されている。すなわち、海水準変動によって地層形成パターンが決められる陸棚から陸棚斜面を経て斜面下に分布している地層の地震波断面を用いて海進海退を描き、そこに地層の時代と構造運動の要素を加えて海水準変動曲線を見積もるという原理である。しかし、実際に使われたデータには大きな問題がある。縁辺海域の地下地質情報は科学目的によって得られたものでなく、燃料資源開発のための情報を用いており、その情報が公開されていない。特に地層の年代データの精度は低く、さらに検証のすべがない。そのようなことから、科学的なアプローチとしては、微化石情報により年代が得やすい深海底堆積物中の有孔虫化石の酸素同位体比などを海水準変動曲線として読み替えてきた。しかし、これはあくまで陸域の氷床量の変動が海水中の酸素同位体比の変化となって有孔虫に記録されるという原理から海水準変動の時期を決めているに過ぎず、変動の振幅がどのようであったかを具体的に知ることは出来ない。この海水準変動の振幅 (上下幅) に関しては、私たちは今のところ最終氷期以降の上昇量のみを具体的に知るのみであり、地質時代の変動量は海水準低下時の記録を全て残している陸棚などの浅海域の連続コアの分析によってのみ得られる。

国際深海掘削計画 (以降 ODP と略す) と現在進行中の統合国際深海掘削計画 (IODP と略す) では、地質時代の海水準変動の時期とその変動量を科学的データに基づき求めるために、浅海域での炭酸塩堆積物と陸源堆積物の掘削が試みられてきた。ただその解析は、炭酸塩岩に特有な続成作用の影響などから、困難なことも多い。一方、陸源堆積物により埋積されている陸棚は、水深が 100m 前後で浅いため掘削によって堆積物を得ることが技術的に難しいなどの制約から、これまでに実際に陸棚を掘削したのは、1997 年の ODP 第 174A 次航海と 2009 年の IODP 第 313 次航海によるニュージャージー沖の掘削のみである。この海洋掘削は、ニュージャージーの沿岸域での掘削試料採取と合わせて、海水準変動量を見積もったが、2つの問題が浮かび上がっている。1つは、安定大陸縁辺という制約から更新統、鮮新統が削剥によって失われており、精度の高い時間データを提供できる陸棚斜面の厚い更新統との対比で研究が進められないこと。第2の問題は、求められた中新世の海水準変動量が最終氷期以降の上昇量である 100m 以上に比べると極めて小さい 30 m という値であり (Miller et al., 2007), この値に対して安定大陸の遅い沈降速度による削剥による記録消失により、小

さすぎる値が出ているのではないかという疑問があることである。

前述の問題点を解決するために、IODP では、陸棚の沈降量が大きくまた堆積速度が速く、更新統・鮮新統を保存しているニュージールランド南島東沖 (以降 NZ 沖と略す) の陸棚を改造・新装されたジョイデス・レゾリューション号 (以降 JR 号と略す) を用いて掘削する提案を採択した。実際の掘削は 2009 年 11 月から 2010 年 1 月に IODP 第 317 次航海としておこなわれた。掘削の目的は、新生代の海水準変動の時期とその振幅を求め、その他の地球環境変動との関係を考察することにある。陸棚水深 85~122 m で 3 サイト (陸側から U1353, U1354, U1351), 陸棚斜面水深 344 m で 1 サイト (U1352) がほぼ計画通り掘削され、連続コア試料を採取した。4つのサイトとも更新統と上部鮮新統については、欠落がほとんど無い連続試料が得られた。この成功は科学掘削で初めてであり、石油産業では連続試料を取らないので、陸棚・浅海域での上部鮮新統に達する連続コア試料は世界で唯一の極めて重要なものである。

2. 研究の目的

IODP317 次航海「ニュージールランド沖海水準変動研究」は、陸棚と陸棚斜面の掘削による世界初の浅海底の連続試料 (コア) を用いて、これまで直接には知ることの出来なかった汎世界的海水準変動曲線を描くことを目的としている。この研究では、連続的にコアが得られた 1.8Ma 以降の陸棚と陸棚斜面のコア試料から酸素同位体比曲線を描き、それによって海水準低下の時期と低下による陸棚の露出期間を求める。さらに、陸棚堆積物の微化石分析、無機・有機化学分析によって古水深変化を明らかにする。さらに、堆積物供給と堆積盆沈降を苦慮して海水準の上下幅の値を確定させた海水準変動曲線を描くことを目的とする。

また、同時にこの海域は古海洋循環を考察する上でも重要な位置にある。すなわち、北から暖かい亜熱帯水塊の分流がニュージールランド南島の南端をまわってカンタベリー沖の陸棚上を北上している。その沖には亜南極水塊が存在しており、掘削地点付近の陸棚斜面がその境界部に位置している。このことから、この陸棚と斜面サイトの浮遊性、底棲生物はこれらの水塊の影響の時間的増減を記録しており、コア中のこれらの化石の分析によってこの海域での海流変化を知ることが出来る。これらの陸棚-斜面サイトの有孔虫化石と貝形虫化石の群集解析、さらに有機炭素の安定同位体比分析を氷期-間氷期サイクルと対比することで、1.8 Ma 以降の気候変動、海流変動そして海水準変動の相互関係に関する考察を進めることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 底棲有孔虫化石を用いた酸素同位体比変動の解析

水深 314mの斜面サイト (U1352) とのコアは掘削深度 550 m まで回収率ほぼ 100% なので、このコアについて、約 1.5~2 m 間隔 (堆積速度から 7 千年から 1 万年の精度になる) で底棲有孔虫化石 *Nonionella flemingi* を採取し、その酸素同位体比と安定炭素同位体比を測定した。なお、分析は高知大学海洋コア総合研究センターの質量分析計 (IsoPrime) をもちいた。また、水深 120m の陸棚サイトのコア (U1354) についても、1~2m 毎に底棲有孔虫化石 *Nonionella flemingi* を採取し、その酸素同位体比と安定炭素同位体比を測定した。

(2) 底棲有孔虫化石群集と貝形虫化石群集の解析による古水深変動と古海洋変動解析

陸棚サイト U1354 および U1353, U1351 のコア中の底棲有孔虫化石群集、貝形虫化石群集を解析して、古水深変動と古海洋環境変化を考察した。また、斜面サイト U1352 の有孔虫化石群集変化から、古海洋環境の変遷を考察した。

(3) 有機炭素量 (TOC) と有機物の安定炭素同位体比分析による古環境解析

斜面サイト U1352 の TOC および有機物の安定炭素同位体比変動を信州大学理学部設置の CHN コーダー (ヤナコ MT-5) および元素分析装置 + 質量分析計 (FlashEA1112 + Delta V Advantage) のシステムを用いて測定した。それに基づき、古環境を考察した。

(4) 大陸棚に位置する U1351B コア中の海水と間隙水、および泥岩質堆積物中の残された塩素イオンについて同位体比分析をした。

4. 研究成果

(1) 酸素同位体比曲線と年代モデル

深度 500 m までの底棲有孔虫化石 *Nonionella flemingi* の酸素同位体比は、1.32 から 4.11‰ の間で周期的な変動を示す。ただし、コア深度 10.7~63.3 m では *Nonionella flemingi* が見出されなかったため、値は求まっていない。この変動と汎世界的氷期-間氷期 (海水準) 変動を示すとされる Lisiecki and Raymo (2005) の酸素同位体比変動曲線 (以降 LR04 スタック) とを、コアの石灰質ナノ化石などの時間面 (Fulthorpe et al., 2011) を用いて対比した。対比は、ソフトウェア AnalySeries 2.0.4.3 を用い、縦軸を時間に変換した (図 1)。その結果、1.8Ma までの海洋酸素同位体ステージ (MIS) を MIS3 と MIS4 をのぞき、MIS63、まで対応させることができた。

図 1 の年代対比に基づき、堆積速度曲線 (年代モデル) をソフトウェア AnalySeries 2.0.4.3 によって作成した (図 2)。斜面コア (U1352B) の上部 500 m 堆積速度は、平均約 28cm/1000 年であるが、約 60cm/1000 年から 10cm/1000 年と変動する。

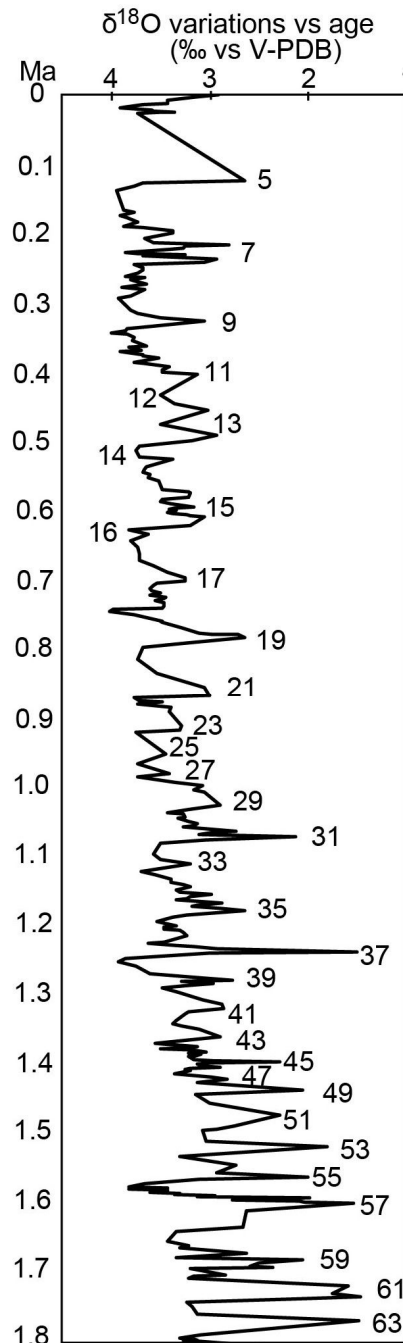


図 1 縦軸を年代とした酸素同位体比変動曲線 (U1352B 上部 500 m)

(2) 底棲有孔虫化石群集と貝形虫化石群集の解析による古水深変動と古海洋変動解析

(底生有孔虫解析) 陸棚斜面 (水深 343m) から少なくとも 93 属 167 種の底生有孔虫が産出し、いずれも陸棚から大陸斜面上部に特徴的な浅海種かであった。Q モード因子分析の因子得点の高いタクサの現世の生息分布に基づいて過去 90 万年間のコア掘削地点の古海洋環境を次のように推定した。a. 氷期初期には、海退によって海岸までの距離が近くなるが、炭素フラックス量の多い亜熱帯表層水塊に覆われたり、河川から陸起源の有機物が供給されたりすることで、富栄

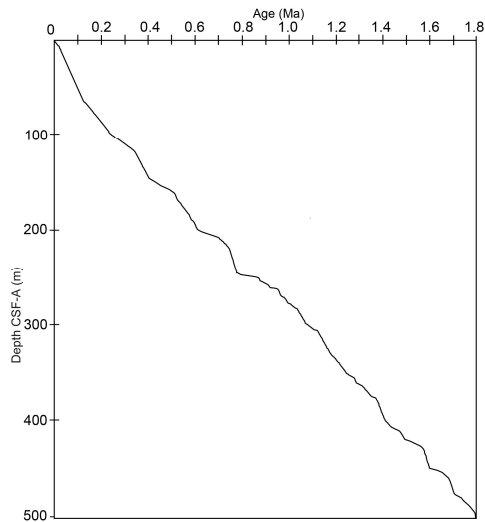


図2 U1352Bの堆積速度曲線
(年代モデル)

養・貧酸素環境になっていた。b. 氷期最盛期には河川の流量が大きく減少して陸源性の碎屑物の供給量が減少し、強い表層海流（サウスランド海流やパウンティ環流）に伴う強い底層流が存在していた。c. 間氷期には海進によって陸起源の有機物の供給量が減少し、現在と同じように亜南極表層水に覆われていたと推測される。

（貝形虫化石分析）陸棚で掘削されたコア（U1354）について、貝形虫化石群集に基づく解析を行い、少なくとも63属105種の貝形虫化石が産出した。それらの結果をもとにQモード因子分析を行い、鮮新世以降に28回の古水深変動を読み取ることができた。変動幅や頻度を考慮すると、氷期-間氷期サイクルに対応した変動をとらえていたことが明らかになった。また、3.2-2.8 Ma, 2.8-2.6 Ma, 1.8-1.2 Ma および 1.8 Ma 以降の汎世界的海水準変動幅を見積もることができた。後期鮮新世以降の長期間にわたる連続した海水準変動幅の復元はこれまで例がなく、気候モデルや古海洋学など多分野にとって重要な成果が得られた。

その他、陸棚上のコアU1351およびU1353と斜面のコアU1352の一部を解析し、貝形虫化石が連続して産出することが明らかになった。

（3）有機炭素量（TOC）と有機物の安定炭素同位体比分析による古環境解析

海洋植物プランクトン起源と考えられる有機物の安定炭素同位体比値を、底生有孔虫殻(*Nonionella flemingii*)から測定された酸素同位体比値および安定炭素同位体比値と対比させた結果、有機物の安定炭素同位体変動は、汎世界的な気候変動を反映している酸素同位体変動や炭素同位体変動と概ね同調している。この変動を海水温の地域的变化と考えると氷期には水温は下降するというように汎世界的な気候変化と同様な変動を示す

ことによると考えられる。しかし、ピークのずれが生じている時期も存在し、海洋環境と気候変動の相互作用が複雑であることを示している。

(4)U1351B コアの堆積物は、圧密効果によって間隙水の移流がおり、堆積物上方に塩素37が移動し、堆積物下方に塩素35が残されることが見出された。いくつかの狭い深度領域（コア深度16m-23m, 260m-268m, 621m-630m, 765m-794m）では、塩素同位体比の急激な変化が測定された。これらの深度領域を堆積物中の間隙水の移流領域に帰属した。移流が停止した深度(16m,260m,621m,765m)の地層が海退によって、陸上に露出した可能性があることを指摘した。

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5件)

Hoyanagi, K., Kawagata, S., Koto, S., Kamihashi, T. and Ikehara, M., 2014, Data report: Pleistocene benthic foraminiferal oxygen and stable carbon isotope and their application for age models, Hole U1352B, offshore New Zealand, In Fulthorpe, C.S., Hoyanagi, K., Blum, P. & the Expedition 317 Scientists, Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program 317, Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). 10.2204/iodp.pro.317.208.2014, 査読有。

保柳康一, 中村めぐみ, 山田桂, 2014, 地層形成と海水準変動, 月刊地球号外, 64, 104-110, 2014, 査読無。

Nakamura, M., Kusunoki, S., Yamada, K. and Hoyanagi, K., 2013, Paleoenvironmental changes during the late Pliocene and early Pleistocene: An analysis of fossil ostracode assemblages from the shelf core U1353, U1354 and U1351 (IODP Exp. 317) in Canterbury Basin, off New Zealand. *Naturalista Siciliano*, S. IV, XXXVII, 1, 245-246, 査読有。

Suto, I., Kawamura, K. & Chiyonobu, S., 2013, Data report: Paleoceanography and taxonomic notes based on Pliocene and Pleistocene diatom floras from the Canterbury Basin (IODP Expedition 317), off New Zealand. In Fulthorpe, C.S., Hoyanagi, K., Blum, P. & the Expedition 317 Scientists, Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program 317, Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.317.202.2013, 査読有。

Fulthorpe, C. S., Hoyanagi, K., Blum, P. and IODP Expedition 317 Scientists, 2011, IODP Expedition 317: Exploring the Record of Sea-Level Change Off New Zealand. *Science Drilling*, 12, 4-14. 査読有。

[学会発表](計 21 件)

上端智幸, 河瀧俊吾, 保柳康一, NZ 南島東方沖陸棚斜面 IODP Site U1352 における第四紀後期の底生有孔虫群集と古海洋変動史, 日本古生物学会第 163 回例会, 2014 年 1 月 26 日, 兵庫

Hoyanagi, K., Kobayashi, Y., Kawagata, S., Blum, P. and Fulthorpe, C., Relationship among climate, glacio-eustasy and sequence boundary formation: core analyses from the Canterbury Basin, South Island, New Zealand, American Geophysical Union Fall Meeting, 2013 年 12 月 13 日, San Francisco, USA

Nakamura, M., Kusunoki, S., Yamada, K., Hoyanagi, K., Late Pliocene and early Pleistocene sea-level timing and amplitudes derived from fossil ostracod assemblages: Canterbury Basin, New Zealand. American Geophysical Union Fall Meeting, 2013 年 12 月 13 日, San Francisco, USA .

保柳康一, 河瀧俊吾, 上端智幸, Blum, P., Fulthorpe, C., シーケンス境界形成と氷河性ユースタシー周期との関係: ニュージーランド南島沖陸棚斜面の例. 日本地質学会第 120 年学術大会 2013 年 9 月 16 日, 仙台 .

小林由季, 保柳康一, 安定炭素同位体比と海水準変動の関連 -ニュージーランド縁辺の更新統を例に-. 日本地質学会第 120 年学術大会, 2013 年 9 月 16 日, 仙台 .

中村めぐみ, 楠 慧子, 山田 桂, 保柳康一, ニュージーランドカンタベリー堆積盆地陸棚掘削コアを用いた貝形虫化石群集解析に基づく後期鮮新 - 前期更新世の海水準変動量の復元. 日本地質学会第 120 年学術大会 2013 年 9 月 16 日, 仙台 .

中村めぐみ, 楠 慧子, 山田 桂, 保柳康一, 貝形虫化石群集解析に基づくニュージーランド沖カンタベリー堆積盆地における鮮新 - 更新世の海水準変動の復元. 日本地球惑星科学連合大会 2013 年 5 月 24 日, 千葉 .

Hoyanagi, K., 2013, Sequence boundaries and sea level change: Examples from the passive soliticlastic margin, offshore South Island of New Zealand, Western Pacific Sedimentology Meeting, 2013 年 5 月 14 日, Taoyuan Taiwan .

梅元 悠, 石川 厚, 保柳康一, 大木 寛, 吉野和夫, 堆積層の塩素同位体比と海水準変動. 同位体科学会 2013 年 3 月 14 日, 東京

中村めぐみ, 楠 慧子, 山田 桂, 保柳康一, ニュージーランドカンタベリー堆積盆地における鮮新 - 更新統の貝形虫化石群集を用いた古水深変動の復元. 日本地質学会第 119 年学術大会 2012 年 9 月 16 日, 大阪 .

保柳康一, 村越直美, 古藤 尚, 小林由季, 上端智幸, 河瀧俊吾, シーケンス境界の形

成時期-IODP Exp.317 ニュージーランド南島東方沖陸棚斜面掘削コアの分析結果から-. 日本地質学会 119 年学術大会 2012 年 9 月 15 日, 大阪 .

小林由季, 古藤 尚, 保柳康一, 海洋起源有機物の安定炭素同位体比曲線を利用した年代決定および岩相の対比 - IODP ニュージーランド沖陸棚斜面上の U1352B コアを例にして -. 日本地質学会 119 年学術大会, 2012 年 9 月 15 日, 大阪 .

Hoyanagi, K., Murakoshi, N., Koto, S., Kobayashi, Y., Kamihasi T. and Kawagata, S., Relationship between Milankovitch-scale sea-level change and formation of sequence boundaries in the cores from the IODP site U1352 offshore Canterbury in New Zealand. 34th International Geological Congress 2012 年 8 月 6 日, Brisbane, Australia.

Kobayashi, Y., Koto, S., Seki M. and Hoyanagi, K., 2012, Fluctuations of stable carbon isotope ratio in organic matter - example from the IODP Site U1352 offshore Canterbury, New Zealand. 34th International Geological Congress 2012 年 8 月 6 日, Brisbane, Australia.

Nakamura, M., Kusunoki, S., Yamada, K., Hoyanagi, K., Vertical sea-level changes of the Plio-Pleistocene sediments in Canterbury Basin, off New Zealand based on fossil ostracode assemblages. 34th International Geological Congress 2012 年 8 月 6 日, Brisbane, Australia.

保柳康一, IODP, Exp.317 日本人乗船・陸上研究者, Expedition317, ニュージーランドカンタベリー沖, 陸棚-斜面掘削の概要と海水準変動記録解析の可能性. 日本堆積学会 2012 年 6 月 16 日, 札幌 .

小林由季, 古藤 尚, 関めぐみ, 保柳康一, 有機物の安定炭素同位体比変動 ニュージーランド南島カンタベリー沖堆積盆地掘削コアを例として-. 日本地球惑星科学連合大会, 2012 年 5 月 24 日, 千葉 .

中村めぐみ, 楠 慧子, 山田 桂, 保柳康一, ニュージーランドカンタベリー堆積盆地における鮮新 - 更新統の貝形虫化石群集を用いた古環境解析. 日本地球惑星科学連合大会, 2012 年 5 月 24 日, 千葉 .

山田 桂, 楠 慧子, 大井剛志, 河瀧俊吾, IODP Expedition 317 乗船研究者, ニュージーランド沖カンタベリー堆積盆地における IODP Exp. 317 で掘削された陸棚コア中の貝形虫化石と古環境変遷. 日本地質学会第 118 年学術大会, 2011 年 9 月 11 日, 茨城 .

保柳康一, 小畑敦史, 北村亜由美, 古藤 尚, 村越直美, 河瀧俊吾, ニュージーランド南島カンタベリー沖の堆積シーケンスと IODP, Expedition317 採取コア試料の酸素・安定炭素同位体比変動, 日本地球惑星科学連合大会, 2011 年 5 月 10 日, 千葉 .

②楠 慧子, 大井剛志, 河瀧俊吾, 山田 桂,

IODP Expedition 317 乗船研究者, カンタベリー堆積盆陸棚上のサイト U1354 (IODP Exp. 317) における鮮新-更新世の貝形虫化石. 日本地球惑星科学連合大会, 2011年5月10日, 千葉.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保柳 康一 (HOYANAGI, Koichi)
信州大学・理学部・教授
研究者番号: 23340154

(2) 研究分担者

長谷川 四郎 (HASEGAWA, Shiro)
熊本大学・自然科学研究科・教授
研究者番号: 90142918

河潟 俊吾 (KAWAGATA, Shungo)
横浜国立大学・教育人間科学部・准教授
研究者番号: 90244219

須藤 斎 (SUTO, Itsuki)
名古屋大学・環境科学研究科・准教授
研究者番号: 80432227

(3) 連携研究者

山田 桂 (YAMADA, Katsura)
信州大学・理学部・准教授
研究者番号: 80402098

石川 厚 (ISHIKAWA, Atsushi)
信州大学・理学部・准教授
研究者番号: 40242713