

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23310013

研究課題名(和文)南極海動物プランクトン群集組成の中長期的変化の研究

研究課題名(英文)The variability of zooplankton community structure in the Indian sector of the Southern Ocean

研究代表者

福地 光男 (Fukuchi, Mitsuo)

国立極地研究所・名誉教授

研究者番号：80099936

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：これまで定量的な評価が困難とされてきた小型(体長1mm以下)の動物プランクトンに焦点を当て、南大洋インド洋区で採集されてきた既存の204標本を用いて、群集組成の理解と中長期変動解析を試みた。甲殻類のカイアシ類が海水分布や海洋前線といった物理環境に影響を受けず、広範囲で卓越して出現した。中でも小型の2種(Oithona similisとCtenocalanus citer)の高い寄与率が認められ、今後は群集変動を図る指標種として種レベルでの変動解析を行っていく必要性が確認された。一方で40年以上のわたる継続観測データ解析から、海洋前線による現存量の中長期的変動はあるが群集組成の変動はなかった。

研究成果の概要(英文)：We focused on the composition, abundance, and distribution patterns of small-sized zooplankton communities in the Indian sector of the Southern Ocean. Because these small zooplankton is difficult to evaluate its abundance precisely. The distribution patterns of small-sized zooplankton communities showed no clear relationship with the frontal structure and/or sea-ice condition. These results suggest that they have a greater tolerance to change in the physical environment. The major contributors to the total zooplankton abundance were small copepods of the genera Oithona, Oncaea, Ctenocalanus, and Microcalanus, and they tended to be ubiquitously distributed. In particular, Oithona similis and Ctenocalanus citer were important contributors to the community structure. They are considered to be key species of the change of planktonic food web of the Southern Ocean. Intensive discussion and collaboration with the Australian scientists have developed over the present study.

研究分野：極域生物海洋学

キーワード：南極海 動物プランクトン カイアシ類 変動解析

1. 研究開始当初の背景

地球規模気候変動の問題は南極の海洋環境にも具体性をもって影響を与え始めてきた(引用文献)。特に海洋食物連鎖の鍵を握るといわれる動物プランクトンは、海洋生態系の中で植物プランクトンによる一次生産を利用し、一次生産を魚類等の高次の栄養段階へ転送する重要な役割を果たしている。従って、動物プランクトン群集組成の変化を知ることが、更に海洋生態系の栄養段階の構造と機能の理解につながる。

これまで南極海では、ナンキョクオキアミやサルバ類(体長 5 - 6 cm)等の大型動物プランクトンによる植物プランクトンの競合関係と海水域の時空間変動の関連が注目されてきた。しかし、植物プランクトンの重要な利用者としてオキアミ類に匹敵すると言われている小型の動物プランクトン(体長 1 mm 以下)についての群集組成や中長期的変化についての研究は進んでいない。その最大の理由として、小型種を採集するための目合いの細かいプランクトンネットでは、多量の植物プランクトンが同時に混入し、標本精査に多大な時間と労力を要することがあげられる。また、ナンキョクオキアミと海水との研究は、南極半島周辺海域に集中しており、他の海域での研究はいまだなされていないのが現状である。日本は南大洋インド洋区において長年に渡り、プランクトン観測を継続しており、膨大なプランクトン標本を蓄積している。近年の予備的解析結果から、2000 年代初頭、南極海の季節海水域(冬季に海水で覆われる海域)およびその北側の海水に覆われない南大洋において、全動物プランクトン群集の中で比較的小型の種類が占める割合が増加していることが指摘され、インド洋区全域をカバーする小型動物プランクトン群集組成の理解と変動解析が期待されていた。

2. 研究の目的

日本南極地域観測隊(JARE: Japanese Antarctic Research Expedition)が南大洋インド洋区で採集した動物プランクトン標本を基に、特にこれまで情報集積が遅れている小型種(体長 1 mm 以下)に焦点を当て、以下の3点を目的とした。

(1) 多量の植物プランクトンが混入する標本から、小型動物プランクトン(体長 1 mm 以下)だけを正確に計数し、湿重量を測定する方法を確立する。

(2) 南大洋インド洋区で比較的既存標本数の多い昭和基地沖(リュツォ・ホルム湾)の季節海水域における標本を精査し、小型動物プランクトン群集組成の理解と中期的変動の抽出を試みる。同時に、環境要因としての海水分布との関連性を明らかにする。

(3) JARE がモニタリング観測を実施している南大洋インド洋区東経 110 度に沿った標本を用いて、小型動物プランクトン群集組成の理解と中長期的変動の抽出を試みる。

3. 研究の方法

はじめに既存動物プランクトン標本を用いて、標本精査のための処理手順を確立した。この方法を用いて、植物プランクトンの混入を取り除いた動物プランクトン全体の量を測定した。動物プランクトンのみとなった標本を基に、分類群ごとの個体数を計数した。これら一連の作業の支援のため、大学院学生を雇用するとともに、外部のプランクトン分析業者に委託して分析を実施した。研究期間の5年間で204標本を処理し、得られたデータを用いて、群集組成をグループ分けする統計手法であるクラスター解析により、動物プランクトン群集の中長期的変動の抽出を試みた。さらには環境要因、特に異なる海水分布状況下で得られたデータを相互比較することにより、関連性を解析した。また同じインド洋区をフィールドとして観測を実施している豪州の研究者と定期的な会合をもち、豪州側の研究成果の統合について議論を行なった。

4. 研究成果

(1) 標本処理手順の確立

JARE がこれまでに動物プランクトンを採集する標準法であるノルパックネットで蓄積した標本を用い、植物プランクトンが多量に混入した標本の精査方法として、以下の手順を確立した(図1)。

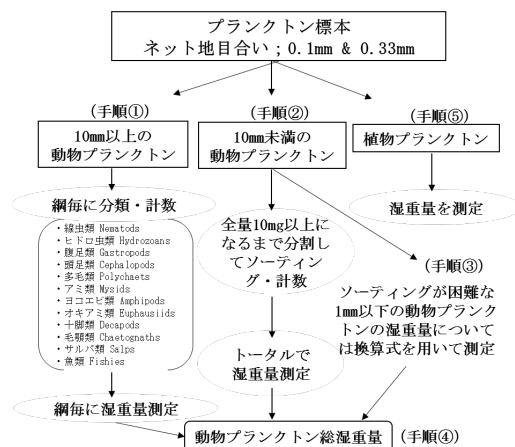


図1 植物が混入するプランクトン標本の精査手順。

標本から 10 mm以上の大型動物プランクトンを選別し、網レベルに分類した後、計数、湿重量測定を実施。

10 mm未満の動物プランクトンは全量 10 mg 以上になるまで分割し、種同定、計数、湿重量測定を実施。

選別が困難である 1 mm以下の小型種は換算式を用いて湿重量を算出。例えば、楕円体である有孔虫は比重を 1 と仮定して体積から算出した。またカイアシ類では体長から換算式により算出した(発表論文を参照)。

上記で求めた湿重量を合計して総湿重量を算出。

一部の試料においては、植物プランクトンの湿重量を測定。

これまで動物プランクトンの生物量評価については、大型の植物プランクトンの混入による過大評価や、混在する植物プランクトンにより、特に小型種（体長1mm以下）の精査が困難であることが指摘されてきた。本研究の精査方法により、植物プランクトンが大量に混在する標本については、動物プランクトンのみの測定が可能となった。また体サイズ測定から換算式により湿重量値を求めることで、これまで評価されなかった1mm以下の動物プランクトン群集の分布特性や生物量の変動を捉えることが可能となった。

(2) 昭和基地沖における小型動物プランクトン群集の分布特性と海水分布との関連性
南極海の氷海域では、海水分布によって大型の動物プランクトン群集組成が変化するとされている(引用文献)。定着氷域や流水域ではオキアミ類、開放水面域ではサルパ類が代表種となる。一方で小型種に関する知見は乏しいのが現状であった。昭和基地沖のリュツオ・ホルム湾は海水の張り出しが厳しい海域と言われているが、日本の南極観測船「しらせ」が誇る砕氷能力の高さを利用して、JAREではこれまで氷海域においても小型動物プランクトン採集を実施し、標本を蓄積してきた。

本研究では始めに、1983年から1995年の間にノルパックネット(ネット地目合い0.1mm、0-150mの鉛直曳き)を用いて季節氷海域で得られた24標本を精査した。クラスター解析による群集構造解析の結果、一つの大きなグループと、その他3つの小グループに分かれた(図2)。

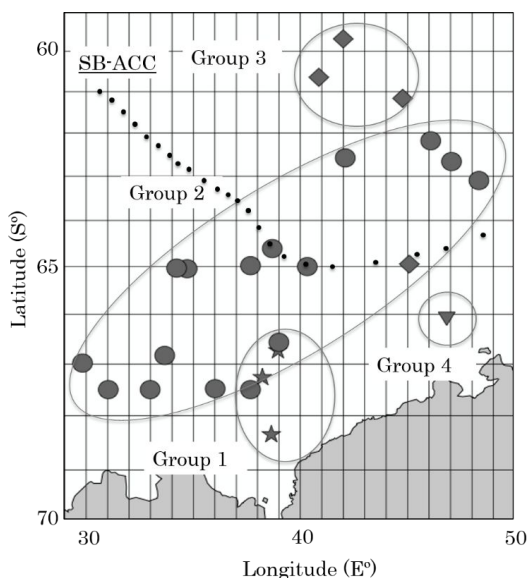


図2 昭和基地沖における小型動物プランクトン群集のクラスター解析結果。24標本中、16標本がグループ2()に分類され、SB-ACC

(...で示す南極還流の南限)を跨いで広範囲に広がっていた。

大グループに分類されたグループ2では小型カイアシ類の4種(*Oithona similis*, *Oncaea curvata*, *Ctenocalanus citer*, *Microcalanus pygmaeus*)が卓越して出現していた。これまで大型動物プランクトンはSB-ACCを境に種類組成が異なることが知られている(引用文献)。本研究結果より個体数で他を凌駕する小型種の分布特性には、SB-ACCの影響が低く、普遍的に出現していることが明らかとなった。一方で種類組成および現存量に中期的な変動傾向は認められなかった。

次に2011年および2012年に昭和基地沖の定着氷域(F)で4点、流水域(P)で3点および開放水面域(O)の2点で採集(ネット地目合い0.1mm、0-150mの鉛直曳き)された標本を精査し、小型動物プランクトンと海水分布の関連性について精査した。小型カイアシ類である*O. similis*と*Oncaea*属は定着氷下から開放水面域に至る全ての観測点で優占して出現した。このことは彼らの分布特性に海水分布は起因せず、海水下でも生残していることが明らかとなった(図3)。一方で、流水域では有孔虫(Foraminifera)が、また2012年の開放水面域では翼足類(*Limacina* spp.)が多く出現しており、彼らの分布が海水分布に影響を受けている可能性が示唆された。

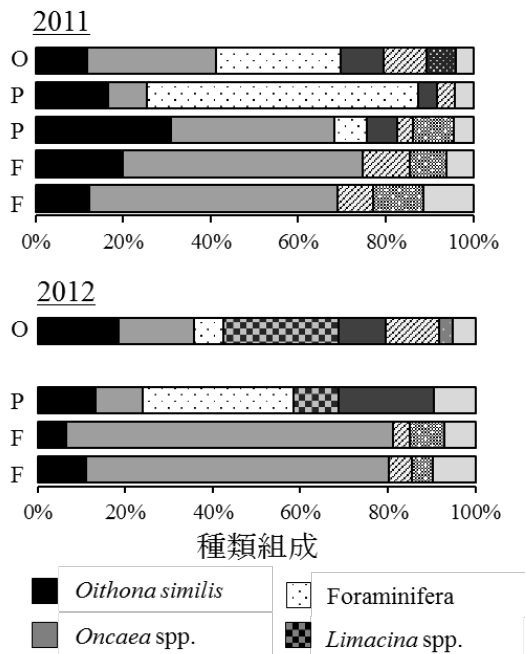


図3 昭和基地沖の氷海域における小型動物プランクトンの出現種類組成。優占4分類群で各観測点の70%前後を占めた。

最後に小型動物プランクトンの鉛直分布を探るため、開放水面域から流水域にかけて直線状に設定した観測点において、開閉式ネット(ネット地目合い0.06mm)を用いて0-100

- 200 - 500m の 3 層別にて採集した標本を精査した。

多くの観測点でカイアシ類 (特に *Oithona* 属、*Oncaea* 属) のノープリウス幼生および有孔虫が優占して出現していた。クラスター解析の結果、200 - 500m 層および流水域では、動物プランクトンは低現存量であり、それぞれオンケア科カイアシ類、有孔虫が卓越して出現した。表層域における動物プランクトン群集組成と季節海水域に存在する二つの海洋前線 (ASF および SB-ACC) 構造に関係性は見られなかった (図 4)。

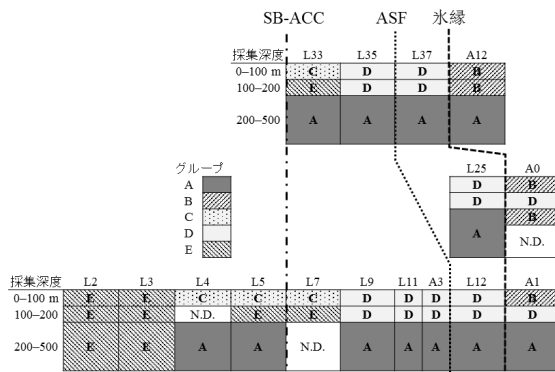


図 4 昭和基地沖における動物プランクトン群集のクラスター解析による鉛直分布。200 - 500m (グループ A) と氷縁以南の表層域 (グループ B) は特徴的な種類組成が見られた。

以上の結果から、本研究に用いたデータセットからは、季節海水域における小型動物プランクトンの中期的な群集変動は抽出できなかった。しかし個体数で卓越して出現する小型カイアシ類の水平および鉛直分布には、海洋前線や海水分布による影響が低いことが明らかとなった。一方で有孔虫や翼足類といった一部の分類群の分布には、海水分布が起因している可能性が示唆された。

これらの結果から、今後、南極海の海水域における海洋環境の変化が生物へ与える影響を評価する上では、普遍的に優占する小型カイアシ類に加えて、有孔虫や翼足類といった分類群を対象種とするのが有効であることが示唆された。

(3) 東経 110 度モニタリングラインにおける小型動物プランクトン群集解析

南大洋における動物プランクトン分布の特徴として、南極大陸を取り巻いて存在する海洋前線の影響で、東西方向には変動が少なく、南北方向については、海洋前線と関係があると言われている (引用文献)。

JARE では 1972 年から 40 年以上にわたり、ノルパックネットによる動物プランクトンモニタリング観測を継続して実施している。中でも東経 110 度に沿ったモニタリング観測ラインは、南大洋に存在する主な海洋前線である亜南極前線 (SAF: 南緯 48.7 度付近) と極

前線 (PF: 南緯 52 度付近) 域を通過することから、動物プランクトン群集の変動を調査するうえで有効であり、世界でも希少なデータセットである (図 5)。

本研究では南緯 45 - 60 度の範囲において、1972 年から 2013 年までの間に採集された 90 標本 (採集ネット地目合い 0.33 mm、0 - 150 m の鉛直曳き) を精査し、87 分類群のプランクトンを同定・計数した。

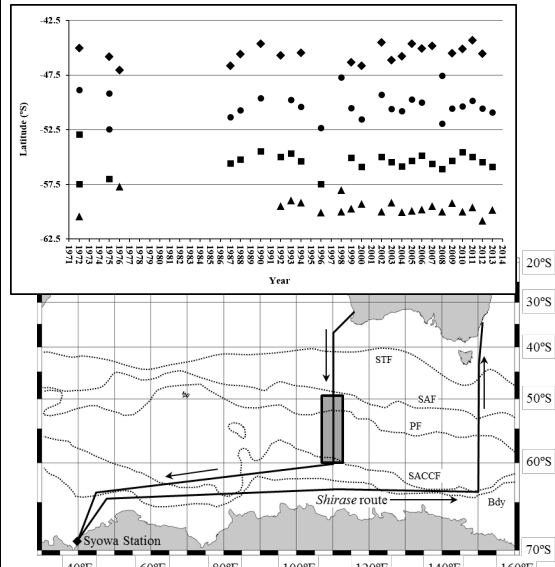


図 5 本研究で用いた 90 標本の採集観測点。毎年、東経 110 度を昭和基地へ向けて南下する際、緯度にして 5 度おきにプランクトン採集を実施している。

得られたデータはクラスター解析により群集解析を行った。その結果、3 つの主要なグループに分類された (図 6)。

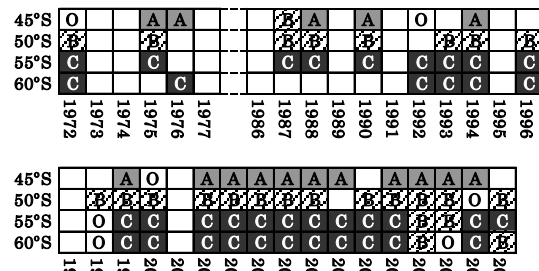


図 6 クラスター解析による東経 110 度ラインの動物プランクトン群集解析結果。大きく A-C の 3 グループに分類された。

グループ A は亜南極前線 (SAF) 以北の南緯 45 度付近の標本が占め、動物プランクトンの現存量が低いことが特徴であった。グループ B は極前線 (PF) 付近の南緯 50 度、グループ C は PF 以南の南緯 55、60 度の標本で構成され、いずれも小型のカイアシ類が優占していた。つまりグループ B と C においては、種類組成は類似していた。一方で現存量は、極前線付近のグループ B がグループ C に比べて高く、グループが分かれた主要因であると考えられた。

これらの解析結果から、東経 110 度ラインにおける小型動物プランクトン群集の分布特性は、海洋前線により現存量は影響を受けているが、群集組成にはその影響は見えず、また中長期的な変動傾向も認められなかった。そこで海洋前線の影響が最も低いと考えられる、南緯 55 度付近の 21 標本のデータのみを用いて更にクラスター解析を行った。その結果、2 つの大グループに分類された(図 7)。

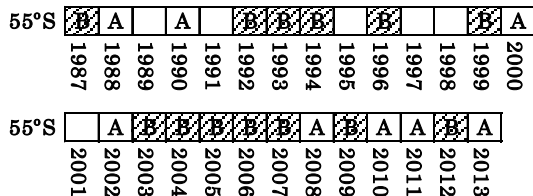


図7 クラスター解析による南緯 55 度標本の動物プランクトン群集解析結果。

グループ A と B で種類組成に変化は見られなかったが、現存量はグループ B が高い結果となった。ここでも現存量や種類組成に、明確な中長期変動傾向は見られなかった。しかしながら現存量の変化は 3 種類の優占カイアシ類 *O. similis*、*C. citer*、*Calanoides acutus* が大きく影響していることが明らかとなり、特に小型種である *O. similis* と *C. citer* で全体の 54.8% の寄与率であった(表 1)。

表1 グループ A と B の平均現存量とクラスター解析における寄与率。

| 種名 | グループ A 平均現存量 | グループ B 平均現存量 | 寄与率 (%) | 累計 (%) |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------|-----------|
| <i>Ctenocalanus citer</i> | 27.5 | 88.3 | 27.6 | 27.6 |
| <i>Oithona similis</i> | 9.7 | 106.5 | 27.1 | 54.8 |
| <i>Calanoides acutus</i> | 11.1 | 71.7 | 21.0 | 75.8 |
| <i>Calanus simillimus</i> | 12.2 | 16.2 | 7.4 | 83.2 |
| <i>Clausocalanus laticeps</i> | 4.5 | 14.2 | 5.5 | 88.6 |
| <i>Metridia gerlachei</i> | 0.9 | 13.0 | 4.7 | 93.3 |

本研究では小型カイアシ類である *O. similis* と *C. citer* が卓越して出現したが、2 種の間には、特に 2000 年代から現存量の変動傾向に違いが見られた(図 8)。つまりある年は両種ともに個体数が増減しているが、ある年は一方が増加し、一方が減少していた。

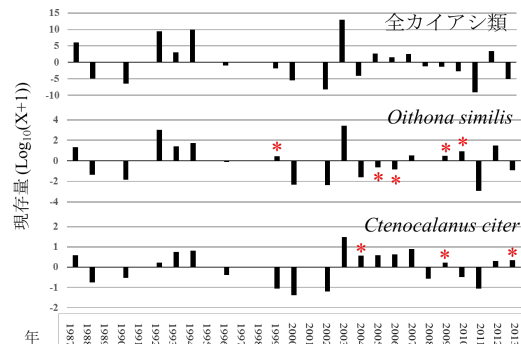


図8 南緯 55 度付近の標本におけるカイアシ類の現存量変化。平均値を 0 とし、全カイアシ類現存量と優占して出現した *O. similis* と *C. citer* の出現個体数の増減を示す。(*) は 2 種の増減が全カイアシ類現存量と一致しなかった年度を示す。

今後はこれらの重要種を種レベルで解析する必要があるが、2 種のような小型種を対象とする場合、本解析で用いた 0.33mm のネット目合いの採集では、幼生期の個体がネットをすり抜けるため、過小評価となっている可能性が高い。そのため、今後はより目合いの細かいネット地(例えば 0.10 mm)による標本精査を進める必要がある。

本研究課題では、これまで過小評価されてきた小型(体長 1 mm 以下)の動物プランクトンに焦点を当て、長期にわたり採集されてきた既存の標本を精査し、群集組成の理解および中長期的群集変動の抽出を試みた。

小型種の中でもカイアシ類は個体数で卓越し、定着氷下から亜南極域に至る全ての観測点で優占した。季節海氷域における彼らの分布は、海氷分布や前線構造に影響を受けないことが明らかとなった。同様に南大洋の開放水面域でも海洋前線により現存量の変化は認められたが、小型種が優占する群集組成には物理環境の影響は認められなかった。

いずれの海域においても小型動物プランクトン群集の中長期的変動の抽出には至らなかった。しかしながら群集組成への寄与率が高い種類として *O. similis* と *C. citer* の 2 種が群集変化の指標種として有効であることが明らかとなった。

今後はこれらの指標種を対象とした種レベルでの変動解析が課題であると考えられる。そのために本研究で確立した精査手順を用いて、小型種の幼生期をカバーした正確な生物量評価のデータを蓄積する必要がある。

また豪州は南大洋インド洋区を広範囲にカバーした動物プランクトンの表層分布データを保持している。本研究では南極の夏季間のみ採集された標本を基にした解析であり、今後は豪州と連携し、より広い時空間スケールをカバーした研究が必要である。

<引用文献>

- Zwally, 1994, Antarctic Science, pp. 126-143.
 Hosie, 1994, Southern Ocean ecology: the BIOMASS perspective, pp. 93-123.
 Tanimura et al. 2008, Antarct. Sci., 20, 365-379.
 Takahashi et al. 1998, Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, 52, 209-219.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4 件)

- Kunio T. Takahashi, Motoha Ojima, Atsushi Tanimura, Tsuneo Odate and Mitsuo Fukuchi. The vertical distribution and abundance of copepod nauplii and other micro- and mesozooplankton in the seasonal ice zone of Lützow-Holm Bay during austral

summer of 2009. Polar Biology, 査読有, 2016.
DOI: 10.1007/s00300-016-1925-y
Motoha Ojima, Kunio T. Takahashi, Atsushi Tanimura, Tsuneo Odate and Mitsuo Fukuchi. Spatial distribution of micro- and meso-zooplankton in the seasonal ice zone of the east Antarctica during 1983-1995. Polar Science, 査読有, 9, 2015, pp. 319-326.
DOI:10.1016/j.polar.2015.05.002
鶴飼由紀子, 高橋邦夫, 福地光男, 谷村篤. 南大洋インド洋区で採集された NORPAC ネット標本における動物プランクトン湿重量の再評価. 南極資料, 査読有, 58, 2014, pp. 19-41.
<http://id.nii.ac.jp/1291/00009723/>
Motoha Ojima, Kunio T. Takahashi, Takahiro Iida, Tsuneo Odate and Mitsuo Fukuchi. Distribution patterns of micro- and meso-zooplankton communities in sea ice regions of Lützow-Holm Bay, East Antarctica. Polar Biology, 査読有, 36, 2013, pp. 1293-1304.
DOI:10.1007/s00300-013-1348-y

〔学会発表〕(計 26 件)

Kunio T. Takahashi, The variability of zooplankton community structure along the 110°E meridian in the Southern Ocean, 1972-2014, The 6th Zooplankton Production Symposium, 9-13 May, 2016, Bergen (Norway)
Kunio T. Takahashi, Micro- and meso-zooplankton communities in the seasonal ice zone of the Southern Ocean, The 6th Symposium on Polar Science, 16 November, 2015, NIPR (Tokyo)
Kunio T. Takahashi, Distribution patterns of micro- and meso-zooplankton communities in the seasonal ice zone of Lützow-Holm Bay in austral summer of 2009, The 5th Symposium on Polar Science, 2 December, 2014, NIPR (Tokyo)
高橋邦夫, 南大洋インド洋区における動物プランクトンの変動, 日本海洋学会秋季大会, 2013 年 9 月 19 日. 北海道大学 (札幌)
Kunio T. Takahashi, Comparison of abundance and biomass of dominant copepods around Lützow-Holm Bay since 1983-2008, XIth SCAR Biology Symposium, 18 July, 2013, Barcelona (Spain)
Graham W. Hosie (海外共同研究者), The SCAR Southern Ocean CPR Survey: Changes in Southern Ocean Zooplankton,

Strategic Science In Antarctica: A joint Australian & New Zealand Conference, 24-26 June, 2013, Hobart (Australia)
Mitsuo Fukuchi, SOOS Marine Biology in Japan -Past, Present and Future-, SOOS Asian Workshop, 23-24 May, 2013, Shanghai (China)
Kunio T. Takahashi, The variability of zooplankton community structure along the 110°E meridian in the Southern Ocean, 1972-2008, Plankton 2011, 22 September, 2011, Plymouth (UK)

〔図書〕(計 1 件)

南極海に生きる動物プランクトン -地球環境の変動を探る-. 福地光男, 谷村篤, 高橋邦夫. 成山堂書店, 2014, 197

〔その他〕

アウトリーチ活動 (講師派遣、計 10 件)
創価中学校・高橋邦夫. 2016 年 2 月
サイエンスカフェ富山房 高橋邦夫. 2015 年 8 月
白岡町立篠津中学校・福地光男. 2012 年 12 月
宇都宮市東生涯学習センター・福地光男. 2012 年 10 月
白岡町立白岡東小学校・福地光男. 2011 年 6 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福地 光男 (FUKUCHI, Mitsuo)
国立極地研究所・名誉教授
研究者番号: 8 0 0 9 9 9 3 6

(2) 研究分担者

谷村 篤 (TANIMURA, Atsushi)
国立極地研究所・研究教育系・教授
研究者番号: 1 0 1 2 5 2 1 3

高橋 邦夫 (TAKAHASHI, Kunio)
国立極地研究所・研究教育系・助教
研究者番号: 5 0 4 1 3 9 1 9

(3) 連携研究者

石丸 隆 (ISHIMARU, Takashi)
東京海洋大学・海洋科学部・教授
研究者番号: 9 0 1 1 4 3 7 1

西田 周平 (NISHIDA Shuhei)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号: 7 0 1 3 4 6 5 8