

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24248032

研究課題名(和文) 光学プランクトン観測システムによる動物プランクトン生産力の定量評価

研究課題名(英文) Quantitative evaluation of zooplankton production by optical plankton observation system

研究代表者

山口 篤 (Yamaguchi, Atsushi)

北海道大学・水産科学研究院・准教授

研究者番号：50344495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 22,900,000円

研究成果の概要(和文)：水産学及び海洋学の両視点において重要な動物プランクトン群集サイズ組成に関して、1．日本近海における水平分布、2．北太平洋全域の水平分布、3．北太平洋全域における表層から深海における鉛直分布、4．チャクチ海における経年変動を明らかにした。

動物プランクトン群集内におけるエネルギー転送効率として、大型カイアシ類Neocalanus属の優占する西部北太平洋亜寒帯域はボトムアップ的な生態系であることが明らかになった。鉛直的な物質輸送により、深海でも亜寒帯域と熱帯-亜熱帯域の群集構造が異なることが明らかになった。経年的にはチャクチ海にて近年動物プランクトンバイオマスが増加していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：From both viewpoints of fisheries and oceanography, zooplankton size structure is a prime important factors to determine their flux. Concerning zooplankton size spectra, following four topics were evaluated: 1. Spatial distribution of neighboring water of Japan, 2. Geographical distribution in the North Pacific, 3. Vertical distribution down to greater depths covering whole North Pacific, 4. Yearly changes (1946-2012) in the Chukchi Sea.

Concerning energy transfer within the zooplankton community, bottom-up control and high energy transfer efficiencies were observed for the western subarctic Pacific. In the western subarctic Pacific, zooplankton community was dominated by large-sized copepod Neocalanus spp. For vertical distribution, regional differences in zooplankton community were recognized even in the deep-sea down to 2000 m. Inter-annually, zooplankton biomass in the Chukchi Sea increased through 1946-2012.

研究分野：海洋プランクトン学

キーワード：生物海洋学 プランクトン カイアシ類 生態効率 バイオマス サイズ イメージング技法 物質循環

## 1. 研究開始当初の背景

海洋において動物プランクトンは植物プランクトンによる生産物を高次生物に受け渡す仲介的な役割(水産学的重要性)と、海洋表層から深海への物質輸送(生物ポンプ)を促進する役割(海洋学的重要性)の2つの大きな役割を果たしている。これら水産学上および海洋学上の役割いずれにおいても、動物プランクトンのサイズ組成は、被食-捕食関係が成り立つか否か、鉛直的な物質輸送量の多寡を左右する重要な要因である。しかし、植物プランクトンに関しては、クロロフィルaなどの色素量で全球的なリモートセンシングが可能であるが、動物プランクトン量については全球的なリモートセンシング方法がなく、海洋生態系モデリングにおいても動物プランクトン以降の高次生物の再現性が低く、海洋生態系におけるミッシングリンクとなっていた。

## 2. 研究の目的

本研究は動物プランクトンのサイズ組成について全球的なリモートセンシング方法の確立を目的として、光学式動物プランクトンカウンター(OPC: Optical Plankton Counter)やバイオイメージング機器として、ビデオプランクトンレコーダー(VPR: Video Plankton Recorder)を用いて、動物プランクトン試料についてのサイズ組成解析を行った。特に以下の4つの解析を行った。

### (1) 日本近海における動物プランクトンサイズ組成の水平分布

日本近海は、太平洋岸では寒流の親潮と暖流の黒潮のぶつかり合う、非常に複雑な海流系を形成している。また太平洋の縁辺海として、北半球南限の結氷する海であるオホーツク海、太平洋と連結する海峡の水深が浅いため、水深200m以深には水温1以下(以下)の日本海固有水の存在する日本海、長江からの流入が多い東シナ海が存在する。この日本近海を巡る動物プランクトンサイズ組成の地理変化を明らかにすることを目的として行った。

### (2) 北太平洋全域に及ぶ動物プランクトンサイズ組成の水平分布

前述の(1)の研究では日本近海における動物プランクトンサイズ組成の空間変動を明らかにしたが、北太平洋全域に及ぶサイズ組成については不明な点が多い。北太平洋全域に及ぶ動物プランクトンサイズ組成を明らかにするためには試料の確保が最も重要である。北海道大学附属練習船では1950年代から現在にかけて、北太平洋全域に及ぶ動物プランクトン試料採集を行っている。この試料採集は北太平洋標準ネット(NORPAC net)による、水深150mから表面までの採集という同じ採集法で、かつ採集された試料は中世ホルマリン固定して、半永久的に解析が可能である。本研究では、これら試料のうち、北太平洋全域をカバーする試料についてOPC測定を行い、動物プランクトンサイズ組

成の水平分布について明らかにすることを目的として行った。

### (3) 北太平洋全域にわたる、深海に及ぶ動物プランクトンの鉛直分布

前述の(1)および(2)の解析は、海洋表層(水深~150mまで)を対象としていたが、鉛直的な生物ポンプを評価する上では、鉛直的な群集構造の変化を明らかにすることも重要である。北太平洋全域に及ぶ動物プランクトン群集の鉛直分布を明らかにするため、水深0-2,615m間の層別採集を行い、それらについて検鏡解析を行い、種多様性と表層から深海に及ぶ群集組成について水平変化を明らかにすることを目的として行った。

### (4) 1940年代~現在にかけての、チャクチ海における動物プランクトン群集の経年変動

前述の(1)~(3)の研究はいずれも、単年度の水平および鉛直分布に関する研究であった。北海道大学附属練習船では1950年代から継続して、北部北太平洋を中心とする動物プランクトン採集を行っており、これら過去の歴史的試料を解析することにより、長期的な経年変動を評価することができる。北極海では近年、海氷面積が減少する規模やタイミングが早くなり、海洋生態系への影響が懸念されている。海氷減少の影響は、太平洋側北極海のチャクチ海にて顕著なことが知られている。チャクチ海にて米国やロシアの研究者が採集したデータに、北大附属練習船おしよる丸によるデータも合わせて、日米露3か国共同での1947年から現在にかけての70年に及ぶ、動物プランクトン群集の経年変動を明らかにすることを目的として行った。

## 3. 研究の方法

(1) 日本近海における水平分布: 2011年5月~8月にかけて日本周辺海域(北太平洋、オホーツク海、日本海、東シナ海)に設けた78定点にて、NORPAC netによる水深150mから表面までの鉛直曳きを行った。得た試料は5%ホルマリン海水で固定し、実験室に持ち帰った。試料は室内型OPCに流し、サイズ組成解析を行った。

(2) 北太平洋全域に及ぶ水平分布: 1981~2009年5~8月にかけて、東経144、155、165、170、175度、子午線(180度)、西経165、145度に沿った北緯35~54度にてNORPAC netにより水深150mから表面までの鉛直曳き採集で得た。試料は北大標本館に保管されており、そのうち全1,396試料についてOPCによりサイズ組成解析を行った。

(3) 北太平洋全域の深海に及ぶ鉛直分布: 1965~1967年にかけて、南部ベーリング海から赤道域にかけて設けた16定点にて、目合い0.33mmのMTDネットによる水深0m~最大2,615mにかけて採集された動物プランクトン試料を用いた。試料は北大標本館に保管されており、そのうち全108試料について検鏡を行い、出現したカイアシ類について

種同定を行った。種組成データは種多様度を計算し、試料間の類似度をクラスター解析にて評価した。

(4) チャクチ海における経年変動：1947～2012年の夏季に、チャクチ海にて計20年の動物プランクトン採集を行った。試料は検鏡解析を行い、その動物プランクトンとカイアシ類個体群データを合わせて、その経年変動を評価した。用いた元データは日本4年、米国7年、ロシア9年である。

#### 4. 研究成果

(1) 日本近海における水平分布(雑誌論文) 出現個体数でみると、日本近海における動物プランクトン水平分布は明確な地理パターンは見いだせなかったが、バイオマスでみると、北緯40度以上の海域で多く、季節的には5月で多く、6-8月で少なくなっていた(図1)。動物プランクトンサイズ組成の季

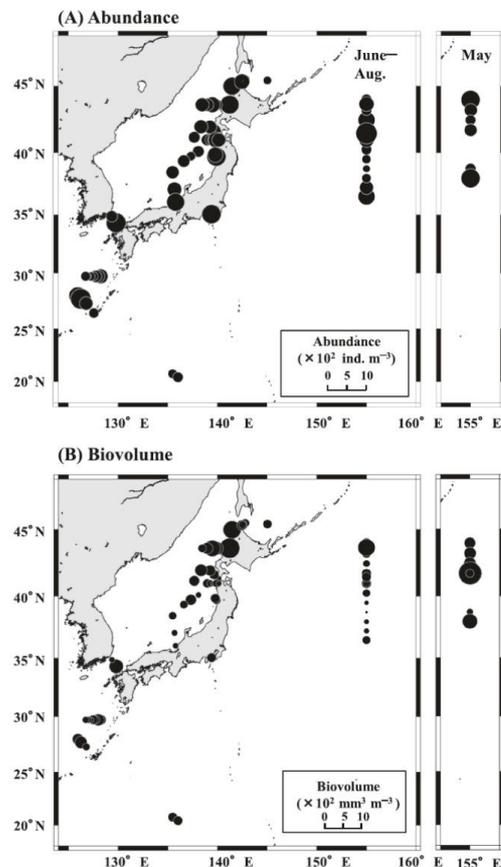


図1. 日本近海の動物プランクトン出現個体数とバイオマス。

節変化については、親潮域にて別途解析を行った(雑誌論文)。

動物プランクトンサイズ組成に基づきクラスター解析を行ったところ、日本近海における動物プランクトン群集は6グループに区分された。サイズ組成を評価するNBSS(Normalized Biomass Size Spectra)解析をしたところ、グループ内でのエネルギー転送効率の指標であるNBSSの傾きは、多くのグループでは-1.11~-1.24であったのに対し、

5月の北太平洋亜寒帯域で見られた高バイオマス群集では-0.90と有意に異なっており、この高い転送効率は、大型カイアシ類である*Neocalanus*属の優占によることが明らかになった(図2)。この*Neocalanus*属の生態に関しては他にも鉛直分布や地理変化に関する研究を行った(雑誌論文、)。)

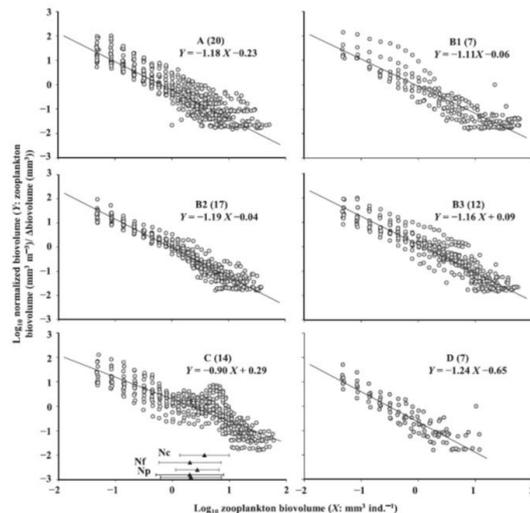


図2. 日本近海における6つの動物プランクトン群集に関するNBSS。

(2) 北太平洋全域に及ぶ水平分布(雑誌論文)

北海道大学附属練習船が1981～2009年5～8月にかけて、東経144、155、165、170、175度、子午線(180度)、西経165、145度に沿った北緯35～54度にてNORPAC netにより採集した動物プランクトン群集をOPCにより解析したところ(図3)動物プランクトン出現個体数やバイオマス、NBSSの傾きが北太平洋の東西で異なることが明らかになった。す

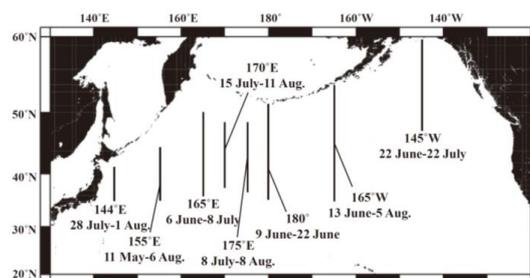


図3. 北太平洋全域に及ぶ北大附属練習船による観測モニタリングライン。

なわち、西側のトランセクトでは動物プランクトン出現個体数とバイオマスが高く、NBSSの傾きが急な、ボトムアップ的な環境であることが明らかになった。動物プランクトンの餌である、植物プランクトンの一次生産は黄砂などの大気ダスト供給による鉄濃度の東西差の反映として、鉄濃度の高い西部北太平洋では大型植物プランクトンが優占し、高い転送効率を持つのに対し、東部ではトップダウン的な環境になり、NBSSの傾きは緩やかに

なっていたと考えられる。

(3) 北太平洋全域の深海に及ぶ鉛直分布 (雑誌論文)

前述の (1) と (2) の研究は水深 150 m 以浅の表層における動物プランクトン群集に関するものであった。動物プランクトンの機能的役割として、鉛直的な物質輸送 (生物ポンプ) の主要な駆動源であることが挙げられる。この生物ポンプの海域差を評価するためには、表層だけでなく深海に及ぶ動物プランクトン群集の鉛直分布に関する情報が必要である。南部ベーリング海から赤道に及ぶ 16 定点における動物プランクトン群集鉛直分布の解析から (図 4)、動物プランクトン出

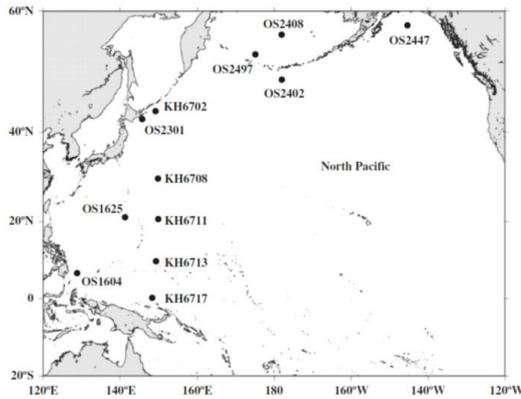


図 4. 北太平洋全域に及ぶ、表層から深海にかけての動物プランクトン採集点。現個体数密度は表層で高く、深度が増すにつれて減少するのに対し、その種多様度は水深

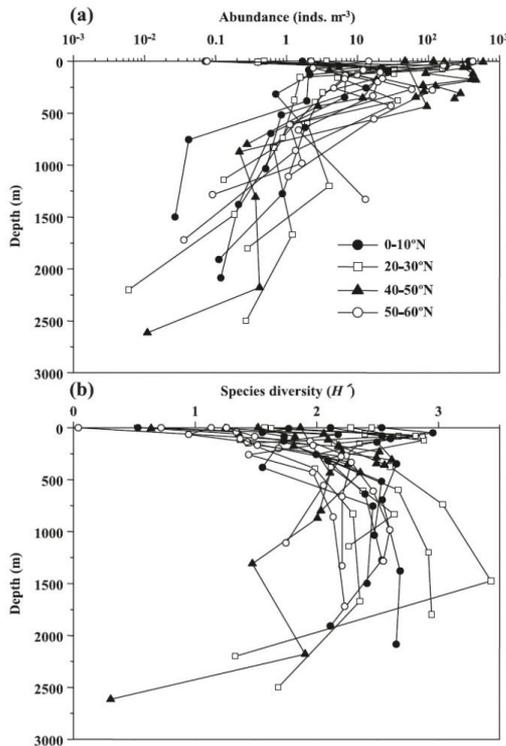


図 5. 動物プランクトン出現個体数 (上) と種多様度 (下) の鉛直分布。1000 m 付近でピークを持つことが明らかに

なった (図 5)。この深海における種多様度の極大は、亜寒帯域から熱帯域まで共通してみられる現象であった。このことは、鉛直的な物質輸送過程は基本的に海域による差は乏しいことを示している。動物プランクトンの種分化には、摂餌生態の差の反映が大きいことが知られており、深海で種多様度が高くなっていたのは、餌の多様度が、デトライタス、マリンスノー、肉食性など多岐に渡るためと解釈された。地理的に動物プランクトン群集は 7 群集に分けられ、深海域の動物プランクトン群集においても亜寒帯域と亜熱帯域の海域差が北緯 30-40 度に見られた (図 6)。

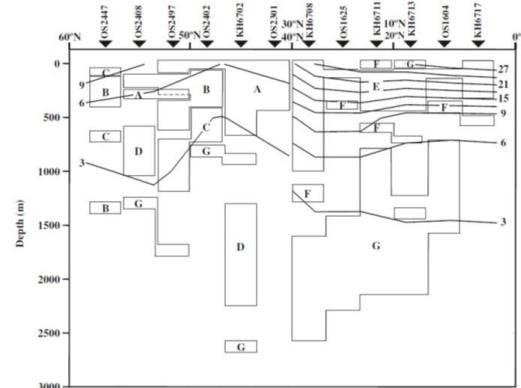


図 6. 北太平洋の深海に及ぶ動物プランクトン群集の地理分布。

この海域差は、深海性コスモポリタン種は亜寒帯域から熱帯域にかけて広く分布するが、亜寒帯域では一次生産が高く、深海性種の餌となる沈降粒子輸送量が多く、その豊富な餌に支えられた深海性の海域固有種 (北太平洋亜寒帯域では、*Pleuromamma scutellata*、*Heterorhabdus tanneri* や *Gaetanus variabilis* がそれに相当する) が優占するため、深海域でも亜寒帯域と熱帯-亜熱帯域という差異が見られていた。この深海域に及ぶ動物プランクトンの鉛直分布については、カイアシ類だけでなく、十脚類、端脚類およびヤムシ類など、様々な分類群について明らかにした (雑誌論文、 )。

(4) チャクチ海における経年変動 (引用文献)

北大附属練習船により採集された動物プランクトン試料解析の一環として、チャクチ海にて 1991、1992 年、2007、2008 年に採集された試料を解析し、動物プランクトン群集の経年変動を明らかにしていた (雑誌論文)。この日本のデータを提供してほしい旨の問い合わせが、米国アラスカ大学フェアバンクス校 (UAF) の Russell R. Hopcroft 教授より寄せられた。このリクエストに応じて、日本からの 4 年分のデータに、米国の、米国 7 年、ロシア 9 年のデータを合わせて、1946 年から 2012 年におよぶ動物プランクトン群集の経年変動が明らかになった (引用文献)

に  
1946年からの70年間にかけて、チャクチ海の動物プランクトンバイオマスは増加しつつあり、その要因として主要カイアシ類の発育が進み、体サイズが大型な後期発育段階が優占するようになったからであると解釈されている(図7)。

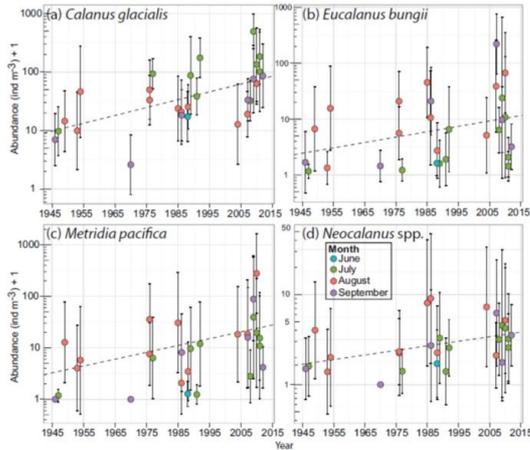


図7. チャクチ海における主要カイアシ類の出現個体数. 各種とも増加している

この一連のやり取りで米国UAFのHopcroft教授だけでなく、ウッズホール海洋学研究所(WHOI)のCarin Ashjian主幹研究員、NOAAシアトル支所のDavid Kimmel研究員などとの繋がりができ、この人的繋がりを活かして、国際的な共同研究を行うことが出来た(国際共同研究加速基金(国際共同研究強化))。

#### <引用文献>

Ershova, E.A., Hopcroft, R.R., Kosobokova, K.N., Matsuno, K., Nelson, R.J., Yamaguchi, A., Eisner, L.B. (2015) Long-term changes in summer zooplankton communities of the western Chukchi Sea, 1945-2012. *Oceanography* 28, 100-115.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計35件)

Yamaguchi, A. ほか4名 (2017) Latitudinal variations in the abundance, biomass, taxonomic composition and estimated production of epipelagic mesozooplankton along the 155°E longitude in the western North Pacific during spring. *Prog. Oceanogr.* (査読あり) 150, 13-19.  
Abe, Y., Miyamoto, H., Saito, R., Matsuno, K., Yamaguchi, A. ほか2名 (2016) Comparative ecology of three dominant pelagic chaetognaths (*Eukrohnia hamata*, *Parasagitta elegans*, *Pseudosagitta scrippsae*) in the Oyashio region during the spring phytoplankton bloom. *Reg. Stud. Mar.*

*Sci.* (査読あり) 8, 122-132.

Matsuno, K., Landeira Sanchez, J.M., Yamaguchi, A. ほか2名 (2016) Spatial and geographical changes in the mesozooplankton community in the Bering and Chukchi Seas during the summers of 2007 and 2008. *Polar Sci.* (査読あり) 10, 335-345.

Abe, Y., Yamada, Y., Saito, R., Matsuno, K., Yamaguchi, A. ほか2名 (2016) Short-term changes in abundance and population structure of dominant pelagic amphipod species in the Oyashio region during the spring phytoplankton bloom. *Reg. Stud. Mar. Sci.* (査読あり) 3, 154-162.

Yamaguchi, A. (2015) Inter-oceanic comparison of planktonic copepod ecology (vertical distribution, abundance, community structure, population structure and body size) between the Okhotsk Sea and Oyashio region in autumn. *J. Nat. Hist.* (査読あり) 49, 2743-2757.

Sato, K., Matsuno, K., Arima, D., Abe, Y., Yamaguchi, A. (2015) Spatial and temporal changes in zooplankton abundance, biovolume, and size spectra in the neighboring waters of Japan: analyses using an optical plankton counter. *Zool. Stud.* (査読あり) 54, 18 doi:10.1186/s40555-014-0098-z.

Yamaguchi, A. ほか2名 (2015) Spatial changes in the vertical distribution of calanoid copepods down to great depths in the North Pacific. *Zool. Stud.* (査読あり) 54, 13 doi:10.1186/s40555-014-0091-6.

Yamaguchi, A. ほか4名 (2014) Seasonal changes in zooplankton abundance, biomass, size structure and dominant copepods in the Oyashio region analysed by an optical plankton counter. *Deep-Sea Res. I* (査読あり) 91, 115-124.

塩田知也・阿部義之・齋藤 類・松野孝平・山口 篤・今井一郎 (2013) 光学式プランクトンカウンターによる北太平洋外洋域における動物プランクトン群集の空間変動解析. *北大水産彙報* (査読なし) 63, 13-22.

Yamaguchi, A. ほか6名 (2013) East-west differences in population structure and vertical distribution of copepods along 47°N in the subarctic Pacific in June 2009. *Plankton Benthos Res.* (査読あり) 8, 116-123.

Chikugo, K., Yamaguchi, A. ほか3名 (2013) Life history and production of pelagic mysids and decapods in the

Oyashio region, Japan. Crustaceana (査読あり) 86, 449-474.

[学会発表](計 58 件)

Arima, D., Hamaoka, S., Katakura, S., Yamaguchi, A., Imai, I., Seasonal and inter-annual changes in mesozooplankton community at Mombetsu Harbor, southern Okhotsk Sea during 1997 to 2012, AGU 2016 Ocean Sciences Meeting, 2016年2月24日, 「ニューオリンズ(米国)」

Yokoi, N., Honda, M.C., Yamaguchi, A., Seasonal changes in zooplankton swimmer community collected by sediment trap moored in the western North Pacific Ocean, AGU 2016 Ocean Sciences Meeting, 2016年2月24日, 「ニューオリンズ(米国)」

Matsuno, K., Yokoi, N., Yamaguchi, A. ほか 3 名, Short-term changes of mesozooplankton community in the Chukchi Sea during autumn. Fourth International Symposium on the Arctic Research, ISAR-4 Meeting, 2015年4月27日, 「富山国際会議場(富山県富山市)」

Matsuno, K., Yamaguchi, A., Kikuchi, T., Spatial and inter-annual changes in zooplankton community in the western Arctic Ocean during summers of 2008-2013, Arctic Change 2014 Conference, 2014年12月9日, 「オタワ(カナダ)」

Abe, Y., Yamaguchi, A. ほか 8 名, Responses in macrozooplankton population to water mass exchange and the spring phytoplankton bloom in the Oyashio region, PICES-2014 Annual Meeting, 2014年10月21日, 「麗水(韓国)」

Yamaguchi, A. ほか 3 名, Characteristics of the planktonic copepod community of the Okhotsk Sea in autumn: a comparison with the Oyashio region, 12th International Conference on Copepoda, 2014年7月

14日, 「ソウル(韓国)」

Matsuno K., Yamaguchi, A. ほか 5 名, Seasonal changes in zooplankton swimmer and faecal pellets collected by sediment trap in the western Arctic Ocean, IMBER OSC 2014, 2014年6月24日, 「ベルゲン(ノルウェー)」

Arima, D., Yamaguchi, A. ほか 6 名, Seasonal changes in the zooplankton community and number of generations per year of small copepods in Ishikari Bay, Sea of Japan, PICES-2013 Annual Meeting, 2013年10月20日, 「ナナイモ(カナダ)」 BIO ベストポスタープレゼンテーション賞受賞

Saito, R., Yamaguchi, A. ほか 5 名, Influence of Aleutian eddies on calanoid copepods south of the western Aleutian Islands during summer, PICES-2013 Annual Meeting, 2013年10月20日, 「ナナイモ(カナダ)」

[その他]

Web を利用したもの  
<http://hu-plankton.jp/>  
新聞掲載等  
北海道新聞夕刊 2017年2月27日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 篤 (YAMAGUCHI, Atsushi)  
北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授  
研究者番号: 50344495

(2) 研究分担者

藤森 康澄 (FUJIMORI, Yasuzumi)  
北海道大学・大学院水産科学研究院・教授  
研究者番号: 40261341

今井 一郎 (IMAI, Ichiro)  
北海道大学・大学院水産科学研究院・特任教授  
研究者番号: 80271013

LINDSAY Dhugal

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター・主任技術研究員  
研究者番号: 80344282