

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24658177

研究課題名(和文)近赤外デジタルホログラフィー法による動物プランクトン計測技術の開発

研究課題名(英文)Development of digital holographic imaging system for the study of abundance of zooplankton

研究代表者

秋葉 龍郎(Akiba, Tatsuro)

独立行政法人産業技術総合研究所・バイオメディカル研究部門・主任研究員

研究者番号：00221713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：水中ホログラフィー撮像装置を開発した。空中重量20 kg、長さ1100 mm、直径140 mmという小型の装置でありながら、一回に体積25cc中のプランクトンを撮影でき、間歇的に運転することで、1ヶ月以上にわたり現存量の変動の測定が可能な装置を開発した。

鉛直水柱に対する測定、調査が重要であることに想到した。そのため、鉛直水柱の内の環境や動物プランクトンを採水、採集により調査できる技術を開発した。これは鉛直水柱にたいして、連続的に採水できる世界初の技術である。

研究成果の概要(英文)：Digital holographic imaging system was developed for the study of zooplankton distribution. As a light source, infrared semiconductor laser was employed and laser light was spatially filtered by a single mode fiber. Compared to the conventional filtering method, this is very stable under vibrating condition like in the ocean. The volume of observation is 25 cc and resolution of image is 10 micrometers. The instruments can be submerged up to 100 m. The imaging system is controlled by a timer that allows us to acquire image intermittently. The system can be operated during certain time as programmed.

Sampling gear for the study of vertical profile of the water column was developed. This gear is really innovative. This is very unique apparatus that can sample water along the water column. With this gear vertical profile of the environment can be known.

We can study variation and distribution of zooplankton with higher resolution than ever with our developed technologies.

研究分野：海洋計測学

キーワード：プランクトン ホログラフィー 動物プランクトン 採水技術 沿岸生態系

1. 研究開始当初の背景

動物プランクトンは海洋生態系のなかで、1次生産者から栄養段階で高次に位置する捕食者へと栄養を受け渡す重要な生物である。したがってその現存量に関する情報は生態系の機能を知るために重要である。ところが、従来採用されてきたネットを用いた採集ではプランクトンの現存量を自動的に測定することが困難であった。そこで生態系の機能を知るためには今まで以上に時空間的に連続的に動物プランクトン現存量の測定が可能な技術の開発が望まれている。

2. 研究の目的

動物プランクトン現存量測定を高度化するための撮像・計数装置の開発を目的とする。動物プランクトンの現存量を調べるためにはネットで採集する作業と、検鏡し査定する作業が必要である。これらの作業にかかる労力を技術開発により軽減できれば、動物プランクトンの現存量の時間変化、空間分布をより精緻に測定することが可能になる。そこで本研究は採集に代わり曳航・あるいは設置して使用できるプランクトンを撮影する技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) 動物プランクトンの特性把握のための調査及び実験

開発に先立ち、生態系の食物連鎖を考え、目的とするプランクトンを選定した。沿岸域の生態系のなかで重要なサイズ 300 μm から 1 mm の小型動物プランクトンを対象とすることと決定した。栄養段階において植物プランクトンの次に低次であること、形状から種査定が可能であることから決定した。これより小さいサイズの生物は形状から種査定が難しく、これより大きいプランクトンは沿岸においても個体数密度が少ない。すなわち撮像装置を現場に沈め即座には検出が可能なほど個体数密度が高く、栄養階が比較的低日生物を対象生物として選定した。次に沿岸域で優占する種の遊泳特性を測定することにより、撮像装置設計のための基礎データとした。個体数密度を調査し、撮像装置の要求仕様を決定した。

(2) デジタルホログラフィー撮像装置の開発

従来の顕微鏡撮像に比べて、大被写界深度の撮影が可能なデジタルホログラフィー撮像技術を開発した。まず初めにレーザーの横モード選択に振動に強いシングルモード光ファイバーを採用した。撮像は 1024x1360画素のカメラを用いた。電気回路、光学設計、機械設計をすべて独自に開発した。撮像部分は光路長 100mm で約 25 cc の体積の撮像が可能である。撮影はネットワーク出力のカメラで撮影し、筐体内のパソコンの記憶領域に保存される。センサー駆動モードと一定周

波数で撮像が可能である。タイマーを内蔵しているので特定の時刻での設定された時間だけの動作が可能である。筐体はチタンで作成し、長時間の浸漬にも耐えうる設計とした。また内部に充電式の電池があり、外部との電気交信を必要としない設計とした。開発した撮影装置は、曳航、鉛直懸下、設置などの方法でも使用可能なものとした。設計深度は 100 m とした。撮影された画像は、水上に回収後メディアを抜き取ることで取得できる。図 1、2 に撮像装置の内部と外観の写真を示す。

(3) ホログラフィー撮像検証用採水技術の開発

研究は開発を遂行中、鉛直水柱の調査の必要性に気づいた。そこで、鉛直水柱の採水ができる真空式の採水器と空気置換型の採水器を開発した。真空式採水器は真空部とチューブから構成され、採水器が沈みながら採水を行い、採水された水はチューブに保存され、深度方向の情報をチューブ内に保存するものである。また空気置換型の採水器はある一定深度の採水を短時間に行うもので、特定深度の動物プランクトンの現存量を測定することができる。

4. 研究成果

(1) 動物プランクトンの遊泳行動の研究

動物プランクトンの現存量調査のためには動物プランクトン遊泳行動についての知識が必要である。水槽内で動物プランクトンの行動を餌密度や流体力学的環境を変化させ、観察し定量化した。遊泳速度や餌探索体積を定量化した。成果の一部は雑誌論文で発表した。

(2) 水中ホログラフィー撮像装置の開発

深度 100 m までで使用可能な水中ホログラフィー撮像装置を開発した。機械設計、電気設計、光学設計、制御系に至るまですべて独自のアイデアで開発した。その結果空中重量 20 kg、長さ 1100 mm、直径 140 mm という小型の装置でありながら、一回の撮像体積 25cc、分解能 10 μm の撮影が可能で、1ヶ

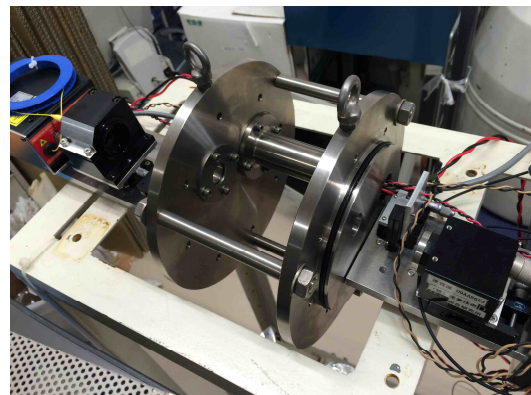


図 1 ホログラフィー撮像装置 (内部)



図2 ホログラフィー撮像装置（外観）

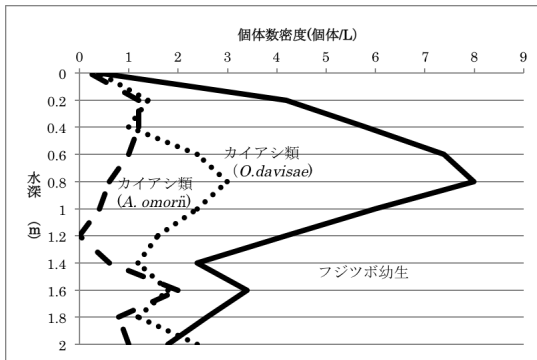


図3 測定された表層における動物プランクトンの鉛直微細分布

月以上の間での間歇動作が可能な装置を開発することができた。成果の一部は論文で発表した。近赤外領域の光を用いることで、走光性による凝集などの問題を回避しているため、自然状態の個体数密度の測定が可能である。

(3) 鉛直水柱観測のための技術開発

今回の研究開発を行う上で、鉛直水柱に対する測定、調査が重要であることに想到した。そのため、鉛直水柱の内の環境や動物プランクトンを採水、採集により調査できる技術を開発し、特許を2件出願した。成果の一部は論文で発表した。これは鉛直水柱にたいして、連続的に採水できる世界初の技術である。

以上のように、ホログラフィー撮像装置と採水装置により動物プランクトンの現存量の分布と変動を今までより格段に細かいスケールで測定することが可能となった。図3に表層の鉛直分布測定例を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5件)

程婉婷、田中祐志、大村卓朗、秋葉龍郎、
On the foraging and feeding ability of

Oithona davisae (Crustacea, Copepoda),
Hydrobiologia、査読有、Vol. 41、2014、
167-176

DOI:10.1007/s10750-014-1867-8

秋葉龍郎、田中祐志、Development of
water sampler of intermittent suction with
an evacuated chamber (WISE)、proceeding
of Oceans '14 MTS/IEEE CD-ROM、2014、
1-4

秋葉龍郎、田中祐志、動物プランクトン個
体数密度測定技術の開発 時空間的分解能
の高精細化を目指して、日本プランクトン学
会報、査読有、61(1)、2014、65-7

秋葉龍郎、田中祐志、Development of Two
Underwater Imaging Apparatuses for
Suspended Particulate Matter、IEEE/MT
Proceedings of Underwater Technology
2013、1-4

秋葉龍郎、田中祐志、福原豊、波津久達也、
賞雅寛而、石丸隆、海洋生態系自動観測の実
現に向けた技術開発、海洋と生物、204、
2013、16-21

[学会発表] (計 14件)

秋葉龍郎、張峻徳、田中祐志、鉛直分布高
精細観測のための採水器とホログラフィー
撮影装置の開発、日本海洋学会、2015年3
月24日、東京海洋大学(東京)

秋葉龍郎、張峻徳、田中祐志、鉛直分布採
水器 WISE (Water sampler of Intermittent
Suction with an Evacuated chamber)の開
発、海洋理工学会2014年秋季大会、2014
年11月15日、東海大学海洋科学部(静岡)

秋葉龍郎、田中祐志、Development of
water sampler of intermittent suction with
an evacuated chamber (WISE)、proceeding
of Oceans '14、2014年9月14日、セント
ジョンズ(カナダ)

劉宝波、秋葉龍郎、田中祐志、日本海洋学
会。Plasticity in escape behavior of *Oithona*

davisae from a suction flow、2014年3月27日、東京海洋大学(東京)

程婉婷、田中祐志、大村卓朗、秋葉龍郎
Oithona davisae の餌探索行動、日本海洋学会、2014年3月27日、東京海洋大学(東京)

劉宝波、秋葉龍郎、田中祐志、Behavioral adaptation of *Oithona davisae* to a constant suction flow、日仏海洋学会、2013年6月22日、日仏会館(東京)

程婉婷、秋葉龍郎、田中祐志："Oithona davisae の捕食遊泳行動の定量化に関する研究" 日仏海洋学会、2013年6月22日、日仏会館(東京)

夏樹娟、秋葉龍郎、田中祐志、Escape behavior of *Oithona davisae* against pulsed suction flow、日仏海洋学会、2013年6月22日、日仏会館(東京)

夏樹娟、田中祐志、秋葉龍郎、パルス状吸い込み流れに対する *Oithona davisae* の逃避行動、海洋理工学会、2013年5月17日、東京海洋大学(東京)

程婉婷、田中祐志、秋葉龍郎、*Oithona davisae* の捕食遊泳行動に関する研究、海洋理工学会、2013年5月17日、東京海洋大学(東京)

¹¹ 劉宝波 秋葉龍郎 田中祐志、Long time observation of escape behavior of *Oithona davisae* from a constant suction flow、海洋理工学会、2013年5月17日、東京海洋大学(東京)

¹² 秋葉龍郎："懸濁粒子の係わる物理現象と懸濁粒子測定法" 海洋理工学会(招待講演)、2013年5月16日、東京海洋大学(東京)

¹³ 秋葉龍郎、田中祐志、"Development of Two Underwater Imaging Apparatuses for Suspended Particulate Matter" IEEE/MTS International Symposium on Underwater Technology. 2013、2013年3月8日、東京大学生産技術研究所(東京)

¹⁴ 秋葉龍郎、田中祐志、波津久達也、福原豊、

石丸隆、賞雅 寛而、ホログラフィーによる3次元微生物計測、テクノオーション 2012、2012年11月19日、神戸国際会議場(神戸)

〔産業財産権〕
出願状況(計 2件)

名称：真空式採水装置兼粘性係数測定装置および粘性係数測定方法

発明者：秋葉龍郎

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2014-14075

出願年月日：2015年7月8日

国内外の別：国内、国際(予定)

名称：懸濁粒子濃縮方法および装置

発明者：秋葉龍郎

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2013-025429

出願年月日：2013年2月13日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋葉 龍郎 (Akiba, Tatsuro)

産業技術総合研究所・バイオメディカル研究部門・主任研究員

研究者番号：00221713

(2) 研究分担者

田中 祐志 (Tanaka, Yuji)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授

研究者番号：90207150