

# 2000 m 以深のプランクトンの世界

Dhugal J. Lindsay

海洋研究開発機構 極限環境生物圏研究センター 海洋生態・環境研究プログラム 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15

## Planktonic communities below 2000 m depth

DHUGAL JOHN LINDSAY

Research Program for Marine Biology and Ecology, Extremobiosphere Research Center, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa-ken 237-0061, Japan

Corresponding author: E-mail: dhugal@jamstec.go.jp

### 1. はじめに

海洋の浮遊生物の群集構造が深度によって異なることはよく知られている現象である。しかし、これまでの調査はプランクトンネットを用いたものがほとんどであったため、体が硬くネットに残りやすいカイアシ類、オキアミ類などを中心として行われてきた。最近では日本近海においても有人潜水調査船など深海調査システムを用いた浮遊生物の研究が行われるようになってきた (Hunt et al. 1997, Toyokawa et al. 1998, 2003, Hunt & Lindsay 1999, Miyake et al. 2002, 2005, Lindsay et al. 2004, Lindsay & Hunt 2005)。これらの研究のほとんどは有人潜水調査船「しんかい 2000」を用いたものが多いため、その最深調査深度を上回る深度 2000 m 以深に関するデータがほとんど得られていない。クリル・カムチャツカ海域では、水深 6000 m まで有人潜水調査船により観察されている。そこでは、中層で普通に見られたヒドロクラゲ類の *Aegina citrea*, *Solmissus incisa*, *Crossota rufobrunnea* および鉢クラゲ類の *Periphylla periphylla* などは 1600 m 以深には出現しなかったとされている。また、同様にヒドロクラゲ類の *Catablema vesicarium* は 1500~1850 m に出現し、それ以深には出現しなかった。これらのデータを踏まえ、中層性クラゲ類群集と深層性クラゲ類群集の境界が 1500~1750 m にあると報告されている (Vinogradov & Shushkina 2002)。

水深 2000 m 以深の深層においては、表層~中層とは異なる深層独自の生態系を形成している可能性があるが、ほとんど調査されていないのが現状である。とくに日本近海においては、2000 m 以深のデータはほとんど得られていない。ここでは、有人潜水調査船「しんかい 6500」により、日本近海では初めて三陸沖 6430 m まで目視観察を行ったので、2000 m 以深の深層を中心にそのプランクトン群集について紹介する。

### 2. 調査方法

使用したデータセットは「しんかい 6500」第 546 潜航 (7

June 2000, 三陸沖 39°53'N144°11'E, bottom depth 6430 m, observer: D. Lindsay) により得られたものである。「しんかい 6500」の下降速度は通常約 45 m/分であるが、第 546 潜航では様々な調整の結果 37 m/分にまで下げることができた。100 m の層を 2 分半で調査する計算となる。

ここでは、種の同定における信頼性をより高めるため、最長寸法 1 cm 以上の動物のみを解析した。観察は、筆者の目視により行い、生物種名および形態特徴 (色, サイズを含む), 行動, 周辺環境の情報をビデオテープの音声トラックに記録した。

### 3. 結 果

#### 深度別個体数

「しんかい 6500」第 546 潜航では下降速度は深度 4800 m まで一定であったため (Fig. 1), 出現した生物の個体数を層別にはほぼ定量的に把握できた (Fig. 2)。相模湾では出現する最大寸法 1 cm 以上の生物の個体数は 250~300 m で増え始めるのに対して (Lindsay & Hunt, 2005), 「しんかい 6500」第 546 潜航の場合には深度 100~700 m で生物量が多く、400~500 m でピークを示した (Fig. 2)。それ以深は減少していき、深度 2400 m ぐらいまではある程度の個体数で出現した。水深 5000 m 前後および 6200 m 以深で、出現個体数のピークがみられるが、これは「しんかい 6500」が、中性浮力を調整するため下降速度が低下し (Fig. 1), 観察容積が増加してしまっていたことを反映している。観察したプランクトン個体数が比較的多かった水深 2000~2400 m, 4300~4600 m および 6230~6430 m の近底層を中心に、その種構成について論じる。

#### 2000~2400 m 層における出現種

この層において出現していた生物の数種は 1500 m から出現した。1700~2000 m 層においては群集構造は 2000~2400 m 層とほぼ一致していた。

- *Caecosagitta macrocephala* (無膜目矢虫科メクラヤムシ)。成熟個体が 1 個体/分以上の高密度で観察された。この種は、

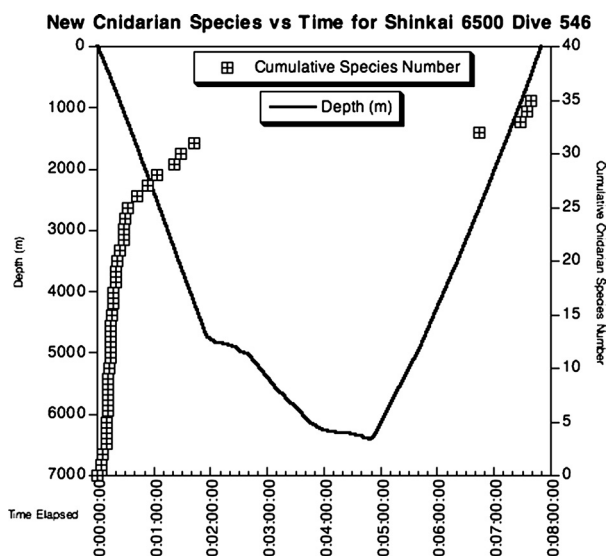


Fig. 1. Profile of depth vs time and cumulative cnidarian species number (of individuals >1 cm maximum dimension) for 'Shinkai 6500' Dive 546 off the Sanriku coast. The line denotes the dive profile of the submersible. The first observations of discrete cnidarian forms are denoted by hatched squares.

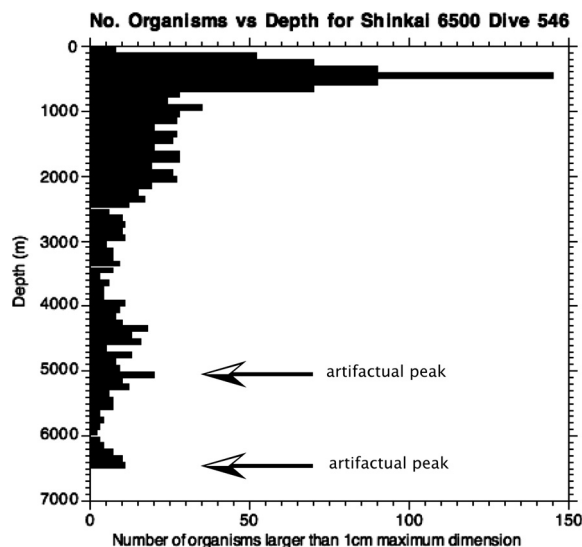


Fig. 2. Profile of the number of organisms of maximum dimension >1 cm per 100 m depth layer vs depth for 'Shinkai 6500' Dive 546 off the Sanriku coast. Arrows signify artificial peaks caused by increased observation time at the corresponding depths.

1700~2800 m に出現した。

- *Bathocyroe* sp. (カブトクラゲ目 Bathocyroidae 科). *Bathocyroe fosteri* や相模湾で出現する *Bathocyroe* sp. (Lindsay & Hunt 2005) とは異なり、袖状突起では遊泳できず、耳状突起や体の反口側の形態などでもすぐ区別できる (Fig. 3,

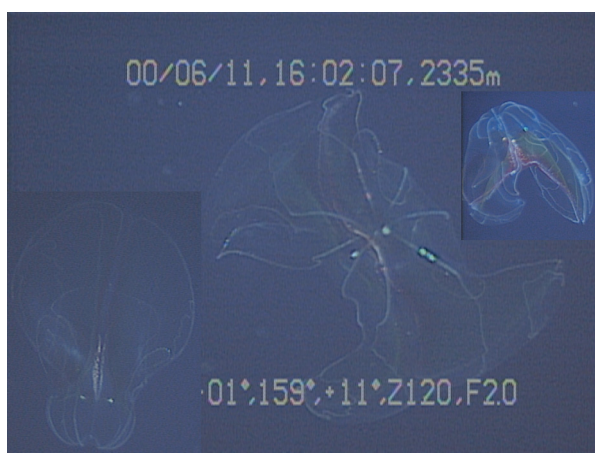
Madin & Harbison 1978). また櫛板は触手根を超えないことで相模湾の *Bathocyroe* sp. (Lindsay & Hunt 2005, Fig. 6 L) と *Bathocyroe paragaster* (Ralph & Kaberry 1950) と区別ができる。本種は 1500 m 以深に出現した (1500~2000 m で 9 個体・2000~2500 m で 13 個体・4000~4500 m で 2 個体)。

- *Botrynema brucei* (硬クラゲ目テングクラゲ科, Fig. 4). 0.5 から 1 個体/分で出現していた。最浅出現深度は 576 m, 最深出現深度は 3263 m. 鉛直分布的には 500~1000 m 2 個体・1000~1500 m 2 個体・1500~2000 m 4 個体 (内 3 個体は 1700~2000 m)・2000~2500 m 8 個体・2500~3000 m 1 個体・3000~3500 m 1 個体出現した。
- *Aegina* sp. (剛クラゲ目ツツミクラゲ科ツツミクラゲ属). ゼラチン質生物を餌とすることで知られている。
- *Solmissus* sp. (剛クラゲ目ヤドリクラゲ科). ゼラチン質生物を餌とすることで知られている。日本近海には数種類が出現する (私見, Toyokawa et al. 1998, Fig. 3B & 4A).

#### 4300~4600 m 層における出現種

この層では、観察個体数は下降速度が一定であったため、その深度は実際に生物の個体数密度が周りの層よりも高かったと判断される。映像記録が残っていないものが多いが、以下の生物が観察された。

- *Oikopleuridae* spp. (尾虫目オタマボヤ科). 4300~4600 m の間では 2 個体/分という深層においては高密度で出現し、最深 5770 m でも観察した。形態的にみると、ハウスの直径が 3 タイプ (ca. 1 cm, 2~3 cm, 6~7 cm) あり、いずれも inner filter は 2 葉であった。
- *Lophogaster* sp. (アミ目ロフォガスター科). 4400 m 以深でしか観察されなかったが 1 個体/分もの高密度で出現した。形態的には、頭胸甲が赤く、腹部は白色、全長 2~10 cm であった。
- *Fritillariidae* sp. (尾虫目サイズチボヤ科). 4300~4600 m の間では、0.5 個体/分程度の密度で出現した。最浅出現深度は 3800 m で、鉛直分布的には 3800~4000 m で 2 個体・4000~4500 m で 9 個体・4500~5000 m で 1 個体・5000~5500 m では 0 個体 5500~6000 m で 3 個体・6000~6444 m で 2 個体出現した。本種のハウスの inner filter は単葉で、その直径は 2.5~3 cm, outer filter の直径は 3~3.5 cm, 尾部は淡緑色に反射した。
- *Agalmidae* spp. (管クラゲ目胞泳亜目ヨウラククラゲ科 2 種)。
- *Hydroidomedusae* (ヒドロクラゲ類 4 種)。
- *Lobata* sp. (カブトクラゲ目)。
- *Cytipididae* sp. (フウセンクラゲ目)。
- *Sergestidae* sp. (十脚目サクラエビ科)。

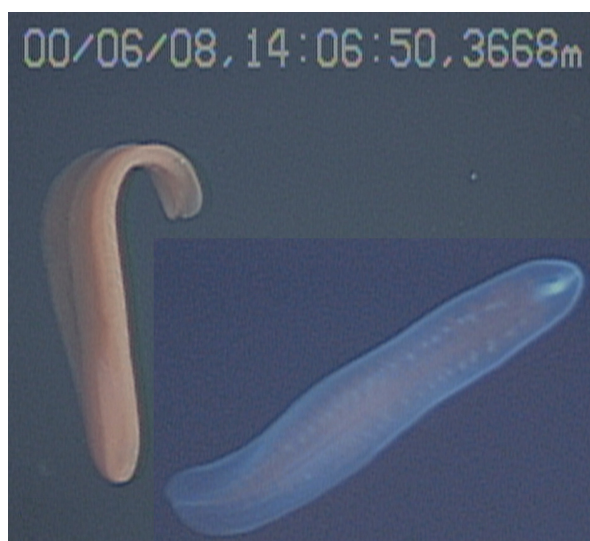


**Fig. 3.** An unidentified species of the genus *Bathocyroe* that only occurred below 1500 m depth, videotaped at 2335 m on 'Shinkai 6500' Dive 549 off the Sanriku coast. Left, side view of tentacular plane; Centre, aboral view; Right, side view of sagittal plane.

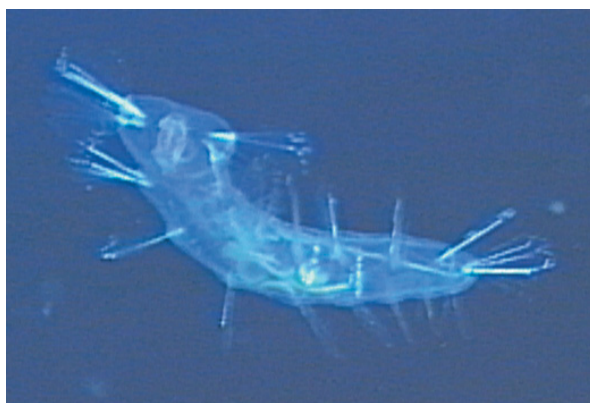


**Fig. 4.** The halicreatid trachymedusa *Botrynema brucei*, captured at 1750 m depth and photographed in a phototank aboard ship. The long primary tentacles became disengaged during sampling with the suction sampler (slurp gun).

- Decapoda spp. (十脚目 2 種).
- Munnopsidae sp. (等脚目ミズムシ亜目 Munnopsidae 科). 形態的には以下の特徴があった。体長約 3 センチ, 白色, 脚の羽状刺毛は脚の先端より脚の全長の三分の一まで達する。
- Cyclosalpa sp. (サルパ目ワサルパ属). 連鎖個体の群体。
- Nectonemertes ?mirabilis (ハリヒモムシ目多針亜目ホソオ



**Fig. 5.** The nemertean worm *Nectonemertes mirabilis*. Left, individual observed at 3900 m on 'Shinkai 6500' Dive 546. Right, individual videotaped at 3668 m on 'Shinkai 6500' Dive 547.



**Fig. 6.** The polychaete worm *Flota ?vitsaji*.

ヨギヒモムシ科ホソオヨギヒモムシ属)。発見時には頭部を下にしてじっとしていることが多い。2504 m, 3900 m, 4318 m で出現した (Fig. 5)。

#### 6230~6430 m の近底層

この層では、海底ではしばしば観察されるヨコエビ亜目の仲間が初めて出現し、濁度が少し高くなった。比較的長い時間を近底層で観察したが、プランクトンは数種しか出現せず、群集構造的には単純であった。

- *Lophogaster* sp. (アミ目ロフォガスター科). 4300~4600 m 層に出現した種と同種である。
- Gammaridea spp. (ヨコエビ亜目).
- *Flota ?vitjasi* (多毛綱 Terebellida, Cirratuliformia). 最浅出現深度は 5020 m で、5000~5500 m で 3 個体・5500~



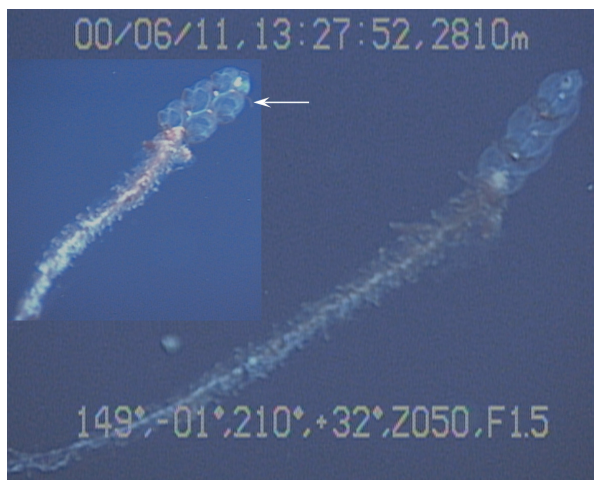


Fig. 7.

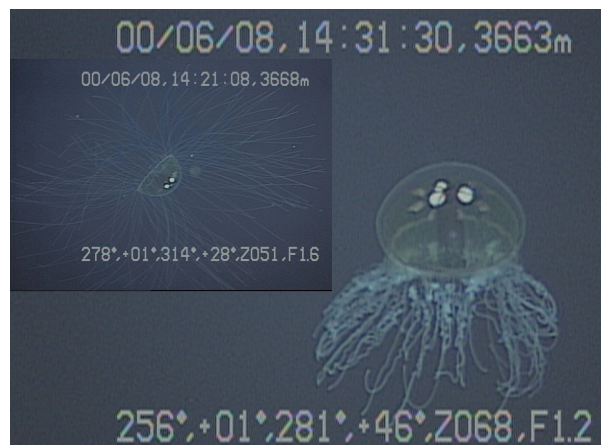


Fig. 10.

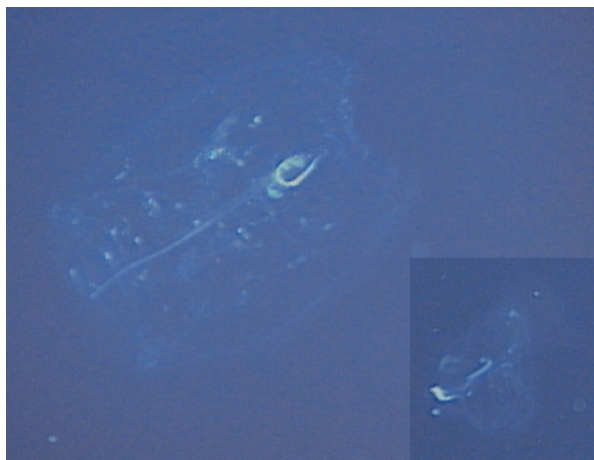


Fig. 8.

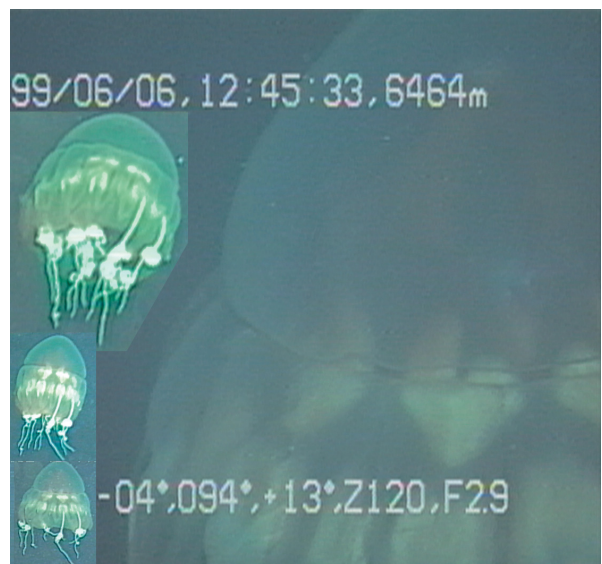


Fig. 11.

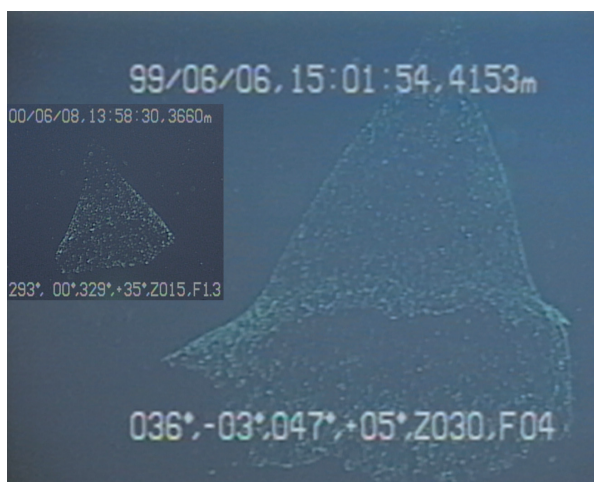


Fig. 9.

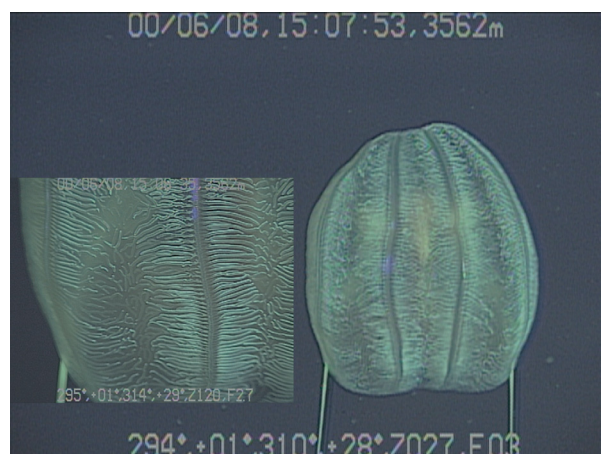


Fig. 12.

6000 m で 2 個体・6000~6444 m で 17 個体出現した (Fig. 6).

#### その他の層

尾虫類の捨てハウスについては、6214 m まで出現していたが、近底層では観察されなかった。最も捨てハウスが多かった層は 1700~3000 m であった。2000 m より深い層で観察された生物のほとんどはゼラチン質生物であった。他の生物としては、アミ類やエビ類、ソコイワシといったゼラチン質生物の捕食者として知られているものばかりであった。深層ではマリンスノー以外にはゼラチン質生物がこういった体の硬い生物の重要な餌になっていることが考えられる。2000 m 以深に出現するクラゲのうち種レベルで同定できたのは *Halicreas minimum* (テングクラゲ, 2439 m), *Marrus antarcticus pacificus* (胞泳垂目ヨウラククラゲ科, 2869 m), *Tottonia contorta* (胞泳垂目 Apolemiidae 科, Fig. 7), *Poralia rufescens* (ミズクラゲ科リングクラゲ, 2522 m) である。Fig. 1 には潜航経過時間に対する潜水調査船の深度、または 1 cm 以上の刺胞動物が出現した場合にはその観察が現潜航では初めての観察となった時間及び深度が示されているが、この潜航では明らかに別種と思われるクラゲが 35 タイプいたが、そのうちの 31 タイプは 0~2000 m の間で観察されている。2000 m 以深の深層でしか観察されなかったクラゲ (刺胞動物種) はたった 4 タイプしかいなかった。

2000 m 以深のクラゲ以外のゼラチン質プランクトンとして以下のものが挙げられる。上記のワサルバ、タスカローラ科の放散虫 (2040 m, 2607 m, 2757 m, 3118 m), ユメナマコ属の仲間 (*Enypniastes ?globosa*, 3395 m, 全長 40 cm), オヨゴカイ科の仲間 (3634 m, 5144 m), 深海性のサルバ (Fig. 8, 2653 m), ヤムシ類 (0~3265 m), そして尾虫類が代表的である。尾虫類はハウスと呼ばれる feeding web を作ることで有名だが、翼足類も餌となる粒子を濾しとるために尾虫類と異なる

形の feeding web を作ることが知られている。しかし、両者のものとは思えない変わった feeding web が 3271~4159 m において 5 回確認された (Fig. 9)。その分泌者は今のところ不明である。

#### その他の潜航で観察された生物

第 546 潜航以外においても、同じ三陸沖から興味深い生物が撮影できたのでここで紹介する。

Fig. 7 は「しんかい 6500」第 549 潜航における深度 2810 m で撮影された *Tottonia contorta* と思われる管クラゲ目胞泳垂目 Apolemiidae 科の一種。白い矢印は Apolemiidae 科の一つの特徴である泳鐘間から出る larval tentacle を示している。

Fig. 10 は「しんかい 6500」第 547 潜航における深度 3668 m で撮影された硬クラゲ目イチメガサクラゲ科クロクラゲ属の一種 (*Crossota* aff. *millsae*) である。発見時には触手を八方に伸ばし、じっと餌を待っているかのような行動をとっていた。

Fig. 11 は「しんかい 6500」第 476 潜航における深度 6464 m で撮影されたクロカムリクラゲ属の一種 (*Periphylla* sp.). 4 個の傘縁感覚器が間幅にあり、触手は 12 本で、3 本ずつ 4 群にまとまっている。生殖巣は 8 個で、形は J 型である。外傘の高さは直径とほぼ同長。触手は *P. periphylla* とは異なり、中央部付近より螺旋状に伸びる。6000 m 以深にまで潜航できる調査船は世界の中でも「しんかい 6500」のみであるので、この観察例は浮遊性刺胞動物の最深観察記録になると思われる (6 June 1999, 39°09'N144°07'E, bottom depth 6498 m, observer: James C. Hunt).

Fig. 12 は「しんかい 6500」第 547 潜航における深度 3562 m で撮影されたフウセンクラゲ目 Aulacostenidae 科 (Lindsay & Hunt 2005) の巨大な未記載種。直径 80 cm で、触手に側糸を持っていないことおよび櫛板の下を走る水管から枝状の水管が多数派生する構造が大きな特徴である。こういった sim-

**Fig. 7.** An apolemiid siphonophore provisionally assigned to the species *Tottonia contorta* until further morphological studies and a revision of the family Apolemiidae are undertaken. Videotaped at 2810 m on 'Shinkai 6500' Dive 549 off the Sanriku coast.

**Fig. 8.** A deep sea salp species that awaits description (Harbison, personal communication). Left, ventral view; Right, front view. Videotaped at 2831 m on 'Shinkai 6500' Dive 549 off the Sanriku coast.

**Fig. 9.** Conical feeding webs made by an unidentified organism. Left, feeding filter videotaped at 3660 m on 'Shinkai 6500' Dive 547 off the Sanriku coast; Right, videotaped at 4153 m on 'Shinkai 6500' Dive 476 off the Sanriku coast.

**Fig. 10.** A rhopalonomatid trachymedusa of the genus *Crossota* (aff. *millsae*) videotaped at 3668 m on 'Shinkai 6500' Dive 547 off the Sanriku coast. Left, attitude upon discovery; Right, escape response.

**Fig. 11.** A coronate medusa of the genus *Periphylla* thought to be the deepest record yet for a pelagic cnidarian. Right, close-up of gonad morphology; Bottom left, bell morphology prior to contraction; Centre left, bell morphology during contraction; Top left, gross morphology of the spirally curving tentacles. Videotaped at 6464 m on 'Shinkai 6500' Dive 476 off the Sanriku coast (observer: James C. Hunt).

**Fig. 12.** An undescribed species and putative new genus belonging to the cydippid ctenophore family Aulacostenidae. Videotaped at 3562 m on 'Shinkai 6500' Dive 547 off the Sanriku coast. Left, close-up of the diverticulae on the meridional canals; Right, general morphology (note the simple tentacles).

ple tentacles を持っているクシクラゲは一般的には大型のゼラチン質生物を捕食すると考えられている。

#### 4. ま と め

一般に、大陸棚斜面上や 35°N より北方の中層で調査潜航を行う時には視野の中には必ず何らかの生物が観察される（私見）。しかし、2000 m 以深では最大寸法 1 cm 以上の生物が周りに一個体もない時がしばしばあり、生物量は全体的に少ないと言える。日周鉛直移動者のいる中層では、深度によってはオキアミ類やエビ類など体の硬い生物が卓越することがしばしばあるのに対して、2000 m 以深の生物群は一種のアミ類を除き、ゼラチン質生物で占められていると言っても過言では無いようである。しかし、ここで紹介したようなゼラチン質生物の大半は体が脆く、プランクトンネットやトロールによる調査では体が崩れてしまう。そのため、今までの研究では、それらが考慮されていないことが予想される。三陸沖で行われた本研究では、テングクラゲ科 *Botrynema brucei* は 1700~2400 m の層に分布のピークがあり、最深出現深度は 3263 m だった。それに対し、クリル・カムチャツカ海域では分布のピークは 1700~2500 m で、最深出現深度は 3400 m と報告されており (Vinogradov & Shushkina 2002), 両調査のデータがほぼ一致する結果となった。ネットで調査する際には深層を深度 2000~3000 m, 3000~4000 m なりと採集層が便宜的に決められてしまう傾向があるが、本研究においては生物の鉛直分布はこういった区切りの聞こえが良い深度で当然収まっていないことが判明された。深層域におけるプランクトンを中心とした生態系を理解するためには、前述のような詳細な鉛直分布情報が重要となる。このような正確な情報を蓄積するために、潜水調査による目視情報だけでなく、プランクトンネットに搭載できるビデオカメラやビジュアルプランクトンレコーダーなど複合調査システムの開発を目指している。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり、海洋生態・環境研究プログラム各位、日本海洋事業(株)の調査補助員の方々、「しんかい 6500」運航チームおよび「よこすか」乗組員の皆様にご協力いただいた。また、本論文を作成するにあたり、土田真二博士、喜多村稔博士に多くのご助言をいただいた。以上の方々に、心より感謝する。

#### 引用文献

- Hunt, J. C. & D. J. Lindsay 1999. Methodology for creating an observational database of midwater fauna using submersibles: results from Sagami Bay, Japan. *Plank. Biol. Ecol.* **46**: 75-87.
- Hunt, J. C., J. Hashimoto, Y. Fujiwara, D. J. Lindsay, K. Fujikura, S. Tsuchida & T. Yamamoto 1997. The development, implementation, and establishment of a mesopelagic and benthopelagic biological survey program using submersibles in the seas around Japan. *JAMSTEC J. Deep Sea Res.* **13**: 675-685.
- Lindsay, D. J. & J. C. Hunt 2005. Biodiversity in midwater cnidarians and ctenophores: submersible-based results from deep-water bays in the Japan Sea and North-western Pacific. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* **85**: 503-517.
- Lindsay, D. J., Y. Furushima, H. Miyake, M. Kitamura & J. C. Hunt 2004. The scyphomedusan fauna of the Japan Trench: preliminary results from a remotely-operated vehicle. *Hydrobiologia* **530/531**: 537-547.
- Madin, L. P. & G. R. Harbison 1978. *Bathocyroe fosteri* gen. nov., sp. nov.: A mesopelagic ctenophore observed and collected from a submersible. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **58**: 559-564.
- Miyake, H., D. J. Lindsay, M. Kitamura & S. Nishida 2005. Occurrence of the Scyphomedusa *Parumbrosa polylobata* Kishinouye, 1910 in Suruga Bay, Japan. *Plank. Biol. Ecol.* **52**: 58-66.
- Miyake, H., D. J. Lindsay, J. C. Hunt & T. Hamatsu 2002. Scyphomedusa *Aurelia limbata* (Brandt, 1838) found in deep waters off Kushiro, Hokkaido, Northern Japan. *Plank. Biol. Ecol.* **49**: 44-46.
- Ralph, P. M. & C. Kaberry 1950. New Zealand coelenterates, Ctenophores from Cook Strait. *Victoria University College, Zoological Publications*, no. 3, 11 pp.
- Toyokawa, M., T. Toda, T. Kikuchi, H. Miyake & J. Hashimoto 2003. Direct observations of a dense occurrence of *Bolinopsis infundibulum* (Ctenophora) near the seafloor under the Oyashio and notes on their feeding behavior. *Deep-Sea Research I.* **50**: 809-813.
- Toyokawa, M., T. Toda, T. Kikuchi & S. Nishida 1998. Cnidarians and ctenophores observed from the manned submersible *Shinkai 2000* in the midwater of Sagami Bay, Pacific coast of Japan. *Plank. Biol. Ecol.* **45**: 61-74.
- Vinogradov, M. E. & E. A. Shushkina 2002. Vertical distribution of gelatinous macroplankton in the North Pacific observed by manned submersibles *Mir-1* and *Mir-2*. *J. Oceanogr.* **58**: 295-303.

2005年7月21日受付, 2005年8月19日受理