

## — 報 告 —

## 照射光の影響による浮遊性甲殻類 *Vibilia stebbingi* (端脚目クラゲノミ亜目)の 体色変化, ならびにプランクトン自動種同定システムの 開発に向けての留意点

森 美由貴<sup>1\*</sup>, Dhugal J. Lindsay<sup>2</sup>

近年, 生きた生物の現場での観察・収録が可能となり, ビジュアル・プランクトン・レコーダー (VPR) などで取得された画像を用いた解析技術が注目を集めている。それに伴い, カラー映像によるプランクトンの色, 模様, 形など, さまざまな指標を用いた自動種同定システムの開発が進められている。本研究において, 浮遊性甲殻類である端脚目クラゲノミ亜目の *Vibilia stebbingi* に対して, 昼光色蛍光灯光, 赤色光, 紫外光 (A領域) による30分の照射実験を行ったところ, 全ての場合で体色の暗色変化, および模様の変化が観察された。このように一部のプランクトンが体色変化を示し, 光環境によって体色や模様が異なるという事は, カラー画像における体色や模様を指標として用いようとしている自動種同定システムの今後の開発および発展において, 体色や模様の変化がもっと考慮されるべきであり, また, よりいっそうの知見の構築が必要であることを示唆する。

キーワード: 端脚目, クラゲノミ亜目, 体色変化

---

2008年7月18日受領; 2008年9月3日受理

1 横浜市立大学大学院 国際総合科学研究科

2 独立行政法人 海洋研究開発機構

代表執筆者:

森 美由貴

横浜市立大学/ 海洋研究開発機構 極限環境生物圏研究センター

〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島2-15

+81-46-867-9528

miyukim@jamstec.go.jp

著作権: 独立行政法人海洋研究開発機構

– Report –

## Body pigmentation changes in the planktonic crustacean *Vibilia stebbingi* (Amphipoda: Hyperiidea) under different light regimes, with notes on implications for the development of automated plankton identification systems

Miyuki Mori<sup>1\*</sup>, Dhugal J. Lindsay<sup>2</sup>

Recently, it has become possible to record 'live' plankton in situ using new plankton-imaging technology, e.g. the Visual Plankton Recorder (VPR). For such technologies, automated plankton identification systems based on analysis of morphology, color, texture, and intensity patterns are also being developed. Some plankters are known to change their colors, which may have a severe effect on automated plankton identification systems. To investigate the effect of ambient light on their body color or their body color patterns, we conducted several preliminary experiments on the planktonic hyperiid amphipod *Vibilia stebbingi* by exposing it for 30 min under three types of light sources: fluorescent light bulb (white light), darkroom lamp (red light), and UV lamp (UV-A light). Color images of *V. stebbingi* were recorded at set intervals. In all cases, coloration darkened and body pigmentation patterns changed. These results suggest that for the development of automated plankton identification systems using color-images of plankton and incorporating image texture or coloration-based algorithms, more information on variations and changes in the coloration and pigmentation patterns of target zooplankton species may be needed.

**Keywords** : Amphipoda, Hyperiidea, Change of coloration

---

Received 18 July 2008 ; accepted 3 September 2008

1 International Graduate School of Arts and Sciences, Bioscience and Technology, Yokohama City University

2 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Corresponding author:

Miyuki Mori

Yokohama City University /Marine Biology and Ecology Research Program, Extremobiosphere Research Center, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2-15, Natsushima, Yokosuka, 237-0061, Japan

+81-46-867-9528 miyukim@jamstec.go.jp

Copyright by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

## 1. はじめに

近年、環境変動などによるクラゲの大量発生が問題となっているが、これらのゼラチン質生物は脆弱であるため、ネット採集などの従来手法に加えて、潜水調査船や各種の映像技術を用いての調査が実施されるようになってきている。特にビジュアル・プランクトン・レコーダー (VPR) などの映像取得機器により、現場での生きたプランクトンの観察・収録が可能となり、注目を集めている。こうした映像データを用いた研究が近年目立つようになり、ゼラチン質生物を含む生物群集全体の把握や他種生物との相互作用の解明にも大きく貢献している (Lindsay and Takeuchi, 2008; Pagès et al., 2007)。しかし、映像データが多く撮られるようになった一方、研究者がそれらのデータを手動で解析するのに膨大な時間を要することが、研究の阻害要因になっている。そこで、画像解析の技術を応用し、カラー映像による自動解析を行うことで一度に大量のデータの測定や種同定を可能にしようという動きがみられる (Benfield et al., 2007)。現在、この画像解析技術の応用は、クラゲなどのゼラチン質生物をはじめ、小型甲殻類などのプランクトン分布においても用いられるようになってきており、以上の現状を背景に、プランクトンのカラー映像を様々な光条件で撮影し、画像データベースを構築している。クラゲなどのゼラチン質生物に付着・寄生し、一生あるいはその生活史の一部をそこで過ごすプランクトンとして端脚目クラゲノミ亜目が知られており (Schmitz, 1992; Zeidler, 1998)、本研究ではこのクラゲノミをターゲットとした。

海洋研究開発機構の所有する研究調査船「よこすか」に乗船中に表層引きプランクトンネットで採集された、クラゲノミ亜目の *Vibilia stebbingi* を材料に、光環境変化に応じてプランクトンの体色および模様に変化することを示し、プランクトンの体色や模様などを指標とするプランクトン自動種同定技術の開発において参考になる一例を提示する。*V. stebbingi* は、端脚目クラゲノミ亜目 Physocephalata 下目 Vibilioidea 上科 Vibilioidea 科に属する浮遊性小型甲殻類であり、ゼラチン質生物である *Salpa fusiformis* (トガリサルパ)、*Salpa maxima* (オオトガリサルパ)、*Cyclosalpa polae* (エナガサルパ) などのサルパ目に寄生する (Madin and Harbison, 1977)。

## 2. 材料及び方法

2007年10月に北西太平洋・三陸沖周辺海域にて行われた研究調査船「よこすか」による航海YK07-15において、プランクトンの表層採集を行った。採集は15日から25日の日中および夜間に、プランクトンネット (NGG 52, メッシュサイズ335 $\mu$ m, 径口45cm, opening, RIGO CO., LTD, 日本) による約5分間 $\times$ 3回の表層採集を1回とし、計15回

行った。採集したプランクトンから、実体顕微鏡 (MZ16F KL2500 LCD, Leica Microsystems Ltd., ドイツ) を用いてクラゲノミを選別し、種同定、観察、さらに偏光装置 (アナライザー回転可能型 MZ, Leica Microsystems Ltd., ドイツ) を用いての観察を行った。クラゲノミ亜目の種同定には、永田 (1997)、Vinogradov (1996) および Zeidler (2003) を参照した。クラゲノミの全長は、頭部 (head) の前部先端から体の中央を通り尾節板 (telson) の後部先端までとした (Vinogradov, 1996)。

2007年10月15日18時 (日没後)、東経149°23'北緯37°23'地点、表層 (0-5m)、水温 22.1°Cにおいて採集された6個体の *Vibilia stebbingi* (Fig. 1A) を、同時採集されたサルパ目の *Thalia democratia* (Fig. 1B) およびカブトクラゲ目の *Bolinopsis mikado* とともに、中型のシャーレ (S-600ml, Seisho Co., Ltd, 日本) を用い、10日間冷蔵庫内 (暗室, 4°C, 濾過海水による毎日の水換え) で飼育した。10日間の飼育により飼育環境に馴致した個体のうち、特に生きが良く観察に適したサイズの個体を選別し、光照射実験を試みた。体色および模様の個体差が考えられるため、1個体 (7.5mm, 雌, 成熟) で全ての実験を行った。個体を1時間以上室温、暗室におき、光照射開始前の状態を pre-exposure とし、30分間の光照射後の状態と比較した。光照射条件として、シャーレ上の海水の量を減らし遊泳できない状態にしたクラゲノミに対して、それぞれ蛍光灯 (ネオルミスーパー FL40S-D 40W SOD, 昼光色, 6500K, 三菱電機オスラム, 日本, 照射距離1.3m, 室温, Fig.2), 赤色光 (Red safelight, 100Volts, 10W, KOKOSHA CO., LTD, 日本, 照射距離1.3m, 室温, 暗室), 紫外光 (暗室, MODEL UVL-56 BLACK-RAYLAMP, Long wave 366nm, 115Volts, 60Hz, 0.16Amps, Inc., San Gabriel, アメリカ, 照射距離0.1m, 室温, 暗室) の照射を30分間行い、体色変化の様子を観察・比較した。なお、光照射実験における体色および模様の変化は、実体顕微鏡DFC300FX (Leica Microsystems Ltd., ドイツ) を用い、デジタル画像を全て同一条件で撮影 (Exposure 24.3ms, Saturation 0.60, Gamma 0.06, Gain 4.3 $\times$ ), 記録した。

撮影された画像の解析には、Tollrian and Heibl (2004) および Vestheim and Kaartvedt (2006) の方法を一部改変して用いた。得られた画像 (TIFF image) を、Adobe Photoshop 7.0というソフトウェアのRGB imagesを用いたgray-scale (gray = 0.299 red + 0.587 green + 0.114 blue) に変換することにより、体色変化の度合いを定量化した。小片解析の対象物範囲設定により画像の背景を選別し、ヒストグラムの gray-value で算出された平均値により画像全体の明暗を補正した。境界の測定誤差を減らすため、3pixel分拡大した背景を削除し、クラゲノミの体部分全体の画像のgray-valueの値

を測定値とした。解析手法による誤差をふまえて、以上の全行程を各3回ずつおこない、平均値±S.E.を得た。グラフでは個体を1時間以上室温で蛍光灯光照射し、暗色に体色変化した際の値 (gray value = 68) を最小値として表した (黒: gray value = 0, 白: gray value = 255)。統計処理による体色変化の有意差の検出には *T* 検定を用いた。

### 3. 結果

プランクトンネットによる表層採集 (日中7回, 夜間8回) のうち, クラゲノミ亜目 *Vibilioidea* 上科に属するクラゲノミは夜間2回, *Vibilia stebbingi* は夜間1回のみ採集され, 昼間には表層では採集されなかった。顕微鏡を用いた *V. stebbingi* の観察の様子を Fig. 1 に示した。カプトクラゲ目の *Bolinopsis mikado* と同じ容器に入れた直後に, *V. stebbingi* が付着し, 第 I・II 胸脚である咬脚をしきりに動かす様子が観察された。同時に, *B. mikado* の表面に第 III - VI 胸脚の爪を食い込ませるようにして, 対象物をしっかりとらえている様子が観察された。偏光装置で透過光を用いて観察を行ったところ, 第 III - VII 胸脚において偏光装置を用いた際の輝度が他の部分に比べて極端に高いこと

が観察された。一方, 胸部では光は透過せず, 胃腸の内容物や筋肉の偏光を隠すしくみになっていることがわかった (Fig. 1C)。

*V. stebbingi* は, 採集後, 暗室, 室温条件下で暗色から明色への体色変化を示した。その際の色素胞の様子を Fig. 3 に示した。実験開始前に比べて, 暗室, 室温条件下15分後では, 色素顆粒が凝集していることがわかる (Fig. 3A, B)。暗室, 室温条件下30分後では, ほとんどの色素顆粒は凝集し, 個体全体の体色は明色となったが, 第 I - III 腹節側板 (epimeron) 付近などのいくつかの部位では, 他の部位に比較して色素顆粒の凝集が遅い様子が観察された (Fig. 3C, D)。これらの部位は光照射による暗色への体色変化の際には, 他の部位に比較して早く拡散し, 全体を通して色素顆粒が拡散したままである傾向が強かった。

また, 暗色での順応後, 蛍光灯光, 赤色光, 紫外光 (UV-A) による30分の光照射実験での体色変化の結果を Fig. 4 に示した。蛍光灯光, 赤色光, 紫外光のいずれの条件においても, 明色から暗色への体色変化が観察された ( $P < 0.05$ )。各光照射30分後の体色変化の度合いを比較すると, 蛍光灯光条件の体色変化の応答に比べて, 赤色光および紫外光条

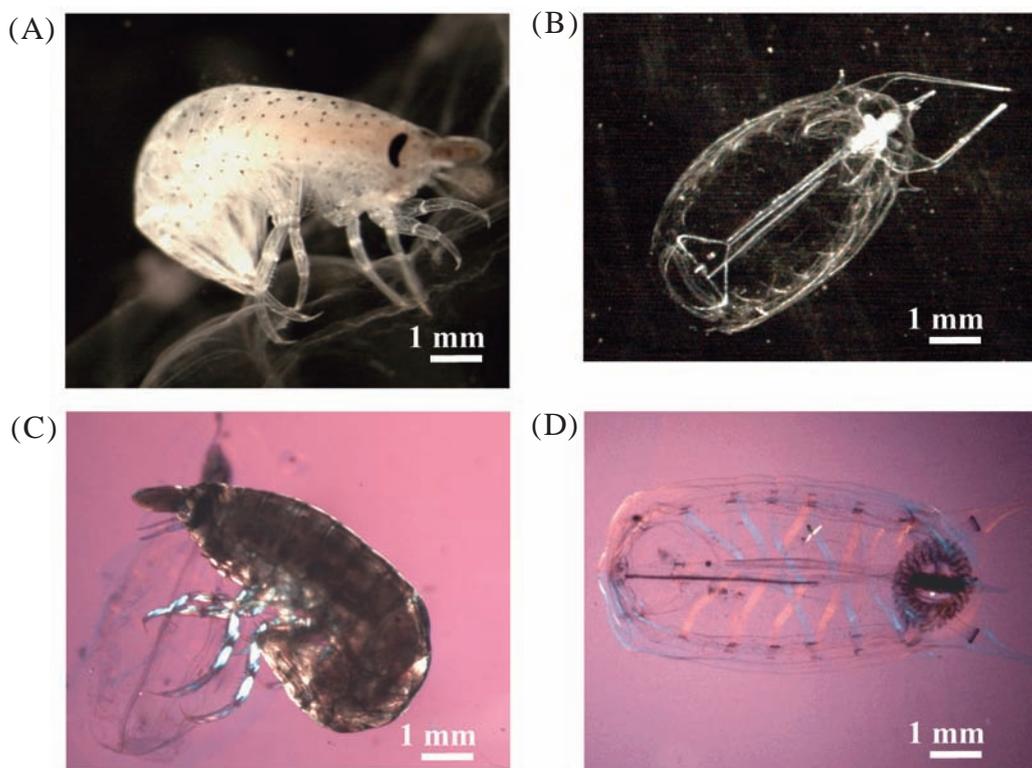


Fig. 1 Organisms captured by plankton nets: (A) *Vibilia stebbingi*, 7.5mm, female. (B) *Thalia democratica*. (C),(D) Polarization observation through a 530nm Lambda-filter. Polarization observation on pereopods of *V. stebbingi* and on muscle bands of *T. democratica*.

図1 プランクトンネットにより採集された生物。(A) *Vibilia stebbingi*, 7.5mm, 雌, 成熟。(B) *Thalia democratica*。(C),(D) 530nmの鋭敏色板を用いた偏光観察。*V. stebbingi*の胸脚, *T. democratica*の筋肉帯に複屈折性が観察された。

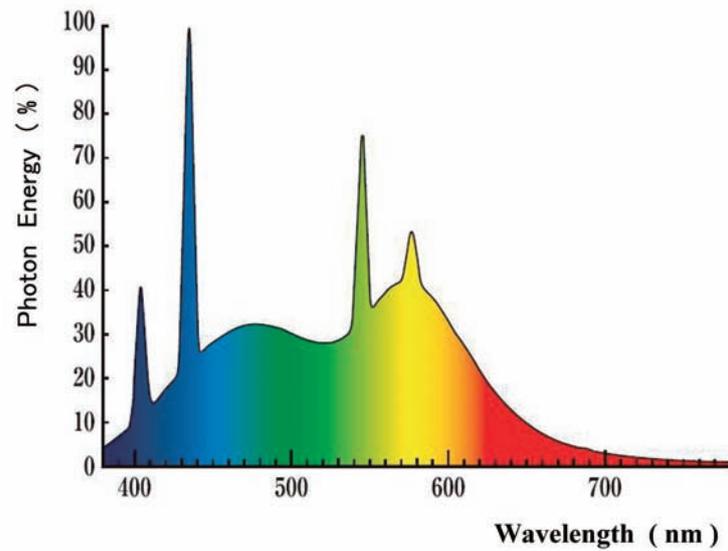


Fig. 2 Wavelength profile of the fluorescent light bulb used in the experiments.

図2 実験に用いられた蛍光灯の波長プロフィール。

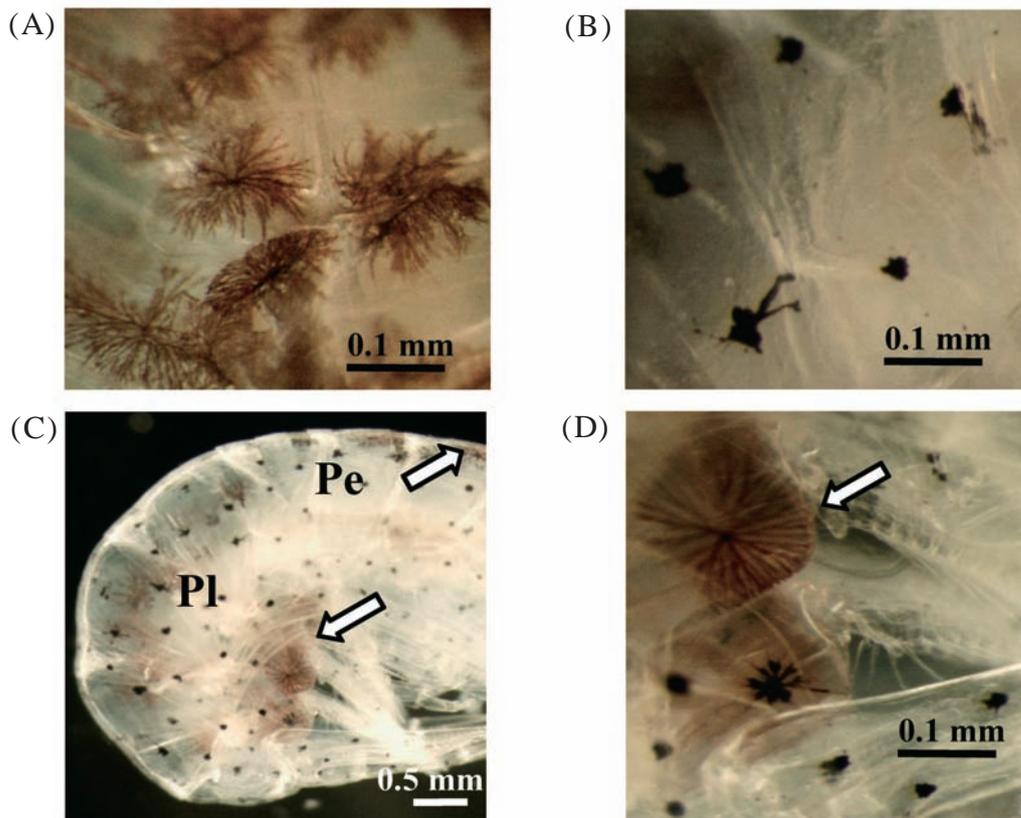


Fig. 3 Observations on pigmentation of *Vibilia stebbingi*. (A) Pigmentation pattern at the start of the experiment. (B) Pigmentation pattern change after 15min in darkroom. Coloration change occurred by reduction of pigmented area concentration. (C), (D) Pigmentation of pereon (Pe) and pleon (Pl). Body parts where contraction of pigmented area was slower than in other parts of the body are indicated with arrows.

図3 *Vibilia stebbingi*の色素胞の観察。(A) 実験開始前の色素胞。(B) 暗室条件下15分後、色素顆粒の凝集がおきている。(C), (D) 胸部 (Pe) および腹部 (Pl) 表面の色素胞。色素顆粒が拡散したままである代表的な部位を矢印で示した。側腹節側板付近など、部位によって色素顆粒の凝集の速度が異なる傾向があった。

件での体色変化の応答が弱い傾向があった。なお、蛍光灯光および赤色光条件では、光照射実験後、暗室、室温条件で明色への体色変化を観察することができた。紫外光条件では、光照射実験後、暗室、室温条件で明色への体色変化を多少認めたものの、その個体は数時間で絶命した。これらの光照射による体色変化の結果をFig. 5にまとめた。

#### 4. 考察

クラゲノミ亜目 *Vibilioidea* 上科に属するクラゲノミは、表層において夜間にしか採集されなかったために、日周鉛直移動を行っていた可能性が示唆された。しかし、付着する対象となり得るサルパ類などが同時に採集されていたので、そのホストらが鉛直移動をし、*V. stebbingi*などが一緒に付いてきた可能性もある。*V. stebbingi*のゼラチン質生物への付着の様式は、クラゲノミ亜目の *Hyperia galba*などが行う、クラゲなどゼラチン質生物に対して背を向け潜り込むような形の付着の様式とは大きく異なっていた (Bowman et al., 1963; Madin and Harbison, 1977)。10日間の飼育中に、第三 - VI 胸脚の爪を食い込ませるようにして、カブトクラゲ目の *B. mikado* をしっかりととらえ、第一 - II 胸脚である咬脚をしきりに口器へ動かしていたことから、摂食していたことが予測される。

一部の甲殻類は偏光を認識できることが知られている (Chiou et al., 2008; Cronin et al., 2003)。偏光顕微鏡による観察で、*V. stebbingi*の胸脚に複屈折性が観察され、ホストであったと推定されるサルパ目の *Thalia democratia* においても筋肉帯が浮き上がった (Fig. 1C, D)。もし *V. stebbingi* も偏光が認識できるのであれば、付着のためにサルパ目などのゼラチン質生物を見つけだす際に、偏光の認識が有利に働くと思われるが、今のところそれを示唆するデータは無く、更なる研究が必要となる。

日周鉛直移動を行っていた可能性がある *V. stebbingi* は、光照射を行うと、明色から暗色へ体色変化を示すことが本研究で明らかとなった。動物プランクトンにおける体色変化は以前から考察されてはいるものの (Foxton, 1970)、色素抽出による手法では色素の凝縮や収縮がわからず、変化そのものを定量化した例は肉食のカイアシ綱に属する *Paraeuchaeta norvegica* の体色変化の報告があるのみで (Vestheim and Kaartvedt, 2006)、研究は十分ではない。外洋生息域における生物の体色は、そのほとんどが捕食者から逃れるためのカモフラージュとして対応していることが考えられており (Johnsen, 2007)、*P. norvegica* においても、日中は明色、夜間は暗色になることから、捕食者から逃れるためのカモフラージュとしての役割が考えられている。それに対して、*V. stebbingi* は逆のパターンで、暗条件で明色、明条件で暗色になることが本研究で判明した。多くの甲殻

類がもつ赤橙色色素 *astaxanthin* は、紫外線と捕食圧に対する防御の際の増加と減少が逆になることが、淡水性甲殻類カラヌス目では提唱されている (Hansson, 2004)。*P. norvegica* が体色変化により、捕食圧を下げるためのカモフラージュを優先的に獲得しているのならば、*V. stebbingi* は体色変化により、紫外線からの防御を優先的に獲得している可能性も考えられる。本研究では、採集された個体数は少なくはつきりとは言えないが、*V. stebbingi* の日周鉛直移動や生息環境を含めてさらなる研究が求められる。

また、顕微鏡による細部の観察により、*V. stebbingi* の体色変化が色素顆粒の凝集や拡散によって引き起こされていることが明らかとなった (Fig. 3A, B)。第一 - III 腹節側板 (epimeron) 付近など、色素顆粒の凝集の早さが部位によって異なる傾向があった (Fig. 3C, D)。一部の甲殻類や魚類などでは、色素胞は交感神経節後繊維の支配を受けており、神経終末から放出されたノルアドレナリンなどの作用により、色素顆粒の拡散や凝縮を引き起こし、体色変化を調節していることが知られている (Ohira, 2004)。色素拡散ホルモン PDH (pigment dispersing hormone) は、目柄に存在する X 器官-サイナス腺複合体と呼ばれるペプチド貯蔵器

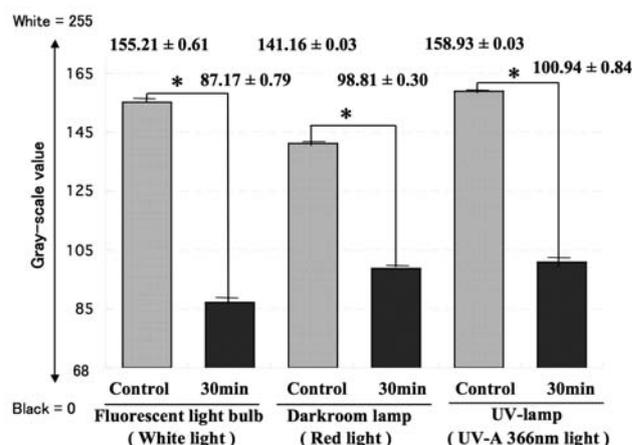


Fig. 4 Pigmentation is shown by gray-scale value. Lower values mean stronger pigmentation. Gray-scale values in *Vibilia stebbingi* are indicated on the Y axis, while conditions (Fluorescent light bulb [white light], Darkroom lamp [red light], UV-lamp [UV-A 366nm light]) are shown on the X axis. Values above each histogram are mean ± S.E. Statistical significance was assessed by T-test ( $n=3$ ,  $*P<0.05$ ).

図 4 グレースケールによる体色変化。個体を1時間以上室温で蛍光灯照射し、暗色へ体色変化した際の値を最小値とし、各光条件（蛍光灯光、赤色光、紫外光）に対するグレースケールを縦軸にとった。各ヒストグラムの値は  $mean \pm S.E$  を用いた。T検定による統計処理で有意差がみられたものを\*で示した ( $n=3$ ,  $*P<0.05$ )。

官で、合成・分泌されるペプチドホルモンである。クラゲノミにおいては、特有の大きな複眼により光を感知し、ホルモンにより色素胞の色素の拡散-収縮を調節することで、体色を変化させていることが考えられる。甲殻類の視物質は700nmよりも長い波長の光をほとんど感知できないようであり (Hama et al., 2005), 端脚目ヨコエビ亜目の *Abyssochomene plebs* およびクラゲノミ亜目の *Scina crassicornis* (Cohen et al., 2006; 2007) においても、700nmよりも長い波長の光をほとんど感知できないとの報告がある。本研究の *V. stebbingi* においては、赤色光条件下での体色変化 (Fig. 4; Fig. 5) が小さい傾向があったため、複眼からの光受容によるホルモン応答で体色変化が調節されていることが推定できるが、一方で、表皮細胞の直接的な光受容による応答の可能性も考えられるため、今後は光源の波長や強度を統一し、光照射を複眼、体表と特定部位のみに照射し、体色変化の度合いを比較するなどして、再検討する必要がある。

光照射条件下で明色から暗色へ、暗室条件下で暗色から明色へといった *V. stebbingi* の体色変化は、室温条件下および冷温条件下 (4°C) においても、ゼラチン質生物へ

の人工的な付着条件下およびクラゲノミ亜目単体の条件下においても観察することができた。このように一部のプランクトンが体色変化を示し、光環境によって体色や模様が異なるという事実は、カラー映像によるプランクトンの種同定を色、模様、形など、さまざまな角度から推定を行うことができるシステムの開発が進められている中で、重要なデータである。採集されたプランクトンを船上で撮影し、プランクトン群集を定量的に把握するための装置及びソフトウェアがすでに販売されているが (例えば、Zooscan, FlowCAM, VPR-Visual Planktonなど)、画像によってプランクトンを生物種レベルで判別する解析システムを開発する時に、プランクトンの体の色や模様が光条件によって変化することがあることを考慮しなければいけない。IONESS (Intelligent Operative Net Sampling System) のような層別閉閉式プランクトンネットでプランクトンを採集する時に、最後のネットを表層付近で長く曳網すると、採集されたプランクトンの体色や模様に変化が起こる可能性が十分考えられる。それらのプランクトンの画像データを、深い層から採集され、表層付近で曳網せずに直ちに揚収されたプランクトンの

Condition	Pre-exposure	After 30 min	Change
<b>White light</b> 			<b>81.3 %</b>
<b>Red light</b> 			<b>50.6 %</b>
<b>UV-A light</b> 			<b>69.3 %</b>

Fig. 5 30 min exposure tests on *Vibilia stebbingi* under 3 different lighting conditions (Fluorescent tube bulb [white light], Darkroom lamp [red light], UV-lamp [UV-A 366nm light]). In all cases, pigmentation patterns changed and coloration darkened.

図5 光照射による実験結果のまとめ。蛍光灯光、赤色光、紫外光 (A領域) の全ての条件において、明色から暗色への体色変化が観察された。

画像データと同一のデータセットとして解析を試みた場合には、その結果の正確性が問われる。また、甲板での処理に関しても光条件を同一にする試みも望ましいのであろう。海中で撮影されたプランクトンに関しては問題はより少ないことが推定されるが、棲息深度によって体色が多少異なる報告はカイアシ類に関してはあるものの (Vestheim and Kaartvedt, 2006)、日周リズムによって体色や模様に変化があるかどうかのデータが皆無である。今後の画像解析技術の発展において、さらなる研究とこれらのデータの構築が不可欠となる。

## 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丸山正PDをはじめとし、同プログラムの皆様、乗船手続き等でお世話になりました金井志津江氏、ライカマイクロシステムズ株式会社の千秋剛志氏、ご助言ご協力をいただいた全ての方に感謝します。また、サンプル採集にご協力頂いた、調査研究船「よこすか」船長および乗組員のみなさま、「しんかい6500」の運航チームの方々、同航海中にご助言頂いた土屋正史氏をはじめ、同航海乗船研究者および学生の方々に感謝します。特にネットの曳網において多大なご協力を頂きました日本海洋事業株式会社、観測技術員の岡田聡氏、数々のご助言ご指導を頂きました総合研究大学院大学の蟻川謙太郎教授に慎んで感謝の意を表します。

## 引用文献

- Benfield, M.C., P. Grosjean, P. Culverhouse, X. Irigoien, M.E. Sieracki, A.L. Urrutia, H.G. Dam, Q. Hu, C.S. Davis, A. Hansen, C.H. Pilskaln, E. Riseman, H. Schultz, P.E. Utgoff, and G. Gorsky (2007), Research on automated plankton identification, *Oceanography*, 20 (2), 12-26.
- Bowman, T.E., C.D. Meyers, and S.D. Hicks (1963), Notes on associations between Hyperiid Amphipods and Medusae in Chesapeake and Narragansett Bays and the Niantic River, *Chesapeake Sci.*, 4 (3), 141-146.
- Chiou, T.H., S. Kleinlogel, T.W. Cronin, R.L. Caldwell, B. Loeffler, A. Siddiqi, A. Goldizen, and N.J. Marshall (2008), Circular polarization vision in a Stomatopod Crustacean, *Curr. Biol.*, 18, 429-434.
- Cohen, J.H., and T.M. Frank (2006), Visual physiology of the Antarctic amphipod *Abyssorchomene plebs*, *Mar. Biol. Lab.*, 211, 140-148.
- Cohen, J.H., and T.M. Frank (2007), Vision in the hyperiid amphipod *Scina crassicornis*, *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 87, 1201-1206.
- Cronin, T.W., N. Shashar, R.L. Caldwell, J. Marshall, A.G. Cheroske, and T.H. Chiou (2003), Polarization vision and its role in biological signaling, *Integrat. Comp. Biol.*, 43, 549-558.
- Foxton, P. (1970), Vertical distribution of pelagic decapods [Crustacea: Natantia] collected on the Sond Cruise 1965 Penaeidea and general discussion, *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 50, 961-1000.
- Hama, N., M. Takahata, and Y. Tsuchida (2005), Recording of biological signals from non-tethered crustaceans: Optical telemetry system, *Biophys. Soc. Jap.*, 45 (4), 211-215.
- Hansson, L.A. (2004), Plasticity in pigmentation induced by conflicting threats from predation and UV radiation, *Ecology*, 85, 1005-1016.
- Johnsen, S. (2007), Cryptic and conspicuous coloration in the pelagic environment, *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 269, 243-256.
- Lindsay, D.J., and I. Takeuchi (2008), Associations in the benthopelagic zone: the amphipod crustacean *Caprella subtilis* (Amphipoda: Caprellidae) and the holothurian *Ellipinion kumai* (Elasipodida: Family: Elpidiidae), *Sci. Mar.*, 72(3), 519-526.
- Madin, L.P., and G.R. Harbison (1977), The associations of Amphipoda Hyperiidea with gelatinous zooplankton-1, Associations with Salpidae, *Deep-Sea Res.*, 24, 449-463.
- 永田樹三 (1997), 端脚目, 日本産海洋プランクトン検索図説, 1131-1203.
- Ohira, T. (2004), Molecular biological studies on crustacean peptide hormones, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 70 (4), 500-503.
- Pagès, F., J. Corbera, and D.J. Lindsay (2007), Piggybacking pycnogonids and parasitic narcomedusae on *Pandea rubra* (Anthomedusae, Pandeidae), *Plankton Benthos Res.*, 2(2), 83-90.
- Schmitz, H.E. (1992), Chapter 10 Amphipoda, *Microscopic Anatomy of Invertebrates (9) Crustacea*, 443-528.
- Tollrian, R., and C. Heibl (2004), Phenotypic plasticity in pigmentation in *Daphnia* induced by UV radiation and fish kairomones, *Funct. Ecol.*, 18, 497-502.
- Vestheim, H., and S. Kaartvedt (2006), Plasticity in coloration as an antipredator strategy among zooplankton, *Limnol. Oceanogr.*, 51 (4), 1931-1934.

Vinogradov, M.E., A. Volkov, and T.N. Semenova (1996), *Hyperiid Amphipods (Amphipoda, Hyperioidea) of The World Oceans*, Science Publishers, Lebanon, Indiana, 632 pp.

Zeidler, W. (1998), Pelagic Amphipods (Crustacea: Amphipoda: Hyperioidea) collected from eastern and southeastern Australian waters by the

CSIRO research vessel "Warreen" during the years 1938-1941, *Rec. S. Aust. Mus. Monogr. Ser.*, 4, 1-104.

Zeidler, W. (2003), A review of the hyperioidean amphipod superfamily Vibilioidea Bowman & Gruner, 1973 (Crustacea: Amphipoda: Hyperioidea), *Zootaxa*, 280, 1-104.

---