

第 52 次日本南極地域観測隊夏隊における
東京海洋大学「海鷹丸」観測報告橋田 元^{1,2*}・佐々木洋³・北出裕二郎⁴・小達恒夫^{1,2}Activities of the 52nd Japanese Antarctic Research Expedition during
the RT/V *Umitaka-Maru* Cruise (UM-10-04)Gen Hashida^{1,2*}, Hiroshi Sasaki³, Yujiro Kitade⁴ and Tsuneo Odate^{1,2}

(2011 年 12 月 16 日受付; 2012 年 1 月 10 日受理)

Abstract: A marine science cruise was undertaken during December 2010 and January 2011 on board the Research and Training Vessel *Umitaka-Maru*, operated by Tokyo University of Marine Science and Technology (TUMSAT), to accomplish projects of the six-year plan Phase VIII of the Japanese Antarctic Research Expeditions (JARE-52 to -57). The projects and the cruise were planned to investigate the responses of Antarctic marine ecosystems to environmental changes related to global warming and oceanic acidification, and to study plankton community structure and environmental parameters. One of the main aims of the projects was to clarify the life cycle and physiology of plankton with shells of calcium carbonate (e.g., pteropods and coccolithophores), because these plankton are regarded to be the most sensitive to oceanic acidification. We performed net castings to qualitatively estimate the vertical distribution of plankton, made hydrographical observations, took measurements of dissolved inorganic carbonates in seawater, deployed a year-around mooring with sediment traps, made observations of a surface drifting buoy with a sediment trap and sensors to measure environmental parameters, and performed onboard acidified culture experiments using pteropods. The RT/V *Umitaka-Maru* departed from Fremantle, Australia, on 24 December 2010, cruised to the study area around the marginal sea ice zone (along 110°E and 140°E), and returned to Hobart, Australia, on 22 January 2011. The cruises by the icebreaker *Shirase* (JARE-52) in December 2010 and March 2011 followed the same study area as that described above, along 110°E, in order to perform repeat observations.

要旨: 第 52 次日本南極地域観測隊 (JARE-52) では、南極地域観測第Ⅷ期 6 か年計画 (平成 22-27 年度) の第 1 年次として重点研究観測及び一般研究観測の課

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

² 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

³ 石巻専修大学. Ishinomaki Senshu University, 1-1 Minami-Sakai, Ishinomaki, Miyagi 986-8580.

⁴ 東京海洋大学. Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477.

* Corresponding author. E-mail: gen@nipr.ac.jp

題を実施するため、東京海洋大学練習船「海鷹丸」の南極海航海において海洋観測を実施した。主として、南極海の温暖化、大気中二酸化炭素濃度増加に伴う海洋酸性化などの変化が生態系に与える影響、及びプランクトン群集組成の変動と環境変動との関係の解明を目指すことが目的である。今回の観測航海は、「海鷹丸」の平成 22 年度遠洋航海 UM-10-04 のうち、フリーマントルーホバート間（2010 年 12 月 24 日～2011 年 1 月 22 日）において、東経 110 度線、東経 140 度線を中心とした二つの海域で行われた。特に、東経 110 度の南緯 57 度～62 度においては、「海鷹丸」観測に加え、2010 年 12 月初旬及び 2011 年 3 月初旬に「しらせ」が同一海域で観測を行い、時系列観測となっている。

1. はじめに

国立大学法人東京海洋大学（以下、「東京海洋大学」）練習船「海鷹丸（第Ⅳ世）」（以下、「海鷹丸」）の南大洋における観測は、「海鷹丸（第Ⅱ世）」が同大学の前身である東京水産大学時代の 1956/57 年シーズンにおいて、第 1 次日本南極地域観測隊に「宗谷」の随伴船として参加して以来（文部省、1982）、今回で第 14 回目となる。1980 年代の国際 BIOMASS 共同観測への参加に加え、近年においては、「海鷹丸」により、2002/03 年シーズン以降、およそ 3 年に 2 度の頻度で行われている（小達、2004；笠松ほか、2008；和田ほか、2011）。国際極年 2007-2008 にあたる 2007/08 年シーズンには昭和基地沖集中観測や、オーストラリア、フランスとの国際共同観測に参画するなど、共同観測プラットフォームとして国際的に広く認知されている（Hosie *et al.*, 2011）。

今回の観測航海は、「海鷹丸」の平成 22 年度遠洋航海 UM-10-04（2010 年 11 月 12 日～2011 年 3 月 4 日）のうち、フリーマントルーホバート間（2010 年 12 月 24 日～2011 年 1 月 22 日）において、東経 110 度、東経 140 度線を中心とした二つの海域で行われた。この航海では、東京海洋大学の研究課題「南大洋の環境変動と生態系変動」及び、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立極地研究所（以下、極地研）と東京海洋大学との連携協力協定のもとで、南極地域観測第Ⅷ期 6 か年計画（平成 22-27 年度）における第 52 次日本南極地域観測隊（以下、JARE-52）の研究課題が行われた。

本報告では、「海鷹丸」における JARE-52 の研究課題の報告とともに、これと連動した「しらせ」における観測についても同様に記す。

2. 研究目的

本研究の目的は、南極海の温暖化、大気中二酸化炭素濃度増加に伴う海洋酸性化などの変化が生態系に与える影響を解明することである。これまでの南極地域観測事業における「ふじ」や「しらせ」の観測の蓄積を活用すべく、従来の観測海域を対象域として選定することが有効であるため、夏季の南大洋の東経 110 度線付近を研究海域とした。UM-10-04 航海では、無機炭素循環及び関連する生物群の構造と機能についての定量的な現状把握を目指し、複数観測船を用いた同一観測線における時系列観測を計画した。12 月初旬に「しらせ」が東経 110

度線を南下通過時に数箇所定点観測と表層係留系の投入が行われ、12月下旬～1月初旬にかけて「海鷹丸」航海中に表層係留系の回収を含む集中観測を実施した。そして、3月初旬に再び「しらせ」が南緯60度、東経110度付近を西進通過時にも観測が実施された。南極観測隊の物資輸送を主業務とする「しらせ」の海洋観測には対象海域や実施時期に制限があるため、「海鷹丸」南極航海と連携した集中観測は、上記目的を達するために最も重要であった。

3. 観測計画および準備経過

3.1. 観測計画

第Ⅷ期6か年計画に定められた、次の2課題を実施した。

○重点研究観測サブテーマ2「南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動(AJ02)」

(研究代表者: 佐々木洋・石巻専修大学教授)

○一般研究観測「プランクトン群集組成の変動と環境変動との関係に関する研究(AP25)」

(研究代表者: 石丸 隆・東京海洋大学大学教授)

それぞれの課題について、観測設営計画実行調書に記載されたミッション名、コード及び観測を担当した隊員・同行者を表1に示す。船上においては東京海洋大学課題「南大洋の環境変動と生態系変動」を実施する研究者13名と協力して観測を実施した。なお、重点研究観測サブテーマ2に関わる観測の責任者は佐々木洋・石巻専修大教授、一般研究観測に関わる観測の責任者は北出裕二郎・東京海洋大学准教授、航海中の主席研究者は茂木正人・東京海洋大学准教授が務めた。

3.2. 観測計画立案経緯

第1回南極研究観測シンポジウム(2007年6月15日)、南極地域観測第Ⅷ期6か年計画(平成22-27年度)重点研究観測の公募(2008年6月16日締切)、第2回南極観測シンポジウム(2008年6月26日、前述公募の公開審査)等を経て、重点研究観測の骨子が国立極地研究所研究委員会で決定された。これら一連の公式な立案過程と並行し、重点研究観測サブテーマ2の関係者が頻繁に意見交換を行い、研究観測計画の詳細を検討してきた。その後、国立極地研究所南極重点研究観測準備分科会等において全体の計画調整がなされ、南極地域観測第Ⅷ期6か年計画の第1次案が、2009年6月19日に開催された南極地域統合推進本部総会において決定された。以降、2009年7月29日(札幌)、2009年11月16日(極地研)に研究集会を開催し、主として6か年計画の前半3か年の計画詳細を検討した。

3.3. 乗船者打合せ及び国内航海における観測訓練

観測グループならびに乗船者が行った打合せ及び、観測の実施に関わる国内での訓練を表2に示す。

表 1 「海鷹丸」における観測及び「しらせ」における関連した観測の項目と担当した隊員等。
なお、*印は「しらせ」における観測。

Table 1. Research missions carried out on board the RT/V Umitaka-Maru, and related missions conducted on board the icebreaker Shirase. The personnel in charge of each mission are also listed. *Mission carried out on board the icebreaker Shirase.

観測設営計画調書 Research mission	担当隊員 Official members	担当同行者 Affiliate members
重点研究観測【AJ02】のミッション名。()内は観測設営計画のミッションコード		
長期係留系観測 (AJ02-52_01) Long-term mooring	佐々木 Sasaki	秋葉 Akiha
重点観測点停船観測 (AJ02-52_02) * Station observations from on board Shirase *	小達 Odate	
植物プランクトンの色素分布 (AJ02-52_03) Pigment of phytoplankton	佐々木 Sasaki	本川, 高尾 Motokawa, Takao
植物プランクトンの生理活性 (AJ02-52_04) Physiology of phytoplankton	佐々木 Sasaki	本川, 高尾 Motokawa, Takao
植物プランクトンの分布 (AJ02-52_05) Distribution of phytoplankton	佐々木 Sasaki	本川, 高尾, 桑原ピクター Motokawa, Takao, Kuwahara
植物プランクトン耐酸性培養実験装置の考案と予備実験 (AJ02-52_06) Feasibility study of acidified culture experiment on phytoplankton	佐々木 Sasaki	
表層係留系観測 (AJ02-52_07) Drifting buoy observations	佐々木, 橋田 Sasaki, Hashida	秋葉 Akiha
表層漂流系投入作業 (AJ02-52_08) * Deployment of drifting buoy *	小達 Odate	
物質循環に及ぼす植物プランクトンの役割 (AJ02-52_09) Biogeochemical cycles related to phytoplankton activity	佐々木 Sasaki	本川, 高尾 Motokawa, Takao
有殻翼足類の分布 (AJ02-52_10) Distribution of pteropods	佐々木 Sasaki	秋葉 Akiha
有殻翼足類の耐酸性化実験 (AJ02-52_11) Acidified culture experiment on pteropods	佐々木 Sasaki	平塚, 秋葉, 鈴木 Hiratsuka, Akiha, Suzuki
溶存炭酸物質の時間変化 (AJ02-52_12) Temporal change in dissolved carbonate species	橋田 Hashida	
溶存炭酸物質の空間分布 (AJ02-52_13) Distribution of dissolved carbonate species	橋田 Hashida	
一般研究観測【AP-25】のミッション名。()内は観測設営計画のミッションコード		
プランクトン群集組成の変動と環境変動との関係に関する 研究 (AP25-52_01) Plankton community structure and environmental parameters	北出 Kitade	茂木, 甘糟 橋濱, 小野 Moteki, Amakasu, Hashihama, Ono

3.4. 安全対策

「海鷹丸」で安全な生活を送ることとともに、機材の搭載や荷下ろし、各種の海洋観測を安全かつ効率的に行うことを目的として、「第 52 次日本南極地域観測隊海鷹丸観測—観測計画概要及び安全対策—」を作成し、事前に隊員及び同行者で安全対策の意思統一を図った。

表 2 打合せ及び訓練等一覧

Table 2. Summary of advance meetings and trainings related to the cruise by the RT/V *Umitaka-Maru*.

期 日 Date	打合せ及び訓練 Meetings and trainings
3月28日 28 Mar.	サブテーマ2 全体打合せ (東京海洋大学) ・観測計画について Discussed research plan
3月30日 30 Mar.	UM-10-04 航海調整会議 (東京海洋大学) ・東京海洋大学計画とサブテーマ2 計画の調整打合せ Discussed cruise plan of RT/V <i>Umitaka-Maru</i>
4月21日 21 Apr.	東京海洋大・国立極地研究所連携協議会運航分科会 (東京海洋大学) ・UM-10-04 航海計画について Agreed cruise plan of RT/V <i>Umitaka-Maru</i>
7月11日 11 July	サブテーマ2 全体打合せ (海鷹丸, 豊海埠頭) ・シップタイム, 採水計画調整 Discussed ship time, water sampling, and other details of the cruise
7月12-16日 12-16 July	海鷹丸 UM-10-02 航海 (豊海~屋久島) ・観測装置動作確認 Tested observation gear on-board <i>Umitaka-Maru</i> (Tokyo-Yaku-shima)
8月19日 19 Aug.	UM-10-04 航海調整会議 (東京海洋大学) ・UM-10-04 シップタイム等について Discussed detailed cruise plan
9月15日 15 Sept.	第4回南極研究観測シンポジウム (国立極地研究所) ・第52次隊およびそれ以降の観測計画紹介 Explained JARE-52 activities of AJ02 at 4th Antarctic Research Symposium at NIPR
10月11-16日 11-16 Oct.	海鷹丸 UM-10-03 航海 (鹿児島~東京) ・観測装置動作確認 Tested observation gear on-board <i>Umitaka-Maru</i> (Kagoshima-Tokyo)
11月5日 5 Nov.	UM-10-04 乗船者全体打合せ (海鷹丸, 豊海埠頭) ・観測物資積み込み ・海鷹丸への観測概要紹介と観測打ち合わせ Loaded observation gear on <i>Umitaka-Maru</i> Discussed observation plan with crew of <i>Umitaka-Maru</i>
11月11日 11 Nov.	サブテーマ2 全体打合せ (国立極地研究所) ・出張手続き, 安全対策 ・研究観測計画確認 ・第53次隊観測計画, 乗船候補者 Discussed safety measures, detailed research plan, schedule of the cruise Discussed research plan and candidates for JARE-53 membership

か、乗船後直ちに「海鷹丸」において行われた退船訓練等に参加した。

4. 観測体制及び行動概要

「海鷹丸」乗船隊員及び同行者を表3に、行動概要を表4に示した。また、図1には航路及び観測点の位置を示した。

隊員及び同行者は2010年12月20日に日本を発ち、翌12月21日にオーストラリア・フリーマントルにて寄港中の「海鷹丸」へ乗船した。乗船後、船艙に保管した全物資の開梱、実験装置の設置と動作確認、係留系の組み立て等の作業に3日間を費やし準備を整えた。

12月24日にフリーマントルを出港後、オーストラリア EEZ 圏外より航走観測を開始した。すぐに大しげに見舞われたが、観測点 C01 から予定どおり停船観測を開始した。観測点 C04

表 3 「海鷹丸」観測の乗船観測隊員及び同行者、ならびに研究課題。AJ02 及び AP25 に対応する研究課題名は、それぞれ「南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動」及び「プランクトン群集組成の変動と環境変動との関係に関する研究」である。（*は観測隊員、その他は同行者）

Table 3. JARE-52 members and topic code of the Umitaka-Marui cruise. AJ02 and AP25 are the codes for the research projects "Responses of Antarctic Marine Ecosystems to Global Environmental Changes" and "Studies of Plankton Community Structure and Environmental Parameters", respectively. *Official member of JARE; others are affiliate members of JARE.

氏名 Name	所属 Affiliation	担当課題 Topic code
佐々木 洋* Sasaki, H.*	石巻専修大学 教授 Ishinomaki Senshu University	AJ02
北出 裕二郎* Kitade, Y.*	東京海洋大学海洋科学部 准教授 Tokyo University of Marine Science and Technology	AP25
橋田 元* Hashida, G.*	情報・システム研究機構国立極地研究所 助教 National Institute of Polar Research	AJ02
平塚 悠治 Hiratsuka, Y.	琉球大学 博士研究員 University of the Ryukyus	AJ02
本川 正三 Motokawa, S.	創価大学大学院工学研究科 博士後期課程 2 年 Soka University	AJ02
秋葉 文弘 Akiha, F.	石巻専修大学大学院理工学研究科 博士後期課程 1 年 Ishinomaki Senshu University	AJ02
高尾 信太郎 Takao, S.	北海道大学大学院環境科学院 博士後期課程 1 年 Hokkaido University	AJ02
鈴木 陽大 Suzuki, A.	東北大学大学院農学研究科 博士前期課程 1 年 Tohoku University	AJ02
桑原ビクター伸一 Kuwahara, V.	創価大学大学院工学研究科 准教授 Soka University	AJ02
甘糟 和男 Amakasu, K.	東京海洋大学海洋科学部 助教 Tokyo University of Marine Science and Technology	AP25
茂木 正人 Moteki, M.	東京海洋大学海洋科学部 准教授 Tokyo University of Marine Science and Technology	AP25
橋濱 史典 Hashihama, F.	東京海洋大学海洋科学部 助教 Tokyo University of Marine Science and Technology	AP25
小野 敦史 Ono, A.	東京海洋大学海洋科学部 博士研究員 Tokyo University of Marine Science and Technology	AP25

及び C05 は荒天気味で波高もやや強く、一部の観測が実施できなかったものの、南緯 58 度以南の重点研究集中観測海域に入ってから、大陸から張り出した高気圧に覆われて安定した気象・海況下で順調に観測を実施した。観測点 C06 近傍においては、「しらせ」が投入した表層係留系の回収と深層係留系の投入に成功した。また、氷縁域の観測点では有殻翼足類生体を複数個体捕集し、各種飼育実験を実施できた。観測点 C11, C12, そして C13 での観測終了後に北上を試みるも、北側海域に氷山や浮氷が密集しており、東経 105 度線の C14 及び C15 での観測を取りやめ、東経 115 度線に移動して新たな観測点 a01, a02 を設けるなどの変更を加えつつ観測を継続した。2011 年 1 月 5 日、C16 での観測を最後に重点研究集中観測海域を離脱し、デュモン・デュルビル基地沖に向けて移動した。移動の間、航走観測

表 4 「海鷹丸」の行動経過

Table 4. Summary of the schedule of the RT/V Umitaka-MarU cruise.

日 付 Date	項 目 Event
2010年12月20日 20 Dec. 2010	東京 / 成田発 Lv. Narita airport
12月21日 21 Dec.	パース着, フリーマントル港へ移動, 「海鷹丸」乗船. Ar. Perth / Fremantle, board <i>Umitaka-MarU</i>
12月21-23日 21-23 Dec.	観測機器等の準備 Unpacking and preparation
12月24日 24 Dec.	フリーマントル港出港, 航走観測開始. Lv. Fremantle
12月26日 26 Dec.	St. C01 着, 東経 110 度線の停船観測開始. Ar. St. C01, start 110°E line observations
12月30日 30 Dec.	St. C05 着, 重点研究観測集中海域における観測を開始. Ar. St. C05, start intensive observations
∪	東経 110 度周辺氷縁海域で海洋観測 Observations at ice edge zone around 110°E
2011年1月5日 5 Jan. 2011	St. C16 発, 重点研究観測集中観測海域を離脱. Lv. St. C16
1月9日 9 Jan.	デュモン・デュルビル基地冲着 Off Dumont d'Urville Station
∪	東経 140 度線の観測点における観測を開始 Start 140°E line observations
1月18日 18 Jan.	St. D15 発, すべての停船観測を終了. Lv. St. D15, finish station observations
1月22-23日 22-23 Jan.	ホバート寄港, 観測機器等の片付け. Ar. Hobart, packing
1月24日 24 Jan.	「海鷹丸」下船, ホバート発, シドニー経由. Disembark from <i>Umitaka-MarU</i> , Lv. Hobart
1月25日 25 Jan.	東京 / 成田着 Ar. Narita airport

及び有殻翼足類飼育実験を継続した。

1月7日以降, 低気圧の影響を受け, 風速 15-20 m/s, 波高 4-5 m の荒天中の航行となった。このため航行速度が十分に得られず, 東経 140 度線の観測開始時点では当初予定よりもやや遅れることとなった。また, 1月9日には東経 140 度線の南端の観測点 DDU を目指したが, 荒天とバックアイスに南進を阻まれたため, 当該観測を取りやめ, 北上しつつ D05 以北の停船観測を継続した。東経 140 度線の観測点では東京海洋大学研究課題の実施が中心で, 一部の JARE 研究課題も並行して実施した。12-13 日は, 風速 10-20 m/s, 波高 4-5 m で推移し, 取りやめるまでには至らないものの, 荒天での観測が続き, 細心の注意を払い甲板作業にあたった。14 日以降は, 比較的よい気象・海象下での観測となった。18 日, D15 を最後に停船観測は終了した。その後, 一部の航走観測を継続しながら, 使用を終えた装置等の後片付けを並行して進め, 20 日まで一部の航走観測を, 21 日まで飼育実験を実施した。

「海鷹丸」は 21 日午後にホバート港内に投錨し, 22 日午前と同港へ入港した。入港後も

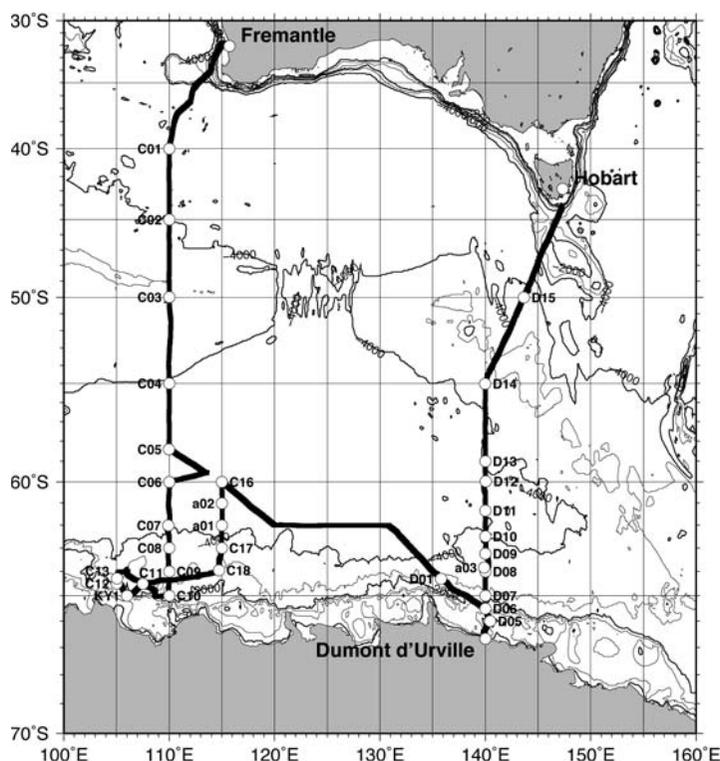


図 1 東京海洋大学「海鷹丸」航路及び観測点

Fig. 1. Ship track and stations of the UM-10-04 cruise.

適宜、観測装置の梱包を進め、物資の移動及び保定作業を 23 日に完了した。24 日に同船を下船し、当初予定どおり、25 日朝に成田空港へ到着した。

5. 重点研究観測サブテーマ 2 観測実施概要

5.1. 長期係留系観測

3 台のセディメントトラップ（水深約 500 m, 約 1500 m, 約 3000 m）を用いて粒状物質の沈降量を 1 年間にわたって経時的に測定する深層係留系を設置した。分析項目は POC（粒子状有機炭素濃度）、PON（粒子状有機窒素濃度）、PIC（粒子状無機炭素濃度）、有殻翼足類などである。さらに各トラップ深度の水圧及び水温の測定も行った。セディメントトラップの開始時期、インターバル、終了時期の設定は出発前に実施した。船上においては、セディメントトラップ 3 台のサンプル瓶に保存剤入りの海水を充填し、水温深度計及び切り離し装置の設定を行った。そして、海底直上約 40 m 付近には北海道大学低温科学研究所から供出を受けた水温深度計を 1 台設置した。これらの作業は 12 月 31 日にすべて終了した。

12 月 31 日 1812LT, 南緯 59 度 32 分 5 秒, 東経 113 度 34 分 5 秒において係留系の投入を

開始した。最浅層のフロートから順に投入し、中層フロートやセディメントトラップを表層に長く浮かべながら最後に錘を投入した。錘投入後にトランスデューサーを海中に投入し、系の沈降確認と距離を測定した後、南に約1マイル航走後に再度距離を測定した。係留系の設置確定位置は、南緯59度59分9秒、東経109度58分1秒、水深約4400mであった。なお、この長期係留系は2012年1月に「海鷹丸」で回収した。

5.2. 重点観測点停船観測

「しらせ」往路及び復路において、東経110度に沿った南緯57度30分、南緯60度、南緯62度30分の3点を「海鷹丸」と共通の観測点として時系列観測を実施した。「しらせ」往路では、2010年12月5日に測点AJ1 (58°14.8'S, 110°E, 「海鷹丸」St. C05と同一測点)、12月6日に測点AJ2 (59°36'S, 110°E, 「しらせ」L05, 「海鷹丸」St. C06と同一測点)、12月7日に測点AJ3 (62°14.6'S, 110°E, 「海鷹丸」St. C07と同一測点)にて、それぞれ、CTD観測、採水(栄養塩分析用試料, TIC分析用試料, Chl *a*, HPLC色素分析サンプル, 植物検鏡試料)、及びNORPACネット観測を実施した。「しらせ」往路における三つの観測点は、航行上の制約等により当初予定の緯度からやや離れたため、それらの位置に合わせて「海鷹丸」及び「しらせ」復路でも観測を実施した。

「しらせ」復路では、3月5日に測点AJ1' (58°13.8'S, 110°E)、3月6日に測点AJ2' (59°34.3'S, 110°0.8'E)、3月7日に測点AJ3' (61°34.5'S, 110°1'E)、3月9日に測点AJ4 (62°28.7'S, 141°29'E, 「海鷹丸」St. D10と同一測点)で、それぞれ往路と同様の観測を実施した。

5.3. 植物プランクトン観測

5.3.1. 植物プランクトン優占グループの変化が海洋 $p\text{CO}_2$ に与える影響の評価

優占する植物プランクトングループ、及びその生理状態と $p\text{CO}_2$ の変動との関係を明らかにするため、植物プランクトン色素組成や植物プランクトンの光合成光化学系II (PS II)を可変蛍光パラメータを用いて測定した。観測は東経110度の観測線上7点(C01, C02, C03, C04, C05, C06, C10)、東経140度の観測線上4点(D07, D10, D12, D14)、及び観測点D15において実施した。なお、測定に用いた試料海水は5m深からのニスキン採水器による採水、または船底からポンプで連続的にくみ上げた表面海水である。測定項目と方法は次のとおりである。

- ・基礎生産力 (^{13}C 擬似現場法)
- ・植物プランクトンの光吸収係数 (ac-s)
- ・Chl *a*
- ・光合成—光曲線 (^{13}C 法)
- ・可変蛍光による生理状態 (蛍光光度計 FIRE)

- ・ HPLC 色素 (Bulk, $>20\ \mu\text{m}$), フローサイトメトリー (FCM), 検鏡
- ・ 水中分光放射 (PRR 800)
- ・ 栄養塩, 水温, 塩分
- ・ 全溶存無機炭素濃度 (DIC), 全アルカリ度 (TA)

5.3.2. 植物プランクトンのサイズ別光学特性観測

人工衛星観測から植物プランクトンの一次生産量を推定する上で, 植物プランクトンの光学特性に関する知見が必須である. この光学特性は植物プランクトンの細胞のサイズに依存し, 温暖化や海洋酸性化などの地球環境変動に伴い, サイズ組成の変動の可能性が示唆されている. そこで, 光吸収と光束消散係数の鉛直観測と植物プランクトンのサイズ別光学特性観測のための採水を, 東経 110 度の観測線上 7 点 (C01, C02, C03, C04, C05, C06, C10), 東経 140 度の観測線上 4 点 (D07, D10, D12, D14), 及び観測点 D15 で実施した.

光吸収と光束消散係数の鉛直観測については, 光吸収—光束消散係数計 (Twin *ac*-9, WETLabs 製) を用いて, 深度 100 m までの鉛直観測を行った.

また, 植物プランクトンのサイズ別光学特性観測のための採水は, CTD (Falmouth Scientific 製) に取り付けられたニスキン採水器 (20l) を用いて行った. 採水深度は, 深度 3 m と, 海表面を 100% とした相対照度が 10% と 1% となる深度とした. 相対照度深度は, CTD に取り付けられた光量子センサー (LI-COR) の鉛直プロファイルから決定した. 測定項目は以下のとおりである.

- ・ 無機栄養塩濃度
- ・ 植物プランクトン色素濃度 (サイズ分画: Bulk, $<20\ \mu\text{m}$, $<2\ \mu\text{m}$)
- ・ 懸濁粒子による吸収係数 (サイズ分画: Bulk, $<20\ \mu\text{m}$, $<2\ \mu\text{m}$)
- ・ 粒状有機炭素・有機窒素濃度
- ・ 有色溶存物質濃度
- ・ 植物プランクトン組成観察用試料

5.3.3. 植物プランクトンの分布

植物プランクトンの分類群組成, 分布特性を調べるために, クロロフィル現場分析と試料採取を実施した.

クロロフィル現場分析は東経 110 度の観測線上 7 点 (C01, C02, C03, C04, C05, C06, C10) において, 100 m, 75 m, 50 m, 25 m, 20 m, 10 m, 0 m の各深度で採水し, 濾過処理後, Turner Design 蛍光光度計にて分析した.

計数用試料海水採取は東経 110 度の観測線上 7 点 (C01, C02, C03, C04, C05, C06, C10), 東経 140 度の観測線上 4 点 (D07, D10, D12, D14), 及び観測点 D15 において, 100 m, 75 m, 50 m, 25 m, 20 m, 10 m, 0 m の各深度で採水した海水試料 500 ml をホルマリン固定した. 帰国後, 走査型電子顕微鏡を用いて種組成と細胞密度測定を実施した.

5.4. 表層係留系観測

5.4.1. 系の構成

表層係留系を用いた基礎生産過程と溶存炭酸の経時的測定を実施した。系の構成は次のとおりである。

- ・表面 GPS ブイ

GPS 受信機, イリジウム送信機, レーダーリフレクタ, フラッシュャ, 目視確認用大旗

- ・表層観測システム

CTD, 光量子計, CO₂ センサー, DO センサー, クロロフィルセンサー

- ・下層観測システム

セディメントトラップ, CTD

5.4.2. 「しらせ」における投入作業

12月4日1700LTに装置を起動し, 12月6日1800LTに投入した。投入位置は, 南緯60度2分2秒, 東経110度1分2秒である。

投入後, 6時間ごとに装置より位置データがイリジウム衛星通信によって国内に配信され, その情報を電子メールで国内から「海鷹丸」へ送信した。12月27日以降は, 4時間ごと(日本時間の0800LT, 1200LT, 1600LT, 2000LT)に毎時の位置情報をFAXで国内から「海鷹丸」へ送信し, 「海鷹丸」はその情報に基づき回収位置に向かった。

5.4.3. 「海鷹丸」による回収作業

観測点C05終了後に東経110度線を離れ, 回収予定地点に移動を開始した。

12月31日0700LTに南緯59度32分6秒, 東経113度34分5秒にて表層係留系を目視発見し, 同日0930LTに表層係留系回収作業を完了した。構成部品等に損傷は認められなかった。

5.5. 有殻翼足類の耐酸性化実験

南極海における海洋酸性化が, アラゴナイトの殻を有する有殻翼足類(*Limacina*属)に及ぼす影響について調べることを目的として, 自然環境下での有殻翼足類の貝殻成長速度の測定, 低pH海水を用いた飼育実験, 及び炭酸カルシウム飽和度の低い海水を用いた飼育実験を行った。また飼育実験に先立って酸性化実験用混合ガス供給装置の試運転を行った。

5.5.1. 飼育実験概要

2010年12月28日~2011年1月5日にかけて, 重点研究集中観測海域(南緯50度以南, 東経110度付近)の観測点(C03, C04, C05, C06, C07, C08, C09, C10, C11, KY1, C12, C13, C18, C17, a01, a02, C16)においてバケツネット(口径1m, 目合500 μ m, コットエンドに12lのトスロンバケツを使用)で採集した有殻翼足類を用いて飼育実験を行った。なお, 東経140度線上の観測点においても, 東京海洋大学課題におけるバケツネットが曳網^{えいもう}されて

おり、試料中に有殻翼足類が見られた場合、一部を飼育実験に使用させていただいた。実験に用いた個体は凍結もしくは5%中性化ホルマリンにより固定・保存された。南緯62度以南の海域において多数の有殻翼足類が採集されたため、複数回の飼育実験、酸性化実験が可能であった。

5.5.2. 酸性化実験装置の試運転と運用

船内で酸性化実験を行うにあたって、コンプレッサー（POD-1.5 MA, 日立製）・二酸化炭素ボンベ・ガス混合装置（特注, オカノ製）を組み合わせたCO₂制御システムを用いた。コンプレッサーは、周辺の空気（CO₂濃度380-420ppm）を圧縮送気する役割を果たす。また、コンプレッサーから送気されるガスと、二酸化炭素ボンベから送気される純CO₂ガスの2種類のガスを、ガス混合装置のマスフロコントローラーで流量調整した上で混合し、CO₂濃度1000-1030ppmのガスを作成した。なお、実際に作成したガスのCO₂濃度は、ガスアナライザーで定期的にモニターし、状況に応じてマスフロコントローラーの流量を微調整した。

5.5.3. 有殻翼足類 *Limacina* 属 2 種の貝殻成長速度の測定

東経110度の観測点（C07, C08, C10, C13, C17, KY）では、採集された有殻翼足類 *Limacina helicina antarctica* を染色処理の後、アクリル製円形飼育水槽と1lポリカーボネイトボトルに入れ1-2週間の飼育を行った。飼育後、翼足類はフリーザーにて冷凍保存した。また、東経140度の観測点（D10, D12）では、有殻翼足類 *L. helicina antarctica* と *L. retroversa australis* が採取され、染色処理後、0.2μm濾過海水で満たしたアクリル製円形飼育水槽もしくはガラス瓶に入れ、1週間の飼育を行った。飼育後はフリーザーにてそれぞれ冷凍保存した。凍結した翼足類を研究室に持ち帰り、貝殻切片を作成し、蛍光顕微鏡下で観察（成長線の確認、伸長・肥厚方向の殻成長の測定）をすることで成長速度を、同時に、SEM（走査型電子顕微鏡）を用いて貝殻構造を明らかにする予定である。

5.5.4. CO₂ 制御システムを用いた酸性化海水環境下における飼育実験

観測点D09において採集された有殻翼足類 *L. helicina antarctica* を用い、pHを低下させた海水下で飼育実験を行った。4槽の円盤水槽（5.5.3.項のアクリル製円形飼育水槽とは異なる）にCO₂濃度が380ppm-420ppm（2011年大気）と1000ppm-1030ppm（2100年頃に想定される大気中のCO₂濃度）のガスをそれぞれ2槽ずつバブリングし、標準海水（pH7.8付近）と酸性化海水（pH7.5付近）を作成した。*L. helicina antarctica* は染色後、濾過海水で個体を洗浄し、各水槽に3個体ずつ入れ、約1.5℃で3日間の飼育を行った。飼育終了後、飼育個体は全て凍結保存した。飼育個体は蛍光顕微鏡により殻の伸長量を測定した後、走査型電子顕微鏡下で殻の溶解度を観察する予定である。

もう一つの実験は上記とほぼ同様であるが、CO₂濃度約380ppmのガスと約1000ppmのガスの2種類を準備し、それらのガスで濾過海水を暴気し、ガラスボトルを使用して1.5℃に調温されたインキュベーターに飼育個体を収容した。実験群と対照群の2群を染色後、6

日間飼育を継続し、2日ごとにボトル内の海水を全換水した。また、定期的に飼育海水のpH、全炭酸、全アルカリ度を測定した。今後、凍結保存した飼育個体を持ち帰り、海洋酸性化が本種の殻構造に及ぼす影響について明らかにする予定である。

5.5.5. 炭酸カルシウム飽和度の低い現場深層海水を用いた飼育実験

炭酸カルシウム飽和度（特にアラゴナイト）の低い現場海水を用いて、アラゴナイトの殻を有する翼足類（*L. helicina*）の飼育実験を行った。飽和度が1より低くなると殻は形成されないが、この海域の表層水中の飽和度は1.5-2.0の範囲にあると見積もられ、飼育海水として観測点C04及びC06の深度500mから採水した飽和度が1.3付近の海水を使用した。実験は、実験群（深層海水飼育；n=6）と対照群（表層海水飼育；n=6）の2群を準備して行った。翼足類は染色した上で、飼育海水を充填したガラスボトルに1個体ずつ収容した。ガラスボトルは遮光し、甲板水槽内に沈めた。飼育は8日間継続し、その間2日ごとにボトル内の海水を全換水した。また、定期的に飼育海水のpH、全炭酸、全アルカリ度を測定した。今後、凍結保存した飼育個体を蛍光顕微鏡及び電子顕微鏡で観察し、主に殻の構造に焦点をあてた分析を行う予定である。

5.6. 有殻翼足類の分布

有殻翼足類の現存量、分布特性を把握するため、NORPAC ツインネット（口径45cm、目合110 μ mと330 μ m、水深150mからの鉛直曳き）は全23測点、ガマグチネット（口径60cm、目合100 μ m、0-50m、50-100m、100-200m、200-500mの4層を鉛直曳き）は13測点（C04、C05、C06、C07、C08、C09、C10、C12、C18、C17、a01、a02、C16）にて濾水量測定を伴う定量採集を行った。なお、採集した試料は全て5%中性化ホルマリンにて固定した。種の同定、個体数の計数、重量、殻径の測定等を行う予定である。

5.7. 溶存炭酸物質観測

大気・海洋間の二酸化炭素交換量ならびにそれを強く制約する表層海洋中二酸化炭素分圧（ $p\text{CO}_2$ ）及び全溶存無機炭素濃度（DIC）の変動を把握するため、また、これら溶存炭酸系変動への海洋生態系の影響を調べるため、 $p\text{CO}_2$ 測定及び海水採取を行った。

航走観測として、フリーマントル出港からホバート入港までの間、 $p\text{CO}_2$ 、大気中 CO_2 濃度、船底水温、塩分の連続観測を実施した。 $p\text{CO}_2$ 連続観測システムは紀本電子工業社製のMOG-501システムを用い、4本の標準ガス（200、266、320、400ppmv）で6時間ごとに校正した。大気中 CO_2 濃度は、6時間おきにブリッジ直上に設置された大気の入入れ口からダイヤフラムポンプを用いて大気を採集し、30分間連続測定した。また、海洋中 CO_2 濃度の測定は、船底（水深約5m）から汲み上げた表層海水を平衡器に導入した後、器内で海洋中 CO_2 濃度と平衡に達した空気（平衡空気）を採集して分析装置に導入し、標準ガス及び大気

濃度測定時以外に常時測定した。

全測点において DIC 分析用の海水採取 (250 ml 摺り合わせ瓶, 100 ml バイアル瓶) を行った。CTD に取付けたニスキン採水器 (2.5 l) によって各深度の試料海水を SIBATA 社製 250 ml 摺り合わせ瓶 (もしくは 100 ml バイアル瓶) に採水し, 直ちに塩化第二水銀 (II) 飽和溶液を 100 μ l 添加し, グリスで密栓した上で 5°C 前後で保管し, 持ち帰り後, クーロメーターを用いて DIC 濃度分析を行う。

6. 「プランクトン群集組成の変動と環境変動との関係に関する研究」実施概要

6.1. 観測概要

日本南極地域観測隊では, 第 7 次隊の観測再開より定常観測として海洋物理・化学観測及び海洋生物観測が実施されてきた (海洋生物観測は第 38 次隊よりモニタリング研究観測となっている)。特に, 東経 110 度線に沿った観測データは 40 年以上にわたり蓄積されており, 南大洋の海洋環境変動を解析する上で貴重なものとなっている。しかしながら, 第 51 次隊より就航した新「しらせ」においては, 航走しながらの表層連続観測及び概ね 500 m 以浅を対象とした停船各層観測は実施するが, これまで行われてきた停船しての表層から底層に至る全層の鉛直的な観測は行わない方針となった。そこで, 第 52 次隊においては「海鷹丸」航海で東経 110 度及び 140 度線に沿った海洋物理・化学・生物に関する観測を継続的に実施し, 南大洋の海洋環境を将来にわたり監視することを目的とした。

具体的には, 東経 110 度線の南緯 40 度 (C01), 45 度 (C02), 50 度 (C03), 55 度 (C04) 及び 60 度 (C06), 東経 140 度線の南緯 50 度 (D15), 55 度 (D14), 60 度 (D12), 62 度 30 分 (D10) 及び 65 度 (D07) の計 10 観測点を設定し, 海底付近までの CTD 観測, 栄養塩の測定, NORPAC ネットでのプランクトン採集を行った。ただし, 観測点 D15 は航走時間短縮のため, 予定していた地点より東への変更を余儀なくされた (南緯 50 度, 東経 143 度 40 分)。また, 同様の理由で, D14 と D15 の CTD は深度 1000 m までに変更された。

6.2. 海洋物理観測

南大洋インド洋セクター東部の東経 110 度と 140 度に沿った海洋環境をモニタリングするため, カラーセルマルチサンプラーを搭載した CTD (Sea-Bird 製 SBE 911 Plus, SBE 43) による観測を実施した。本課題に関する測点は, C01, C02, C03, C04, C06, D07, D10, D12, D14, D15 の 10 地点である。海面から海底直上までの水温, 塩分, 溶存酸素の鉛直分布が得られた。各 CTD 観測時にニスキンボトルにより採水された海水は, 栄養塩類の計測及び塩分・溶存酸素センサーの検定のために用いられた。

6.3. NORPAC ネット観測

小・中型動物プランクトンの生物量及び種組成を評価する目的で、観測点 C01-C04, C06 及び D07, D10, D12, D14, D15 の計 10 測点において NORPAC ネット（口径 0.45 m, 目合 100 μ m 及び 330 μ m）による観測を実施した。採集は深度 150-0 m の鉛直曳きを行った。ネットには濾水計（離合社製）を取り付け、濾水量を推定した。採集後、試料は直ちに最終濃度が 5% になるようにホルマリンを加え固定した。

6.4. 栄養塩観測

栄養塩類の詳細鉛直分布を明らかにするため、観測点（C02, C03, C04, C06, C08, C10, C17, D06, D08, D10, D12）において水深 200 m 以浅の 24 層から試水を採取した。さらに、観測点 C01, D14, D15 においては、表層から海底近傍までの最大 19 層から栄養塩の試水を採取した。試水の硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩、ケイ酸及びリン酸塩の濃度については、船上にてオートアナライザー（AACS-III, Bran + Luebbe 製）を用いて分析した。

7. ま と め

東京海洋大学練習船「海鷹丸」のフリーマントルーホバート間航海（2010 年 12 月 24 日～2011 年 1 月 22 日）において、東経 110 度線及び 140 度線を中心とした海域で、南極地域観測第Ⅷ期 6 か年計画（平成 22-27 年度）の重点研究観測サブテーマ 2「南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動（AJ02）」及び一般研究観測「プランクトン群集組成の変動と環境変動との関係に関する研究（AP25）」の 2 課題の観測を実施した。

前者では、南極海の温暖化や大気中二酸化炭素濃度増加に伴う海洋酸性化などの変化が生態系に与える影響を解明するために、「海鷹丸」船上において植物プランクトンの諸観測（分布、種組成と溶存炭酸系の関連、サイズ別光学特性観測）、貝殻成長速度に着目した有殻翼足類の耐酸性化実験、溶存炭酸物質の分布等の観測をほぼ当初予定どおりに行い、長期係留系の投入（「海鷹丸」と表層係留系の投入（「しらせ」）・回収（「海鷹丸」）にも成功した。また、東経 110 度の南緯 57 度～62 度においては、時系列観測として「海鷹丸」観測に加え、2010 年 12 月初旬及び 2011 年 3 月初旬に「しらせ」が同一測点で観測を実施した。

後者は、JARE において東経 110 度線及び 140 度線に沿った海洋物理・化学・生物に関するデータが長期間蓄積され、南大洋の海洋環境変動を解析する上で貴重なものとなっていることを踏まえて、この観測を継続的に実施し、海洋環境を将来にわたり監視することを目的として、CTD 観測、栄養塩測定、NORPAC ネットでのプランクトン採集を行った。

謝 辞

本航海における観測結果の多くは、「海鷹丸」帰港（2011年3月4日）後に開始する試料分析により明らかとなるが、CTD各層採水、各種曳網、飼育実験、表層係留系回収、深層係留系投入等、ほぼ予定どおりの観測を実施できた。これはひとえに、喜多澤彰船長をはじめ「海鷹丸」乗員（28名）および専攻科生（20名）、そして、茂木正人・東京海洋大学准教授を主席研究者とする全乗船研究者25名の労を惜しまない協力と、計画立案・準備・実施を通じた南極地域観測統合推進本部、東京海洋大学海洋科学部ならびに同学海洋観測支援センター、同行者所属機関、国立極地研究所、第52次観測隊の厚い支援によるものである。ここに、深甚なる謝意を表する。

文 献

- Hosie G., Koubbi P., Riddle M., Ozouf-Costaz C., Moteki M., Fukuchi M., Ameziane, N., Ishimaru T. and Goffart, A. (2011): CEAMARC, the Collaborative East Antarctic Marine Census for the Census of Antarctic Marine Life (IPY # 53): An overview. *Polar Sci.*, **2**, 75-87.
- 笠松伸江・堀本奈穂・茂木正人・高橋邦夫・長田和雄・平譯 亨・石丸 隆・福地光男 (2008): 「海鷹丸を用いた南極研究ワークショップ2008」報告. *南極資料*, **52**, 516-526.
- 文部省 (1982): 南極観測二十五年史. 東京, 大蔵省印刷局, 532 p.
- 小達恒夫 (2004): 第44次南極地域観測隊夏隊「専用観測船」行動報告2003. *南極資料*, **48**, 19-35.
- 和田 誠・中岡慎一郎・笠松伸江 (2011): 「海鷹丸」による南大洋の大気中硫化ジメチル濃度観測. *南極資料*, **55**, 82-91.