

## Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES) 計画についての ワークショップ報告

三瓶 真<sup>1</sup>・佐々木洋<sup>2</sup>・服部 寛<sup>3</sup>・福地光男<sup>1</sup>

### A report on workshop of Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES)

Makoto Sampei<sup>1</sup>, Hiroshi Sasaki<sup>2</sup>, Hiroshi Hattori<sup>3</sup> and Mitsuo Fukuchi<sup>1</sup>

(2003年5月20日受付; 2003年6月3日受理)

**Abstract:** The Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES) is an international scientific program led by Canadian scientists at Laval University collaborating with more than 10 countries including Canada, Japan and USA. This program is carried out to know ecological and biogeochemical processes in sea area of the Mackenzie shelf, continental margin, and Cape Bathurst polynya in Amundsen Gulf. The CASES will carry out an “over-wintering cruise” for scientific observations in open polar seas from the beginning of September 2003 to the end of August 2004. The Japanese CASES team focused on specific strategies of over-wintering zooplankton and their possible role in the biogeochemical cycling and transport of biogenic material in those sea areas through the year, primarily because of insufficient information on ecological processes of overwintering zooplankton, such as copepods and microzooplankton.

**要旨:** CASES (Canadian Arctic Shelf Exchange Study) 計画はカナダのラバル大学を核としてカナダ、日本、アメリカなど10数カ国の研究者が参加する国際共同研究である。CASES 計画はボーフォート海南東部のアムンゼン湾に形成される Cape Bathurst polynya, 更にはマッケンジー河口流域から大陸棚域、またその北方海盆域との間 (69°–73° N, 122°–140° W) を対象海域としている。CASES 計画の目的は、これらの海域における生態系の構造と機能の解明、および物質循環過程の解明である。CASES 2003–2004 航海の大きな特徴は1年間にわたり観測船を研究海域に定置させることにある。そのため極域では例を見ない冬期間や早春の大規模な海洋観測が可能となる。そこで、日本の研究グループでは、これまで研究例の少ない寒冷海域における動物プランクトンの越冬生態に注目し、その活動が年間の物質循環過程に与える影響について明らかにすることをコアプロジェクトとした。得られる観測結果は、長期的な地球規模の環境変動を評価する上でも重要な科学的知見となる。

<sup>1</sup> 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173–8515.

<sup>2</sup> 石巻専修大学. Senshu University of Ishinomaki, Ishinomaki 986–8580.

<sup>3</sup> 北海道東海大学. Hokkaido Tokai University, Sapporo 005–8601.

## 1. はじめに

2003–2004年に Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES) 計画のための本格的な研究航海が実施される。その航海に参加する日本人研究者の研究実施計画立案のためのワークショップを、2003年3月26日に国立極地研究所において開催した。参加者は14名であった。本報告は、CASES計画実施に至る背景を含め、計画の進捗状況およびワークショップについてまとめたものである。

## 2. CASES 計画実施の背景

近年の研究から、極域の海である北極海や南極海が、地球規模の環境・気候変動にきわめて重要な役割を果たしていることが指摘されるようになってきている。その中でも高緯度に位置するにも関わらず、冬から春の初めにかけて不凍または周囲と比較して薄い氷に覆われる海域をポリニア (polynya) と呼ぶ。一般にポリニアには魚類、海産哺乳類、海鳥などの高次の捕食者が豊富に生息しているが (Stirling, 1980)、高次の捕食者の生存を支えるためには、植物プランクトンや動物プランクトンによる低次生産が周辺の海水域よりも高いと予想される。また、ポリニアは周囲を海水で囲まれた海水面が露出した海域であることから極域の中でも温暖化の影響を真っ先に受けると考えられるため、長期的な極域環境監視のためには格好のフィールドである。このようなポリニアの継続的研究を実施するため、北極海洋科学委員会 (Arctic Ocean Sciences Board; AOSB) において、国際北極ポリニア研究計画 (International Arctic Polynya Program; IAPP) が立案された。

IAPP はこれまでに二つのポリニアの研究において成果を上げてきた。一つは、1992–1993年に観測が行われたグリーンランドの東に位置する North East Water (NEW) polynya ( $80^{\circ}$ – $81^{\circ}$  N,  $10^{\circ}$ – $15^{\circ}$  W)、もう一つは 1997–1999年に観測が行われたカナダとグリーンランド間のバフィン湾北部に位置する North Water (NOW) polynya ( $75^{\circ}$ – $79^{\circ}$  N,  $70^{\circ}$ – $80^{\circ}$  W) においてである。NEW polynya における研究成果は国際科学雑誌である *Journal of Marine Systems* (Vol. 10, 1997)、NOW polynya における研究成果は国際科学雑誌である *Atmosphere and Ocean* (Vol. 39, 2001) や *Deep-Sea Research II* (Vol. 49, 2002) に印刷公表され (例えば、Kawamura *et al.*, 2001; Kashino *et al.*, 2002; Odate *et al.*, 2002; Sampei *et al.*, 2002)、また多くの国際学会において発表された。

IAPP による第3期ポリニア研究計画である CASES 計画は NEW polynya および NOW polynya における研究計画の後継研究計画として発案された (CASES ホームページ: <http://www.giroq.ulaval.ca/cases/> 参照)。そして、これまで NOW polynya 研究において科学的に大きな貢献を果たした日本人研究者に対して CASES 計画への参加要請があった。CASES 計画はカナダのラバル大学を核としてカナダ、日本、アメリカをはじめとする 10 数カ国の研究者が参加する国際共同研究である (図 1)。CASES 計画は、大きく 9 つのサブグループに分かれ

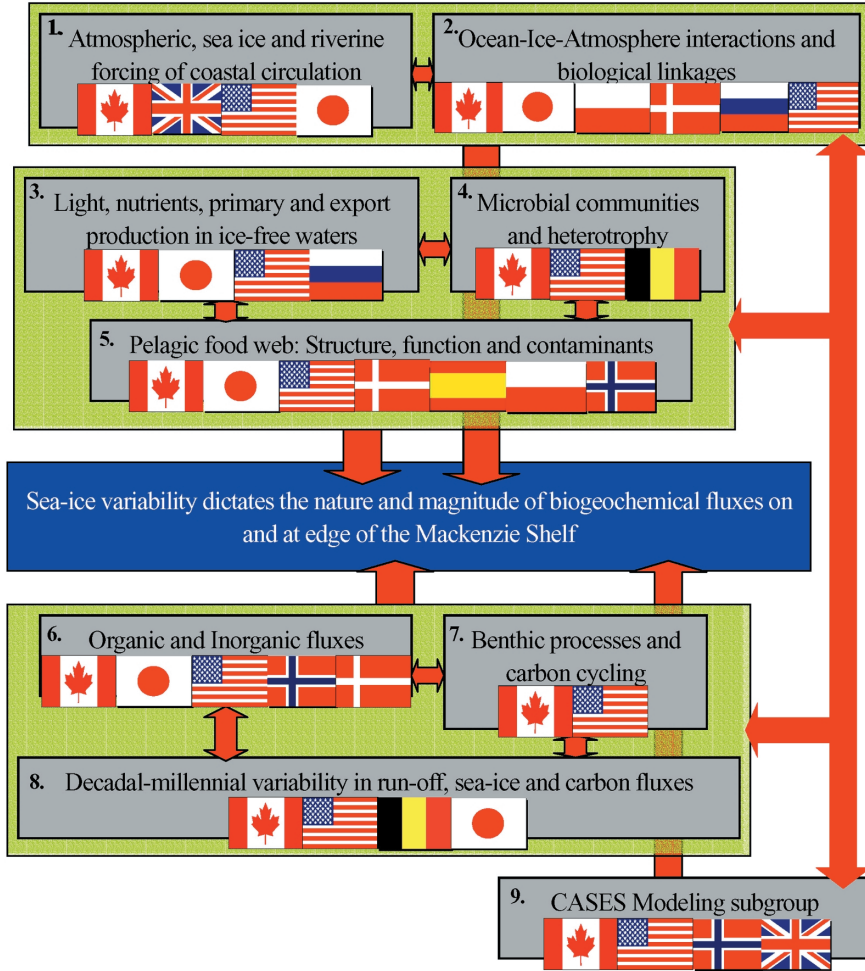


図1 CASES 国際共同研究組織図。

CASES 計画には9つのサブグループ（灰色のテキストボックス）があり、それらが相互に関わりながら、「生態系の構造および生物地球化学的物質循環過程の海水環境の変動に対する関連（青色のテキストボックス）」を明らかにする。 <http://www.umanitoba.ca/faculties/arts/geography/ceos/projects/cases/slideshow/slide07.html> を一部改変して使用。

Fig. 1. The CASES international network.

CASES is divided into nine sub-groups (gray text-boxes) in order to determine “How sea-ice variability dictates the nature and magnitude of biogeochemical fluxes, and the character of the ecosystem on and at the edge of the Mackenzie Shelf” (blue text-box). Modified from <http://www.umanitoba.ca/faculties/arts/geography/ceos/projects/cases/slideshow/slide07.html>.

ており、それぞれのサブグループが相互に関わり合い、計画の目的達成に寄与する仕組みになっている（図1）。9つのサブグループにはそれぞれ以下のような目的がある。1) 沿岸域の水循環と大気、海氷および河川水流入の関係を明らかにすること。2) 大気–海洋間のガス交

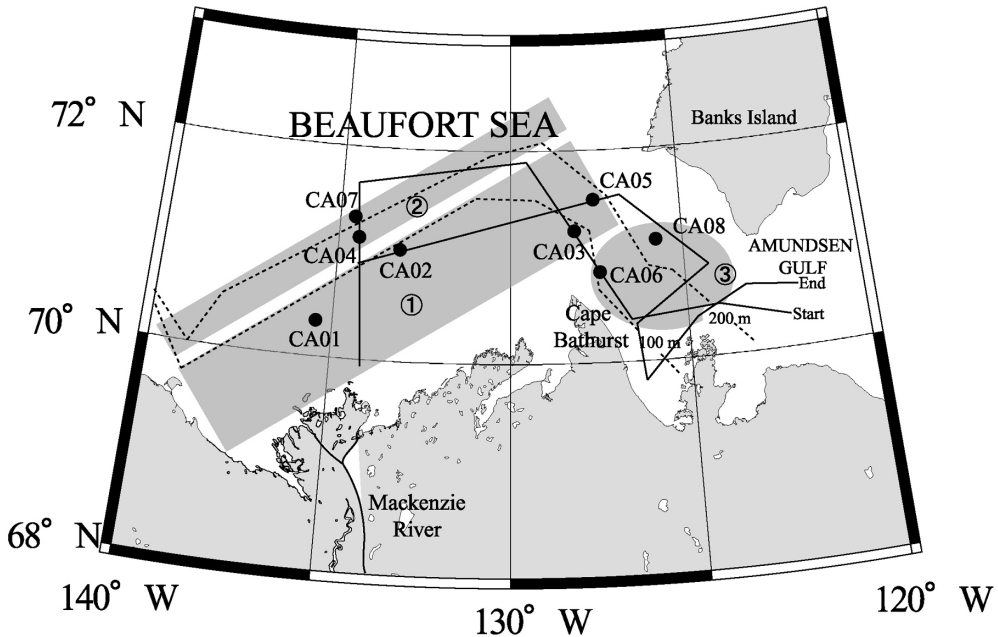


図2 CASES 計画研究航海海域。黒丸はCASES 2002 航海において係留を行った測点。影領域(①, ②, ③)は海域特性を示す(本文参照)。破線は海底深度を表す。太線はCASES 2002 航海における航路を示す。

Fig. 2. The study area of CASES expeditions. Black spots show mooring sites in the CASES 2002 expedition. Shadow areas in the sea (①, ②, ③) indicate regional delineation of physical characteristics (see text). Dashed lines show isobaths. The bold line shows the cruise track of CASES 2002 expedition.

換や生物に及ぼす影響を明らかにすること。3) 光・栄養塩環境と基礎生産および移出生産との関係を明らかにすること。4) 微小動物プランクトンやバクテリアの現存量、種組成および生理活性などを明らかにすること。5) 食物網構造を明らかにすること。6) 有機物および無機物フラックスを明らかにすること。7) 海底における炭素循環を明らかにすること。8) 10年から1000年周期の河川水の流入、海水環境および炭素フラックスの変化を明らかにすること。9) 以上研究で明らかになったの生物、化学、物理学的データを用いて炭素循環や気候および海水変動のモデルの構築を行うことである。これらのサブグループが相互に関わり合い、CASES 計画ではボーフォート海南東部のアムンゼン湾に形成される Cape Bathurst polynya (図2中の③)、更にマッケンジー河口流域から大陸棚域(①)、またその北方海盆域との間(②)を研究対象海域とし、これらの海域における生態系の構造と機能の解明、および物質循環過程を明らかにすることを目的とする。また同時に経年変動などにより長期の海水環境の変動との関連も明らかにすること。これらの観測結果は、長期的な地球規模の環境変動を評価する上でも重要な科学的知見となる。

### 3. これまでの経緯

#### 3.1. CASES 計画の立案

CASES 計画は、1999年3月にアメリカのベンチュラで開催されたワークショップにおいて立案され、またそのワークショップにおいて研究海域および計画全体の目的の決定がなされた。日本からは福地光男（極地研）、服部寛（北海道東海大学）、佐々木洋（石巻専修大学）、田口哲（創価大学）、小達恒夫（極地研）らが出席した。具体的な CASES 計画の内容については、2000年10月に CASES ワークショップがカナダのモントリオールで開催され、サブグループの構築やその目的の設定および研究航海の大まかな日程について決定された。日本からは服部寛と佐々木洋が出席した。研究航海実施の詳細については2002年6月カナダのバンクーバーで開催された CASES 2002 航海計画ワークショップ（日本からは服部寛が参加）および2003年1月カナダのモントリオールで開催された CASES 2003-2004 航海計画ワークショップ（日本からは服部寛、佐々木洋が参加）で議論された。これらのワークショップではそれぞれ CASES 2002 航海および CASES 2003-2004 航海の実施日程、乗船者、観測点、観測項目について決定された。CASES 2002 航海計画ワークショップに基づいて、CASES 2002 研究航海が2002年9月に行われた。CASES 2002 研究航海の詳細は以下に記載する。

#### 3.2. CASES 2002 航海

CASES 2002 航海は2002年の9月に2隻の観測船を用いて実施された。一隻はカナダ沿岸警備隊の砕氷船 *Sir Wilfrid Laurier* 号であり、主に係留系の設置を行った。係留系は合計8測点に係留された（表1; 図2）。これらの係留系は研究対象海域における海流の流向・流速、および粒子の鉛直輸送量を計測するために設置された。CA01 から CA03 の3測点には海面下30mに水温塩分測定装置、50mに流速計を設置した。CA04 から CA06 の3測点には海面下30mに水温塩分測定装置、50m及び190mに流速計、100mに音響式ドップラー流速計

表1 CASES 2002 航海の係留系設置点  
Table 1. Mooring sites of CASE 2002 expedition.

Station	Depth	Location
CA01	63 m	70.5° N, 133.5° W
CA02	66 m	70.9° N, 132.9° W
CA03	63 m	71.1° N, 128.1° W
CA04	201 m	71° N, 133.8° W
CA05	201 m	71.3° N, 127.5° W
CA06	205 m	70.7° N, 127.5° W
CA07	505 m	71.2° N, 133.9° W
CA08	389 m	71° N, 126.1° W

(Acoustic Doppler Current Profiler: ADCP) を設置した。CA07 及び CA08 には海面下 30 m に水温塩分測定装置, 70 m 及び 200 m にセディメントトラップ, 100 m に ADCP, 75 m, 205 m 及び海底上 15 m に流速計を設置した。係留された観測機器は 2003 年 8 月末まで連続観測を行う。

もう一隻は同じくカナダ沿岸警備隊の砕氷船 *Pierre Radisson* 号であり, 海洋観測を行った。主な観測項目は CTD による塩分濃度および水温の測定, クロロフィル *a* 濃度, 粒状態及び溶存態有機炭素濃度および栄養塩濃度測定などのためのロゼット採水器による層別採水である。またプランクトンネットの鉛直曳きおよび斜行曳きによる動物プランクトン採集, 海底堆積物採集のためのボックスコアリング, 海水のコア採集, 24 時間表層係留型のセディメントトラップの設置などが, 当初の計画通り計 110 測点において行われた。CASES 2002 航海には日本からの乗船者を含め, 延べ 40 人以上が参加した。採集された試料や得られたデータは現在解析中である。

#### 4. 国内での CASES ワークショップの実施

平成 15 年度に行われる CASES 2003–2004 航海は 2003 年 9 月から 2004 年 8 月末までのおよそ 1 年間に渡り, 連続する 9 つのレグに分割されている (表 2)。CASES 2003–2004 航海は CASES 計画の中心となる研究航海であり, CASES 2002 航海と比較して大規模なものとなる。そこで, CASES 2003–2004 航海に関する日本人研究者のワークショップが 2003 年 3 月に国立極地研究所において開催された。当日のプログラムを表 3 に示す。

CASES 2003–2004 航海ではカナダ沿岸警備隊の砕氷船 *John Franklin* 号を備船し, 2003 年 9 月から 2004 年 8 月末までのおよそ 1 年間に渡り観測船を研究海域に定置させる。そのため極域では例を見ない冬期間や早春の大規模な海洋観測が可能となる。そこで日本の研究グループでは, これまで研究例の少ない寒冷海域における動物プランクトンの越冬生態に注目

表 2 CASES2003–2004 航海日程表  
Table 2. Time table of CASES 2003–2004 expedition.

Leg number	Period
Leg 1	01 Sept. – 12 Oct. 2003
Leg 2	13 Oct. – 23 Nov. 2003
Leg 3	23 Nov. 2003 – 4 Jan. 2004
Leg 4	5 Jan. – 15 Feb. 2004
Leg 5	16 Feb. – 29 Mar. 2004
Leg 6	30 Mar. – 10 May 2004
Leg 7	11 May – 22 June 2004
Leg 8	23 June – 3 Aug. 2004
Leg 9	4 Aug. – 31 Aug. 2004

表3 日本版 CASES ワークショッププログラム  
 Table 3. The agenda of the CASES workshop for Japanese participants.

日本版 Canadian Arctic Shelf Exchange Study (CASES) 計画のワークショップ コンビナー: 服部 寛 (北海道東海大学) 佐々木洋 (石巻専修大学)		
日時: 2003年3月26日(水) 1030-1600		
会場: 国立極地研究所 研究棟2階 講義室		
<プログラム>		
1. 1030-1045	参加者自己紹介	
2. 1045-1100	CASES 計画実施にいたる背景	福地光男 (極地研究所)
3. 1100-1130	CASES 計画の基本コンセプトと全体計画の概要	服部 寛 (北海道東海大学)
4. 1130-1200	2002年 CASES 研究航海実施報告	三瓶 真 (極地研究所)
5. 1200-1230	2003-2004年 CASES 日本側計画の概要	佐々木洋 (石巻専修大学)
昼休み 1230-1330		
6. 1330-1400	セディメントトラップ関連の研究例紹介 —放射性核種を使用した粒子動態の研究—	山田正俊 (放射線医学総合研究所)
7. 1400-1430	動物プランクトン関連の研究例紹介 —動物プランクトンの越冬戦略—	服部 寛 (北海道東海大学)
休憩 1430-1500		
8. 1500-1530	乗船時期, 乗船者についての打ち合わせ	佐々木洋 (石巻専修大学)
9. 1530-1600	今後の日程について	服部 寛 (北海道東海大学)

して, その活動が年間を通してどのように物質循環過程に影響を与えるかについて明らかにすることを CASES 2003-2004 航海におけるコアプロジェクトとした。

本ワークショップでは, 主にコアプロジェクトに対して個々の研究者がどのように貢献するかについて, またその研究のために年間を通したルーチンワークとして, 航海参加者全員が行うべき実験項目について議論された。その結果, ルーチンワークの候補として植物プランクトンの光合成活性測定, 微小動物プランクトン (主に単細胞の原生動物など) 採集, 中型以上の動物プランクトン (主にカイアシ類など) 採集, 海水中の懸濁態有機炭素・窒素濃度測定などが提案された。さらに, ワークショップでは航海参加者予定者の調整, 研究機材や研究試料の輸送方法, 今後の予定などについての検討も行われた。

### 5. CASES 2003-2004 研究航海におけるコアプロジェクト

極域においても他の海域の例に漏れず, 珪藻類などによる基礎生産は第一に栄養塩や光環境などの物理的環境の影響を受ける。いわゆる“bottom-up control”である。しかし採餌能力を持つまでに成長したカイアシ類など植物食性動物プランクトンの摂餌の影響により基礎生産が抑制されることもあり, これが“top-down control”である (例えば Verity and Smetacek, 1996)。特に寒冷海域においては季節的鉛直移動を行う越冬動物プランクトン群集の存在が知られているが, 越冬を成功させた群集が春季ブルーム期の基礎生産量に対して摂餌圧を与えるであろうことが予想される (Bathmann *et al.*, 1990)。しかしそれら越冬群集の摂餌圧に関する定量的な知見は十分ではない。このような動物プランクトン群集の生態を明らかにす

ることは、それら生物群自身の生活史に関する基礎的知見の集積に貢献するばかりでなく、越冬動物群が春季ブルームの規模を制御しているとするならば、年間を通した有機物の生産、輸送、循環過程すべてに影響を与えることを意味し、その重要性は小さくないと思われる。このような観点を持って、CASES 2003–2004 研究航海に臨む予定である。日本の研究グループのコアプロジェクトについてその詳細を以下に記載する。

### 5.1. 動物プランクトンの越冬戦略の解明

CASES 2003–2004 における動物プランクトンの研究では、極域で1年間継続して現場調査が可能となる特色を生かし、動物プランクトンの越冬戦略の解明を主要な課題としている。その戦略を個体群動態、摂餌、体構成成分（CHN、安定同位体、脂肪酸等）等の季節変化を通して観察し、特にそれらが海水の消長に伴ってどのように変化するか注目する。動物プランクトンの中でも、物質の下方輸送において重要な大型沈降粒子である糞粒生産者としてのカイアシ類（例えば Sasaki and Nishizawa, 1981）や、微小な粒子の循環において重要となる微小動物プランクトン（例えば Azam *et al.*, 1983）について観測・実験・分析を集中する計画である。

主要な動物プランクトンであるカイアシ類については、季節的鉛直移動の実態を正確に把握するために、夏季から秋季における下降移動群集および春季前後の上昇行動群集を採集する予定である。並行して行われる摂餌実験、また体構成成分の化学的変化の結果は、カナダの研究者が行う予定のカイアシ類の生産および植物プランクトンによる基礎生産の測定結果との比較が可能となり、カイアシ類の食物網の中で果たす役割、および鉛直的物質循環にはたす役割を定量的に把握することが可能であると思われる。これらの実験・観測結果により、季節的鉛直移動が持つ生態学的な意義について検討を行う。

また、微小動物プランクトンが極域の物質循環過程に果たす役割を示す研究例が少ないため、種類組成、現存量、分布の季節的变化を明らかにすることも大きな研究課題の一つに挙げられる。さらに本研究においては微小動物プランクトンの摂餌量・生産量および大型動物プランクトンによる被食量の見積もりを行う予定である。これらの結果は米国とカナダが実施するバクテリア生産の季節変化の研究との比較が可能であり、極域生態系の物質循環の中で果たされる微小生物の役割を理解する一助となろう。これらの動物プランクトンの研究により、季節的な海水の消長やマッケンジー川からの河川水の流入の影響との関連についても総合的に考察し、極域生態系の特長を明らかにする予定である。

### 5.2. カナダ北極圏の大陸棚縁辺域における生物起源粒子の動態

CASES 計画が対象としている海域はマッケンジー川河口域から大陸棚縁辺、更に北極海



実施された海洋物理学的観測結果（例えば Macdonald *et al.*, 1992）によれば、生物生産活動に影響を与えるであろう特徴的な海域として次の3カ所を予想している。それらはマッケンジー川河口沖合の海底峡谷部（図2. ①）、広い大陸棚から急峻な大陸斜面にいたる大陸棚縁辺部（図2. ②）、Bathurst 岬東部の湧昇海域である（図2. ③）（Ingram, 私信）。CASES 2002 航海においてはセディメントトラップを含んだ係留系を②と③の海域のそれぞれ一測点に設置している。①においては浅い大陸棚から海底峡谷への物質の流入や集積作用、①においては潮汐の働きによる大陸棚から急峻な大陸斜面に向かう物質輸送などが予想されている。③の湧昇域付近にはポリニア（Cape Bathurst Polynya）も形成される。湧昇とポリニア形成の関連はまだ明確ではないが、極域に形成されるポリニアが同緯度の海水海域と比較して生物生産が豊富であることなどから（Klein *et al.*, 2002; Hargrave *et al.*, 2002; Ringuette *et al.*, 2002）、CASES の調査海域において生物が最も豊富であることが予想される。このように多様な環境を有する大陸棚縁辺部海域において生物起源物質の輸送、循環過程を明らかにすることを本研究の目的としている。

生物起源の粒子状物質を採集するために時系列型のセディメントトラップを使用し、上記の①、②、③海域（図2）を中心に2003年9月から2004年8月末まで係留を行う予定である。水深200m以深の16測点において100m層、200m層の2層、また水深500m以深の外洋域においては海底から約100m上層にさらに1層加えて合計3層に設置する。採集対象物質は沈降粒子であるが、上記の海域の特徴により大陸棚域から物質が水平輸送されていることが予想されるため、その見積もりを可能にする解析が必要であろう。主な分析項目として親生物元素である有機炭素、有機窒素およびその同位体などの各種有機物質の他に、放射性核種の分析を加えることにより、粒子の起源、滞留時間などの情報を得る。

動物プランクトン研究との関連のために、セディメントトラップで採集される生物も重要な解析項目である。結氷期における生物採集はセディメントトラップに頼らざるを得ないため、全測点において、主にカイアシ類、微小動物プランクトン、植物プランクトンの種組成やバイオマスの周年変化を観測する。特に季節的鉛直移動を行うカイアシ類が下降移動期においてセディメントトラップに採集されることを期待している。

これらの解析を通して、海域の特徴が生物生産に対して与える影響を評価すること、また動物プランクトンの季節的鉛直移動を含めて生物自身の鉛直的、水平的輸送量の見積もりが中心的な課題である。

## 6. おわりに

前記の通り CASES 計画はカナダ、日本、アメリカをはじめとする10数カ国の研究者が参加する国際共同研究である。そのため参加する国々が CASES 計画に要する費用の分担拠出を行っている。本ワークショップにかかった費用をはじめ、CASES 計画に参加する日本人研

究者は、文部科学省の科学研究費補助金・特定領域研究(2) (研究課題名: 北極域海洋動態と生態系変動の研究代表者: 福地光男) の支援を受けている。

## 文 献

- Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S., Meyer-Reli, L.A. and Thingstad, F. (1983): The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**, 257–263.
- Bathmann, U.V., Noji, T.T. and von Bodungen, B. (1990): Copepod grazing potential in late winter in the Norwegian Sea—a factor in the control of spring phytoplankton growth? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **60**, 225–233.
- Hargrave, B.T., Walsh, I.D. and Murray, D.W. (2002): Seasonal and spatial patterns in mass and organic matter sedimentation in the North Water. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 5227–5244.
- Kashino, Y., Kudoh, S., Hayashi, Y., Suzuki, Y., Odate, T., Hirawake, T., Satoh, K. and Fukuchi, M. (2002): Strategies of phytoplankton to perform effective photosynthesis in the North Water. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 5049–5061.
- Kawamura, T., Shirasawa, K. and Kobinata, K. (2001): Physical properties and isotopic characteristics of landfast sea ice around the North Water (NOW) Polynya region. *Atmos.-Ocean*, **39**, 173–182.
- Klein, B., LeBlanc, B., Mei, Z.-P., Beret, R., Michaud, J., Mundy, C.J., von Quillfeldt, C.H., Garneau, M.-E., Roy, S., Gratton, Y., Cochran, J.K., Belanger, S., Larouche, P., Pakulski, J.D., Rivkin, R.B. and Legendre, L. (2002): Phytoplankton biomass, production and potential export in the North Water. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 4983–5002.
- Macdonald, R.W., Pearson, R., Sieberg, D., McLaughlin, F.A., O'Brien, M.C., Paton, D.W., Carmack, E. C., Forbes, J.R. and Barwell-Clarke, J. (1992): NOGAP B.6, physical and chemical data collected in the Beaufort Sea and Mackenzie River Delta, April–May 1991. *Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean Sci.*, **104**, 155 p.
- Odate, T., Hirawake, T., Kudoh, S., Klein, B., LeBlanc, B. and Fukuchi, M. (2002): Temporal and spatial patterns in the surface-water biomass of phytoplankton in the North Water. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 4947–4958.
- Ringuette, M., Fortier, L., Fortier, M., Runge, J., Belanger, S., Larouche, P., Weslawski, J.M. and Kwasniewski, S. (2002): Advanced recruitment and accelerated population development of Arctic calanoid copepods of the North Water. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 5081–5099.
- Sampei, M., Sasaki, H., Hattori, H., Kudoh, S., Kashino, Y. and Fukuchi, M. (2002): Seasonal and spatial variability in the flux of biogenic particles in the North Water, 1997–1998. *Deep-sea Res. II*, **49**, 5245–5257.
- Sasaki, H. and Nishizawa, S. (1981): Vertical flux profiles of particulate material in the sea off Sanriku. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **6**, 191–201.
- Stirling, I. (1980): The biological importance of polynyas in the Canadian Arctic. *Arctic*, **33**, 303–315.
- Verity, P.G. and Smetacek, V. (1996): Organism life cycles, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **130**, 277–293.