

—研究論文—
Scientific Paper

南極昭和基地沿岸におけるウニ *Sterechinus neumayeri* (Meissner) の繁殖期と初期発生

土屋 泰孝¹・工藤 栄²・佐藤 克文²・福地 光男²

Breeding season and early developmental stage of
a urchin, *Sterechinus neumayeri* (Meissner),
at Syowa Station, Antarctica

Yasutaka Tsuchiya¹, Sakae Kudoh², Katsufumi Sato² and Mitsuo Fukuchi²

Abstract: The breeding season and early developmental stage of a sea urchin, *Sterechinus neumayeri*, which is widely distributed in Antarctic coastal waters, were studied. A year-round sampling of the urchin was carried out at Syowa Station during the 40th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-40) over-wintering period (February 1999–February 2000) using bait traps. The urchin entered into traps in both the autumn to mid-winter and late spring to summer periods, but not from late winter to early spring. According to the observed facts, that all individuals caught before mid-winter had mature sexual organs and that more than half of the collected urchins during late spring were post-spawning individuals, natural spawning seemed to occur from late winter to spring at the study site. In nearly freezing seawater, spawning and fertilization were experimentally induced using samples collected both in late autumn and late spring. The early development of the embryo was successfully observed for a month using the latter samples. The first cleavage occurred within 20 hours after insemination, and the successive development of the embryo reached the morula and blastula stages for 2 and 3 days, respectively. The embryo grew slowly and finally developed to a prism larva via the gastrula stage within 18 days after fertilization.

要旨: 南極昭和基地の沿岸浅海域に分布しているウニ *Sterechinus neumayeri* の餌籠網を用いた採集を、1999年2月から2000年2月の1年間にわたり試みた。水深 20 m 前後に設けた複数の採集場所において、ウニは南極の秋から極夜を迎える6月までと晩春から夏に相当する10月下旬以降にそれぞれ餌籠で採集されたが、7月上旬から9月中旬までは全く採取されなかった。秋から冬にかけて採取された個体の体腔内には生殖巣が明瞭に認められたが、晩春以降に採取されたものの中には生殖巣が萎縮し、体腔内がほとんどからの状態の個体が多数交じるようになった。4月および11月に採取した生殖巣が発達していた個体を用いて、採卵・採精を行い、これらを人工授精させて受精卵の初期発生を観察した。春の受精卵は海水結水温度付近で飼育した場合、1時間以内に

¹筑波大学下田臨海実験センター, Shimoda Marine Research Center, Tsukuba University, 5-10-1, Shimoda 415-0025.

²国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

受精膜の形成, 20 時間以内に第一卵割, 24 時間で第三卵割が起こり, 2 日で桑実胚, 3 日で胞胚になった. 5, 6 日後幼生は受精膜を破り遊泳胞胚に, 11 日目に原腸が陥入し囊胚となり, 18 日ほどでプリズム型幼生にまで達した. その後 10 日間ほど飼育したが, プルテウス幼生期にまでは発生が進行しなかった. また, 飼育温度を 1-5°C とやや高めに設定した場合は, 受精後, 卵割の異常と思われる現象が生じ, 発生はうまく進行しなかった. プリズム型幼生までの発生に要した時間は, 我が国に産するバフンウニ (*Hemicentrotus pulcherrimus* (A. Agassiz)) の発生などと比べ (通常 15°C ぐらいで飼育), ほぼ 6 倍程度遅かった. 今回の採集結果と発生実験の結果から, 周年, 結氷温度付近で推移している南極沿岸域の海底上で, 本種は春期に産卵を開始し, そのプランクトン幼生はゆっくりではあるが植物プランクトンの生物生産が高まる夏季に成長するものと考えられる.

1. はじめに

南極大陸沿岸の海底では底生生物の現存量が高く 1 m² あたり 3 kg にも及ぶといわれている (沼波, 1998). 日本南極地域観測隊の活動拠点・昭和基地のある宗谷海岸沖の東オングル島 (69°00'S, 39°35'E) 沿岸部における, これまでの数度にわたる潜水や ROV (自走式水中カメラ) 生物群集調査によっても, 水深 200 m 以浅の海底にはホヤ・カイメン・コケムシ類といった固着性の動物群集のほか, ウニ・ヒトデ・ナマコ・ウミシダ類などの移動性の動物群が多数・多量に存在していることが明らかにされてきた (渡辺ら, 1982; Hamada *et al.*, 1986; Nakajima *et al.*, 1984). 中でもウニの一種 *Sterechinus neumayeri* (Meissner) は広い地域に亘り分布することが確認されている. また餌を用いたトラップ採集によっても, 南極の春から秋に相当する期間に普通に捕集されている (星合, 1982). さらに, 他地域にある他国の観測基地においても, その分布は潜水調査やトラップ採集で確認されており, 本種は南極沿岸部の海水下における底生生物群集の中でも普遍的な存在であるといえる (Brey and Gutt, 1991).

一年中低温で, なおかつ日射の季節性の大きな南極大陸周辺の沿岸海洋では微小藻類群集による海洋の生物基礎生産はきわめて大きな季節性を示す. これら低温や餌生物の季節偏在性などの厳しい環境にもかかわらず, ウニ *S. neumayeri* が広範囲に多量に生息できるということは, 生育に必要な餌をえり好みしない (死体食・雑食性) で成長できること (Arnaud, 1977), あるいは基礎生産のない時期には絶食で生き延びる可能性のあること, 産卵やその後の発生のタイミングなども南極の沿岸環境にうまく応じたような適応現象を持つことが予想されたが (星合, 1982), その実態にはなお不明な部分が少なくない.

最近の報告によれば, 本種の受精卵は分布海域での低温環境では温帯域に分布する近似のウニに比べ, きわめてゆっくりとした発生速度を持ち (Bosch *et al.*, 1987), また, 沿岸域でのプランクトン採集で南極域の夏季に遊泳幼生が採取できるなど (Stanwell-Smith and Peck, 1998), 本種が春から初夏に産卵し, 植物プランクトンによる生物生産の高まる夏季に遊泳幼生世代をおくるといふ. しかし, これらの報告は南極半島や西南極のごく一部地域からのものであり, 昭和基地が位置する東南極域でのウニの産卵や初期発生に関する知見は全くない.

第40次南極地域観測隊 (JARE-40) では、越冬観測において、東オングル島沿岸部で周年にわたる餌籠を用いた底生動物群集の採集を実施した。本稿ではこの採集で高頻度に得られたウニ *S. neumayeri* の採集経過とウニ卵の初期発生実験結果について報告する。結果は不完全ではあるが、将来この方面の研究を行うための基礎資料として役立てていただきたいと考えている。

2. 方 法

2.1. 環境観測と試料採集

ウニの採集は1999年2月下旬より2000年2月上旬までの約1年間にわたり実施した。東オングル島とその北側の小島ネスオイヤとの海峡部である北の瀬戸、浅瀬が広がる東オングル島西方の西の浦の水深10-25 mの地点で主に実施した (図1)。さらに東オングル島北部の北の浦、及び宗谷海岸ラングホブデ露岩域の雪鳥沢下流西方の湾内 (69°14'S, 39°43'E) で付加的な採集を行った。採集には縦50 cm×横30 cm×高さ18 cmの折り畳み式の籠網を周年にわたって使用し、竹製のツブ籠 (陸奥湾でモスソガイ漁に使用されていたもの、上面にトラップ口がある一辺が約25 cmの直方体状) を9月以降補助的に使用した。

籠網の設置のため、エンジンアイドリル、チェーンソーもしくは水鋸にて海水に1 m四方程度の穴をあけた。その穴から水深10-20 mの海底に籠網・ツブ籠をロープで下ろし、その一端を海水上の角材に結びつけて設置し、1日から10日後に回収して試料採取を行った。これら

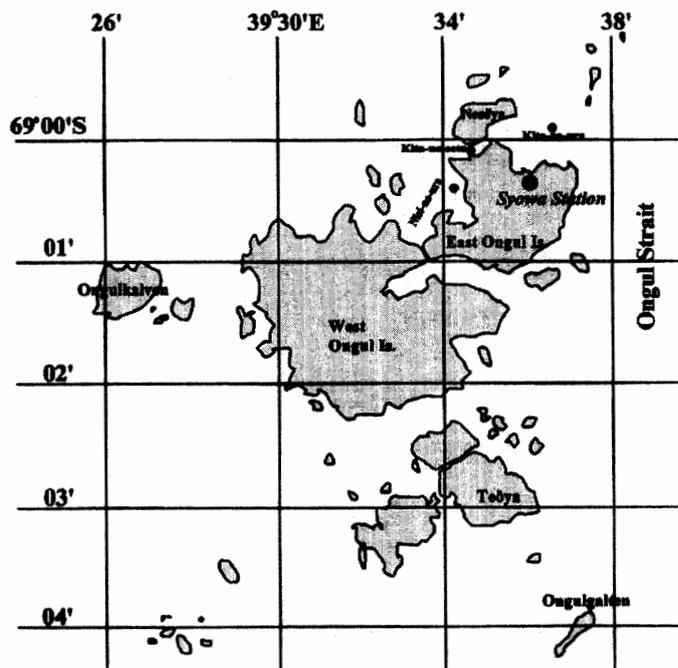


図1 昭和基地沿岸部のウニ採集地点

Fig. 1. Sea urchin sampling sites around Syowa Station, 1999-2000.

表1 第40次南極地域観測期間中に実施した昭和基地沿岸部におけるウニ捕獲のための籠網・つぶ籠の設置・回収状況

Table 1. Summary of sea urchin sampling around Syowa Station during JARE-40.

設置日	回収日	設置場所	水深	ウニ捕獲状況	試料の保存等
Date of Setting	Date of retrieval	Station	Depth (m)	No. collected	Sample researvation, etc.
26-Feb., 1999	1-Mar.	北の瀬戸*1	25	3	ブアン固定*5
3-Mar.	9-Mar.	北の瀬戸	25	1	ブアン固定
9-Mar.	14-Mar.	北の瀬戸	25	>5	ブアン固定
14-Mar.	19-Mar.	北の瀬戸	25	>5	ブアン固定
19-Mar.	2-Apr.	北の瀬戸	25	>5	ブアン固定
2-Apr.	7-Apr.	西の浦*2	10	>5	ブアン固定/飼育*6
6-May	7-May	西の浦	10	2	ブアン固定
7-May	11-May	西の浦	10	1	ブアン固定
11-May	19-May	西の浦	10	>5	ブアン固定
2-Jun.	18-Jun.	西の浦	10	0	
18-Jun.	29-Jun.	西の浦	10	3	ブアン固定
29-Jun.	9-Jul.	西の浦	10	>5	ブアン固定
9-Jul.	27-Jul.	西の浦	10	0	
27-Jul.	6-Aug.	西の浦	10	0	
28-Aug.	3-Sep.	西の浦	10	0	
6-Sep.	9-Sep.	西の浦	10	0	
15-Sep.	17-Sep.	西の浦	10	0	
28-Oct.	29-Oct.	西の浦	20	1	ブアン固定
29-Oct.	9-Nov.	西の浦	20	>5	ブアン固定/飼育
9-Nov.	16-Nov.	西の浦	20	>5	ブアン固定/飼育
22-Nov.	30-Nov.	西の浦	20	>5	ブアン固定/飼育
27-Nov.	11-Dec.	西の浦	20	>5	ブアン固定
参考データ cf.					
2-Jan., 2000	5-Jan.	ラングホブデ*3	7	>5	
6-Feb., 2000	10-Feb.	北の浦*4	55	>5	

*1 : Kita-no-seto Strait, *2 : Nisi-no-ura Cove, *3 : Langhovde off Yukidori Valley,

*4 : Kita-no-ura Cove, *5 : preserved in Bouin's fluid, *6 : eggs and sperms were collected

採集具中には餌として死魚(アジ・サンマ・サバ・ベラ・キスなど)を入れた。この採集は上記期間に北の瀬戸・西の浦で22回実施した(表1)。設置穴は越冬期間中、数度、位置を5-50mほど移動させながら開け直した。採取個体の有無を記録したほか、採取された個体は昭和基地内の実験室に持ち帰り、一部は直ちに殻を割り生殖巣の発達状態を目視観察したほか、生殖巣が顕著に認められた個体についてはブアン固定を行って保存した。4月および11月に捕獲

されたウニ、それぞれ十数個体は後述する放卵・放精誘導実験およびその後の初期胚の発生観察実験用に採取場所から昭和基地内の実験室へ生きた状態（採取後直ちに海水バケツ中に移す）で速やかに移送した。また、厳冬期間の9月上旬にトラップ周辺でのウニの分布状況を記録するために、10分の撮影間隔に設定したデジタルビデオカメラ（DSL-1000, リトルレオナルド）を採集穴から吊り下げ、観察記録した。

採集を実施した西の浦観測点の南およそ200mの地点で、海中に到達する日射と水温の観測を実施した。日射は可視光領域の光量子密度を30分間隔で積算記録（球形水中センサー Li-193SA, Li-1000 データロガー, LI-COR）し、水温は5分間隔で測定記録（NWT-SN, 日油技研）するように設定し、これらの測器を1999年3月21日より同年11月20日まで、海氷上から水温計が水深15m、日射計が水深5mになるように水中に吊り下げ設置した。また、海氷の発達状態（海氷の厚さ）を試料採取ごとに測定、記録した。

2.2. 飼育実験手法

4月と11月に採集したウニを用いて卵の放卵・放精誘導実験、及び初期発生観察を昭和基地内の実験室に設置した複数の培養庫中で繰り返し実施した。放卵・放精はKCl法により誘導を試みた（石川・野口, 1988）。あらかじめ濾過海水（ワットマンGF/Fガラス繊維濾紙で濾過した海水）を作成し、飼育温度になるように飼育実験1日前から培養庫内に準備しておいた。試料の運搬途中に自然放卵・放精のない個体十数個体を選び、1個体ずつ口器を取り去り、体液を振り払って除去した後、生殖孔が下になるように直径3-5cmの濾過海水を満たしたアクリル容器上に置き、0.5モルKClを体腔内へピペットにて滴下した。これによって得られた卵及び精子を初期発生観察用とした。

初期発生は放出された卵と精子を濾過海水を満たした500-2000mlビーカー中のごく少量混合して受精させ、-1.5, 1.0, 5.0°Cに設定した培養庫内で静置、任意時間後に一部をピペットで採取して実体顕微鏡（SZX-12, オリンパス）を用いて観察、顕微鏡デジタルカメラ（DP-10, オリンパス）で記録した。それぞれの温度は飼育期間中定期的に測定した。温度変動幅は設定値から上下1°C程度であった。

3. 結果と考察

3.1. 海洋環境

1999年2月下旬、観測開始時の海氷の厚さは25cmで、冬季に向かって氷の厚さが増していった。極夜があけた9月初旬までには厚さは最大約1.3mに達し、その厚さを保ちながら観測終了時を迎えた。海氷上の積雪は観測期間中ほとんどなく、降雪（ブリザードを含む）があった直後においても10cmを超えることはなかった。この間の海水を通して水中に入射する可視光は明瞭な季節変化を示していた（図2）。3月下旬は海氷も薄く、海氷面に到達する日射

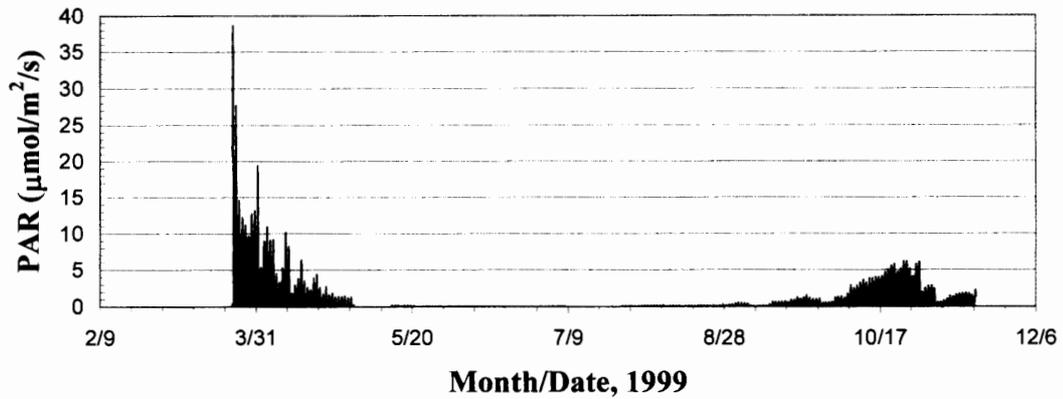


図2 海中（水深 5 m）へ入射する可視光量の季節変化
30 分間の平均光量を折れ線グラフで示した。横軸の時間軸は 10 日間隔で目盛り、50 日ごとに日付を記入している。

Fig. 2. Temporal changes of visual light intensity (400–700 nm) penetrating into the sea water under the sea ice.
Mean light intensity was recorded at 30-min intervals with a LiCor li-1000 data logger with a spherical underwater quantum sensor (SPQA, LiCor) at 5 m depth near the Nisi-no-ura sampling site.

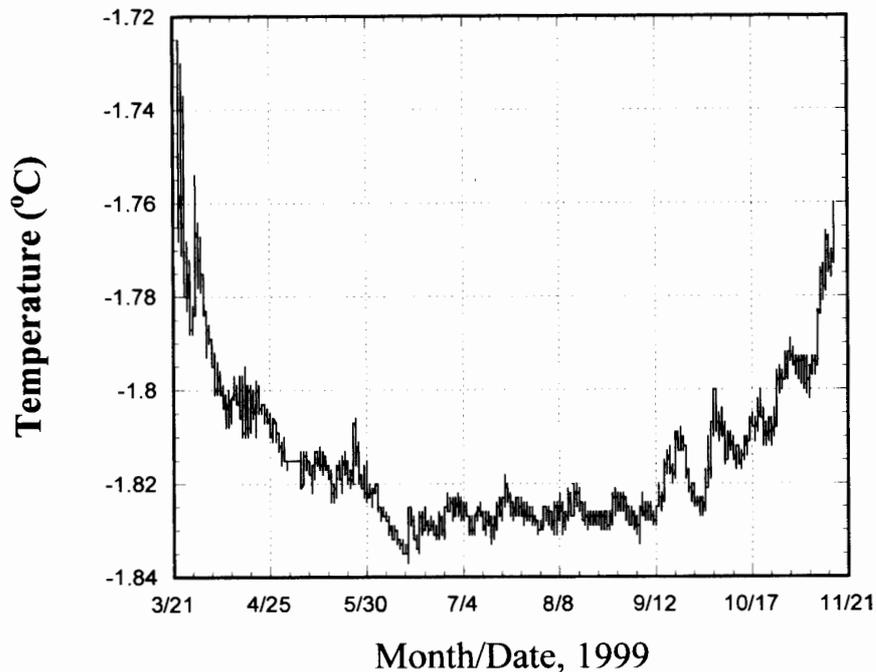


図3 海底付近（水深 15 m）の水温の季節変化
5 分間隔の記録を折れ線グラフで示した。横軸は時間軸で 7 日間隔で目盛りをふり、35 日間隔でラベルを表記してある。

Fig. 3. Water temperature near the Nisi-no-ura sampling site.
Water temperature at 15 m depth (just above the bottom) was recorded at 5-min intervals with a thermister data logger (NWT-SN, Nichiyu-Giken).

も十分であるため、日中には明るいオフィス内の照明程度の光 (1 m^2 , 1 秒あたり 10 マイクロモル光量子以上) が入り込んでいた。その後、極夜期に向け急速に暗くなり、5月中旬以降、7月上旬まではほとんど闇の世界になった。海氷面に到達する光は7月中旬より9月に向けて急増し、9月中旬には3月の光量よりもむしろ増大してきた。しかし、水中へ入射する光は、それまでに厚さを増した海氷に阻まれ、それほど増加せず、白夜期を迎えた観測終了時の11月上旬でも秋に観測された光の量の半分程度が水中へ到達するという状況であった。水深 15 m の水温にも、 0.1°C 以内の変動ではあるが、明瞭な季節変化が認められた (図 3)。1000 分の 1°C の記録分解能を持つデータロガー式水温計 (メーカーが検定した分析精度は 0.1°C) を用いて観測記録した結果、観測開始時に -1.73°C で、季節の進行とともに徐々に水温は下降し、6月中旬に -1.83°C の極小を記録、その後3カ月ほど $-1.82 \sim -1.83^\circ\text{C}$ を保った後、11月の観測終了時に向かって -1.76°C まで温度上昇が見られた。

3.2. ウニの採集状況

餌誘引によるウニの採集は、3月には北の瀬戸 (水深 25 m) で、4月以降は西の浦 (水深 10-20 m) で行った。越冬期間中毎月実施し、その回数は 22 回である。このほか北の浦及びラングホブデ雪鳥沢でも同様の採集を付加的に数度実施した (表 1)。これら採集具への誘引捕獲状況には明瞭な季節性が認められた。南極の春から秋 (10月から4月) には比較的捕獲されやすく、厳冬期 (5月から9月) にはほとんど捕獲されなくなったことである。特に7月中旬から10月中旬の3カ月間は5度の試みにもかかわらず、ウニは全く捕獲されなかった。ウニが厳冬期にこれらトラップに誘引捕獲されず、10-11月以降に捕獲され出すという特徴は過去の観測結果と同様で (星合, 1968, 1982)、この期間には餌に誘引されないような何らかの事態がウニに生じるらしいことを再確認したのである。

採集されたウニ体腔内の生殖巣の発達状態を目視観察したところ、秋から極夜前期に当たる2月から6月の試料には、いずれにも明確に体腔内を満たす大きな生殖巣が認められ (各採集での観察個体 1-15 個体)、4月上旬の試料ではその重量が殻を含む全湿重あたり、5-20% にも達していた (測定個体数、8 個体)。ウニが採集できなくなった晩冬-早春期を挟んで、10月下旬以降に採取された試料では、体腔内の生殖巣は痕跡程度にまで萎縮したものが半数以上を占めるようになっていた (総観察個体数約 30 個体)。ただし、採集されたウニの中には採集後、基地実験室への移送途中で放卵・放精をするものや、全湿重の 20% 程度の充実した生殖巣を持つ個体も数個体ずつ混在していた (これら充実した生殖巣の個体は後の観察のためブアン氏液で固定保存したほか、後述する飼育実験に使用)。

今回の採集方法でウニが全く採取されなかった期間の海洋環境は、先にも記述したとおり、極夜が終わり海底に光が入射し始め、水温が最低温度を記録した後、わずかながら上昇をし始めた頃から、弱くはあっても 24 時間光が到達し、水温が -1.80°C よりも高くなるまでの期間に

対応している (図 2, 3 及び表 1)。晩秋から極夜前期に採集されたウニ生殖巣は観察したすべての個体で比較的発達しており, ウニが再び採取され始めた 11 月上旬に生殖巣が萎縮している個体が存在したことから, 試料採取を実施した海域でウニが全く餌に誘引されなくなっていた期間にウニの産卵が開始されていたと考えられる。餌に誘引捕獲されない期間にウニの生殖巣が産卵に十分なほどまで成熟するとも推察されるが, 産卵直前の個体が 11 月以降にも採取されることから, 産卵直前の個体が全く餌に誘引されなくなるという性質を持つようになるわけではなさそうである。産卵や餌誘引性を発揮しない期間の水温, 光環境は産卵していない期間や餌誘引される期間に観測された範囲に重なるものであった。すなわち今回の研究では, 産卵や餌誘引性に関して, 光の有無や水温の高低は, 直接の関係がないことを示すものの, 季節的な日長の変化や水温変化がこれらの性質の変化をもたらした可能性はないともいえない。その因果関係の検証は今後の課題として残っているといえよう。

誘引捕獲されない 9 月上旬に水中カメラを採集具設置場所に垂下してみたところ, 海底には 1 m^2 あたり 50-60 個体のウニが分布していることが確認された。水中デジタルカメラで 10 分ごとに約 17 時間撮影記録を行い, ウニの分布状態を追跡した。個体識別ができた 46 個体中, わずか 5 個体がこの時間内に大きく移動したのみで, そのほかの個体はほとんど位置を変えることがなかった (図 4A, B)。明瞭な移動の見られた 5 個体に関しては, 移動は深夜から朝にみられ, 最大移動距離はウニ殻幅のおよそ 10 倍であった (殻幅はおよそ 20-40 mm 程度)。移動の

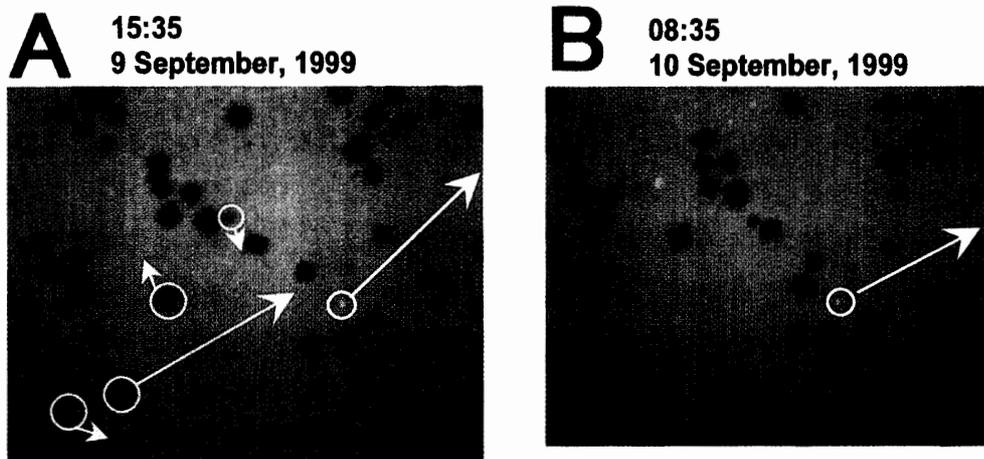


図 4 西の浦採集地点の海底でのウニの分布, 移動状況
9 月 9 日~10 日に実施した水中デジタルカメラ映像 (10 分間隔で撮影) で得られた 17 時間経過前後の映像例, 写真 A 中の黄色の丸と矢印は 17 時間後に顕著に移動した個体とそれらの移動方向, 写真 A, B 中の白丸と矢印は両写真で共通して確認できた石とトラップの設置方向

Fig. 4. Distribution of sea urchins at the Nisi-no-ura site.
Both photographs were taken with a submersible digital camera (DSL-1000, Little Reonald). Some urchins moved several tens of cm for 17 hours (yellow circles and arrows in A). The white circles in A and B indicate the same stone. White arrows in A and B show the direction of a bait trap.

方向は一定しておらず、餌籠設置位置とは無関係であった。このことは餌に誘引されない期間中のウニは活発に移動しているとは言い難いが、全く動きを停止しているものでもない、ということを示している。

11月に入って盛んに捕獲されだしたウニの中には、捕獲してから基地実験室に運び込む途中で放卵・放精する個体がしばしば観察された。この晩春期に取れだした個体が卵や精子を放出することも、星合(1982)の観察と符合する結果であり、本種が昭和基地沿岸では晩春の11月頃には産卵を開始し、これに引き続いて卵の初期発生が行われているものと予想させる現象であった。ただし割合は少ないものの、11月から12月の間に捕獲された個体の中には発達した生殖巣を持つものが混在していること、餌に誘引され始める直後には産卵を終了させた個体が存在すること、誘引されない期間に関しては今回の研究では産卵の有無を確認できないことを総合すると、ウニの産卵が晩春から夏のある限られた短期間に一斉に起こるとは考えにくく、全く採集されなくなった晩冬を含めた該当期間内に比較的長期にわたって産卵が行われているのではないかと思われた(参照 Pearse and Giese, 1966)。

3.3. 放卵・放精の誘発と初期発生実験

4月上旬に捕獲した個体で、予備的にKCl法(0.5MKClをウニ口器の除去後に注入する方法)を用いて放卵・放精の誘発を試みたところ、卵・精子ともに放出が見られ、さらに、それらを混合することで受精させ、受精膜の形成をみる事ができた。これはすなわち、ウニは晩秋までにはKCl法で放卵・放精が誘発できるほど生殖巣が発達していたことを意味する。ただし、このときには受精膜形成は認めえたが、およそ15°Cの実験室で顕微鏡による連続観察していたためか、卵割までを観察することができなかった。

11月に採集した試料を用い、飼育環境温度を-1.5°C前後、1°C、5°Cの3段階に設定した培養庫内で、再度発生実験を試みた。ウニは基地実験室内への移送途中で放卵・放精がないことを確認しながら運び、1個体ずつ隔離して培養庫内の濾過海水中で保存した。

秋の実験と同様にKCl法を用いて放卵・放精を誘発した。卵はおよそ直径0.17mmの球体でオレンジ色を呈し(図5左)、容器底に速やかに沈殿し(沈降卵)、精子は濾過海水を白濁させながら放出された(図5右)。

放卵・放精を終えた個体を取り除き、ピペットにてそれぞれ卵・精子の入ったごく少量の海水をとり、濾過海水を満たしたビーカー内で混合し、受精させた(媒精)。受精状況の顕微鏡観察のため顕微鏡下でも卵・精子を混合し受精させた。それぞれの温度に設定した培養庫内で、これら受精卵を静置して、適宜ピペットを用いて採取し、観察に用いた。

ウニ卵は媒精後およそ5分で受精膜の形成がはじまり、1時間以内にはほぼすべての卵で受精膜が認められるようになった。受精膜形成以後、5°Cに設定した培養温度では卵割が不規則に生じ、不均一な大きさの細胞が複数個生じ、およそ24時間後にはそれも停止してしまった

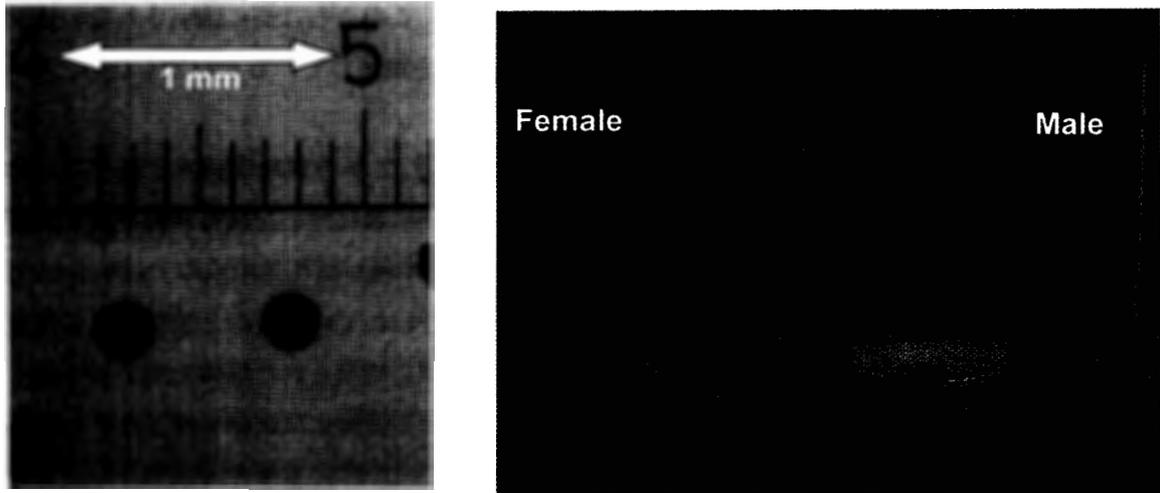


図5 ウニ卵のサイズと放卵・放精の誘発実験

Fig. 5. Egg size (left) and experimental induction of spawning (right) of *S. neumayeri*.

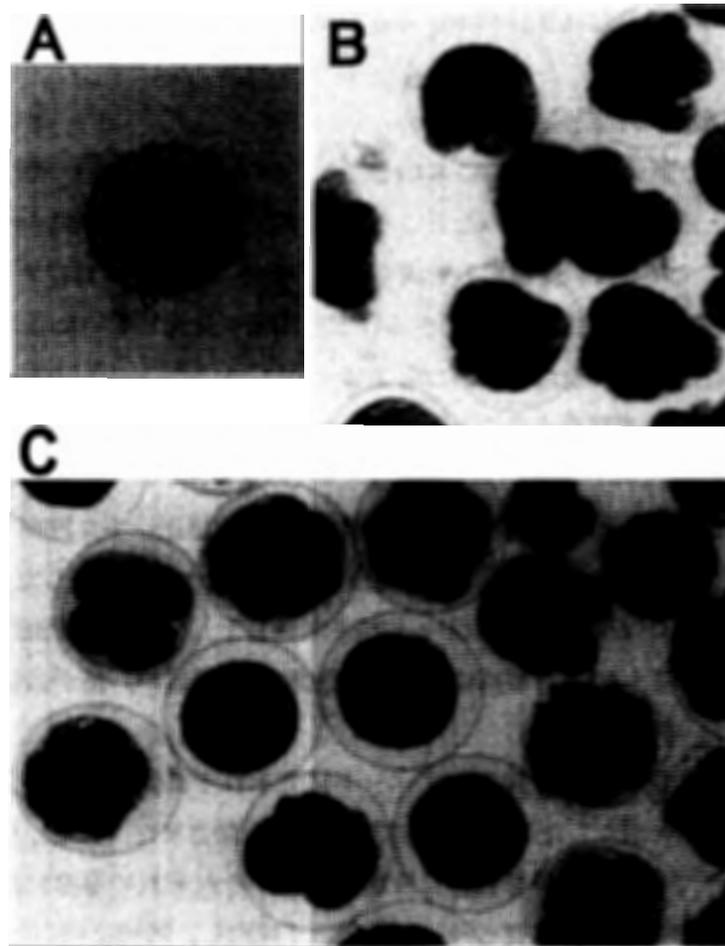


図6 5°C および 1°C での受精卵の初期発生

Fig. 6. Fertilized eggs developments incubated at 5°C (A and B) and 1°C (C).

A: 30-min after insemination, B: 24 hours after insemination, C: 1 week after insemination.

(図 6A, B). 1°C で受精・培養したものにも、卵割が不規則になっているものも認められたが、一部の卵は 1 週間ほど発生を続け、初期囊胚期まで発生が進んだものも認められた (図 6C). ただしその後、この胚は発生を停止し、それ以降の発生段階に至らなかった。これらに比べ濾過海水の結氷温度付近 -1.5°C に設定したものでは、ほとんどすべての受精卵で卵割がきわめて同調的に進行し、初期胚も本実験終了時まで、4 週間にわたり、生育し続けた。

3.4. 結氷温度付近での初期発生

設定温度 -1.5°C の低温で、媒精後およそ 1 時間以内に観察したほとんどすべての卵で受精膜が形成された。受精膜形成から 20 時間以内にすべての受精卵に第一卵割が生じ、22 時間で第二卵割、24 時間目には第三卵割が起こった (図 7)。その後も卵割は順調に続き、受精から 2 日後には 32~64 分割の桑実胚に、3 日後には初期胞胚にまで発生が進んだ (図 8)。受精後 5 日目になると胞胚は卵膜の中で回転運動を始め、6 日目には卵膜を破り (孵化)、遊泳運動を行う遊泳胞胚にまで発生が進んだ (図 8)。植物極側の細胞が次第に厚さを増し、一次間充織細胞が割腔内に入り込むのにおよそ 10 日目、その後陥入が生じ始め初期囊胚に達するのに更に 1 日の、都合 11 日が経過した (図 9)。

囊胚の原腸陥入はきわめてゆっくりと進行し、原腸の先に 2 次間充織細胞が生じたのは受精から 15 日後以降であった。こうした後期囊胚期を経て、およそ 18-20 日でプリズム型幼生まで発生が進行した (図 10)。この後、更に無給餌状態で 10 日間ほど飼育を続けたが、胚は遊泳運動を続けて生きてはいたものの、初期プルテウス幼生までには至らなかった。ただし、発生が停止した段階でのプリズム幼生には明確な口器の形成がなされているようには見えず、植物プランクトンなどを給餌しなかったことが直接に以降の発生停止につながったものではないように思われた。

我が国沿岸のバフンウニなどは 15°C の飼育温度で受精後 9 時間経過すると桑実胚、14 時間ほどで初期胞胚、18 時間で胞胚、1 日程度で胞胚は孵化し、遊泳胞胚となり、囊胚に達するのに 2 日程度、プリズム型幼生になるのに 3 日程度であるのに対し (石川・野口, 1988)、本種ではプリズム幼生まで発生が進行するのにおよそ 6 倍の時間を要した。アメリカ・マクマード基地やイギリス・シグニー島基地における本種の初期発生観察でも、胞胚が卵膜を破り自由遊泳を開始するまでに結氷温度付近の水温で 5-6 日を要したとの報告がある (Bosch *et al.*, 1987; Stanwell-Smith and Peck, 1998)。今回得られた結果はこれらの結果とも一致し、きわめてゆっくりとした発生速度は、南極沿岸に周極分布している *S. neumayeri* に共通して認められるものと考えられる。今回の研究では飼育温度が 1°C 以上の場合、発生の異常が顕著に認められた。Stanwell-Smith and Peck (1998) によると、飼育温度が 1°C 以下では卵や胚の生育には支障は生じないが、それ以上になると死亡する割合が温度に比例して増加するという。本研究の結果は 3 段階の設定温度下でのみ得られているが、彼らの結果を支持するものであり、本種の卵の

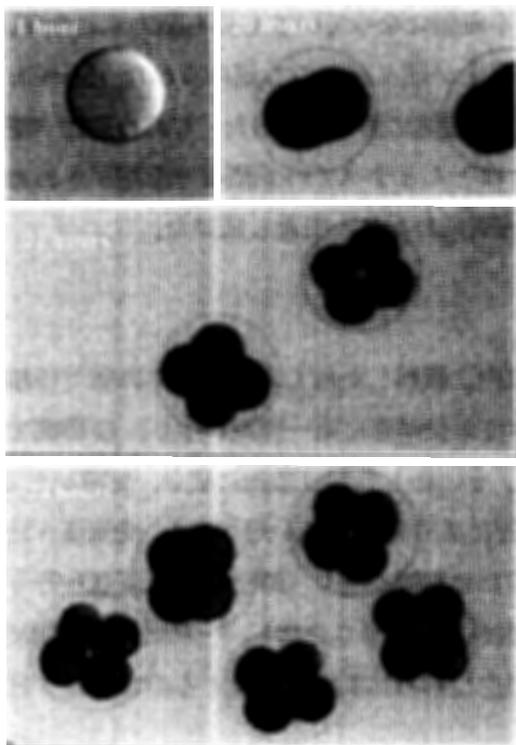


図 7

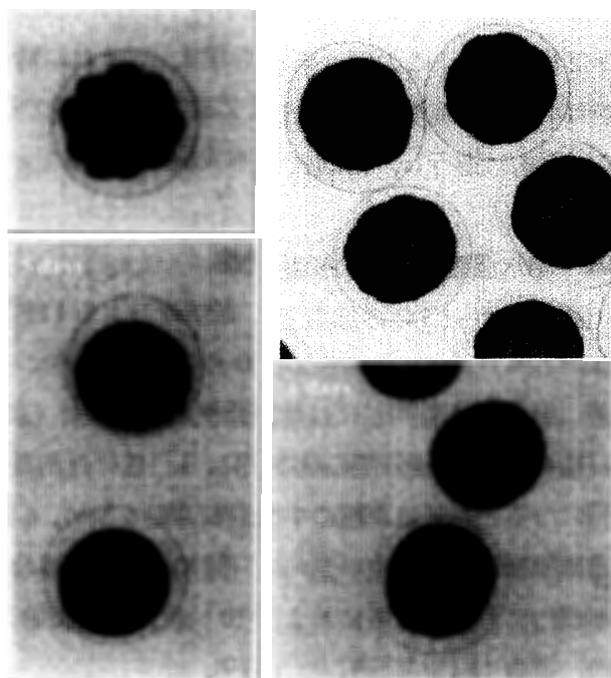


図 8

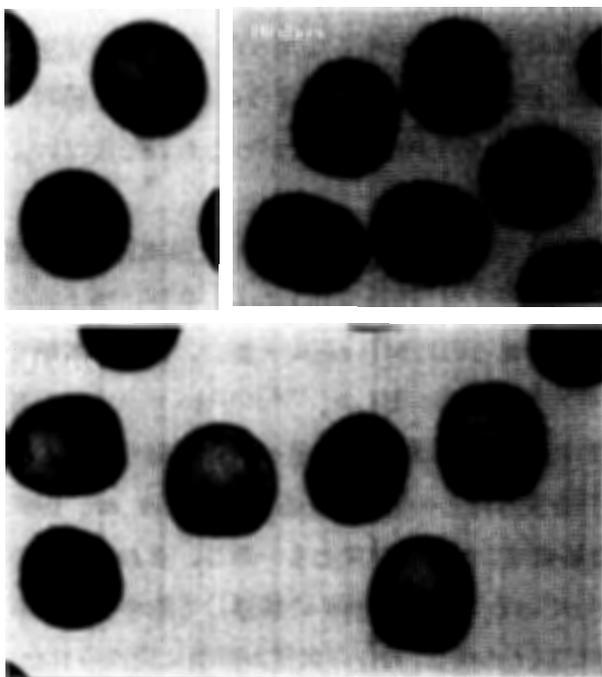


図 9

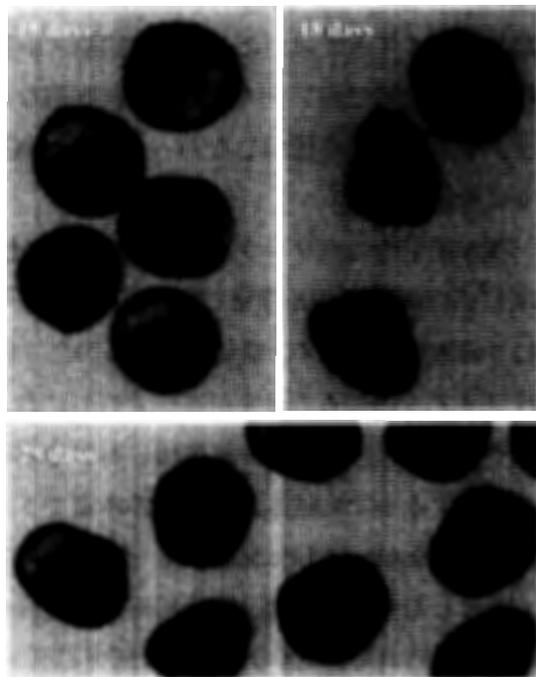


図 10

発生は結氷温度から 1°C 前後の狭い範囲内でのみ、正常に進行することを物語っている。

4. ま と め

南極沿岸域に周極的に分布するウニ *S. neumayeri* において周年、餌誘引による同一の方法で採取を試み、これまでの昭和基地沖での研究結果同様、厳冬期から早春期に餌に誘引捕獲されなくなる現象があることを確認した。この時期には餌に誘引はされないものの、ウニは採集具周辺に高密度に分布しており、1割程度の個体はわずかながら夜間から早朝にかけて分布位置を変えていることが確認された。晩春期に再度誘引捕獲されるウニには産卵直後のものが混在する。採取した産卵直前の個体を用いて受精と初期胚の飼育を行った。受精とその後の初期胚の発生様式と形態は日本の沿岸に分布するウニ類と大きくは異ならないものの、順調に発生が進行するための温度範囲はきわめて狭い海水結氷温度 \sim 1°C以下の範囲であった。また、その発生の進行速度はきわめてゆっくりとしたものであった。餌に誘引捕獲されない期間に、本種は産卵を開始し始めていたと考えられたが、誘引捕獲されないことと産卵との因果関係、または海洋環境と餌誘引および産卵との直接の因果関係を明らかにすることはできなかった。今後の研究課題である。

図 7 水温 -1.5°C 前後でのウニ受精卵の初期発生 (受精膜形成と卵割)

写真中の数字は媒精後の経過時間を示す。

Fig. 7. Fertilization membrane formation (1 hour), vertical (20 hours), meridional (22 hours) and latitudinal (24 hours) cleavage under -1.5°C . Letters in parentheses indicate the incubation period after insemination.

図 8 桑実胚、初期胞胚と遊泳胞胚

写真中の数字は媒精後の経過時間を示す。

Fig. 8. Morula (2 days), early blastula (3 days), ciliated blastula (5 days) and swimming blastula (6 days). Letters in parentheses indicate the incubation period after insemination.

図 9 後期胞胚と初期囊胚

写真中の数字は媒精後の経過時間。受精後 8 日目で植物極側が肥厚し、10 日目には一次間充細胞が割腔内に分離し、入ってきている。11 日目には原腸陥入がほとんどすべての胚で認められた。

Fig. 9. Late blastula and early gastrula stages. Letters on the plates indicate the incubation period after insemination. The cell layer at the vegetal pole gained its thickness (8 days), primary mesenchyme cells appeared in the blastocoel (10 days), and then invagination occurred (11 days).

図 10 中期囊胚と初期プリズム幼生

写真中の数字は媒精後の経過時間。

Fig. 10. Middle gastrula (15 days) and early prism larva (18 and 29 days). Letters on the plates indicate the incubation period after insemination. The prism larva could not metamorphose to a later stage for over 10 days in our experiment (but was still alive).

謝 辞

本稿は JARE-40 において生物・医学部門が実施した観測結果の一部をまとめたものである。観測には、JARE-40 の隊員諸氏の多大な協力を得た。特に野外における機器設置/回収及び試料採集はこれらの方々の助力なしには完結させることができなかつたであろう。また、本稿をまとめるにあたり、星合孝男極地研究所名誉教授には適切で有益なご助言を多数いただいた。さらに、懇切丁寧にご査読いただいた 2 名の校閲者の的確なご指摘により、本稿をより正確で明瞭な記述に改めることができた。ここに記して感謝する。

文 献

- Arnaud, P.M. (1977): Adaptations within the Antarctic marine benthic ecosystem. Adaptations within Antarctic Ecosystems, ed. by G.A. Lland. Washington, D.C., Smithsonian Inst., 135-157.
- Bosch, I., Beauchamp, K.A., Elizabeth Steel, M. and Pearse, J.S. (1987): Development, metamorphosis, and seasonal abundance of embryos and larvae of the Antarctic sea urchin *Sterechinus neumayeri*. Biol. Bull., **173**, 126-135.
- Brey, T. and Gutt, J. (1991): The genus *Sterechinus* (Echinodermata: Echinoidea) on the Weddell Sea shelf and slope (Antarctica): distribution, abundance and biomass. Polar Biol., **11**, 227-237.
- Hamada, E., Numanami, H., Naito, Y. and Taniguchi, A. (1986): Observation of the marine benthic organisms at Syowa Station in Antarctica using a remotely operated vehicle. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **40**, 289-298.
- 星合孝男 (1968): 南極昭和基地の海水下の底生生物. 自然科学と博物館, **35**, 95-100.
- 星合孝男 (1982): 2.3.3 底生生物と魚類. 南極の科学 7 生物, 国立極地研究所編. 東京, 古今書院, 114-129.
- 石川 優・野口政止 (1988): 第 11 章 棘皮動物 (4) ウニ. 現代発生学シリーズ, 海産無脊椎動物の発生, 団 勝磨監修. 東京, 培風館, 122-143.
- Nakajima, Y., Watanabe, K. and Naito, Y. (1984): Diving observations of the marine benthos at Syowa Station, Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **23**, 44-54.
- 沼波秀樹 (1998): 南極海の底生生物群集 (Antarctic marine benthos community). 海洋と生物, **116**, 174-179.
- Pearse, J.S. and Giese, C. (1966): Food, reproduction and organic constitution of the common Antarctic echinoid *Sterechinus neumayeri* (Meissner). Biol. Bull., **130**, 387-401.
- Stanwell-Smith, D. and Peck, L.S. (1998): Temperature and embryonic development in relation to spawning and field occurrence of larvae of three Antarctic Echinoderms. Biol. Bull., **194**, 44-52.
- 渡辺研太郎・中嶋 泰・内藤靖彦 (1982): 東オングル島沿岸での氷下潜水調査報告. 南極資料, **75**, 75-92.

(2001 年 1 月 25 日受付; 2001 年 4 月 4 日改訂稿受理)