

9529 腔腸動物、鉢水母類の生活環ならびに行動に及ぼす塩分の効果

助成研究者：柿沼 好子（鹿児島大学 理学部）

共同研究者：三宅 裕志（東京大学）

鉢水母類の生活環は自然環境下で1年間1サイクルと考えられている。この生活サイクルは、雌雄成体水母の有性生殖による卵発生から幼生に至るまでのプランクトン生活と幼生の着生、ポリプへの変態、及び無性生殖によるポリプのコロニー形成を行う着生生活、いわばクラゲとポリプの世代交代を行うサイクルである。

本研究は、塩分濃度10‰、20‰、30‰、40‰の環境海水中での水母の生活行動とそれに伴うクラゲの物質の出入力としてアンモニア態窒素量、無機態リン酸量、溶存酸素量、pHなどの時間的変動を調べ、一方、着生生活のポリプでは、コロニー形成過程について影響を調べた。

実験に用いたクラゲは鹿児島県谷山の谷山長水路より採取した。実験には直径20センチの円柱型水槽（3リットル）を8個用意し、塩濃度10‰、20‰、30‰、40‰の海水を2.5リットルずつ入れたものをそれぞれ2個ずつ計8個用意した。この2個のうち一方に水母を1個体入れ、もう一方をコントロールとし、0、1、2、3、6、12、24時間目のパルス数、水温、溶存酸素、pHを測定し、アンモニア、磷酸測定のための海水100mlを採水した。採水した試水は後の測定のため、Whatmann Glassfiber Filterで吸引濾過後、すぐに冷凍保存した。アンモニア、磷酸の測定はPersons et al.の方法を用いて測定した。これを数回繰り返し実験した。一方、ポリプは1個体の母ポリプ由来する子ポリプを1個体ずつ、それぞれ塩濃度10‰、20‰、30‰、40‰、正常濃度の海水を満たしたシャーレの中央に移植した。ポリプには1日1回アルテミアを飽食するまで投与して飼育し、ポリプの無性生殖法を実体顕微鏡下で観察し、ポリプの配置図を連日作成した。

その結果、水母は正常海水に比べ異なる塩濃度中ではアンモニアとリン酸排出量が抑えられ、溶存酸素量は20‰で消費量が少なく、40‰では増加した。なお、pHはこれらに平行して変動した。水母の生活行動を水母の拍動数として調べた結果、20‰、40‰で行動が抑えられ、正常海水に比べ生活行動は低下した。このことは自然界への物質循環の機能が遅れ、食物連鎖系への還元が抑制されることとなる。一方、ポリプのコロニー形成に関しては、10‰でポリプ数の増加は見られず、20‰で最もポリプ数が増加し、30‰では最も生息面積を拡大した。40‰ではポリプ数、コロニー面積ともに著しく抑えられ、しかも無性生殖法が大きく変化した。しかし40‰で生活環プロセスの抑制されたコロニーを再び正常海水に戻すと、数日後ポリプ数は正常値の約2倍の増加を示し、環境海水中の塩濃度変化は鉢水母の生活環の促進効果として示唆された。

9529 腔腸動物、鉢水母類の生活環ならびに行動に及ぼす塩分の効果

助成研究者：柿沼 好子 (鹿児島大学・理学部)

共同研究者：三宅 裕志 (東京大学)

序論

鉢水母類の生活環は自然環境下で1年間1サイクルと考えられている。この生活サイクルは、雌雄成体水母の有性生殖による卵発生から幼生に至るまでのプランクトン生活と幼生の着生、ポリプへの変態、及び無性生殖によるポリプのコロニー形成を行う着生生活、いわばクラゲとポリプの世代交代を行うサイクルである(図1)。

本研究は、塩分濃度10‰、20‰、30‰、40‰の環境海水中での水母の生活行動とそれに伴うクラゲの物質の入出力としてアンモニア態窒素量、無機態リン酸量、溶存酸素量、pHなどの時間的変動、並びにポリプではコロニーの形成過程について影響を調べ、鉢水母類、ミズクラゲの異なる塩分環境下における生活サイクルの促進及び抑制効果について検討した。

材料と方法

実験に用いたミズクラゲは実験前日に鹿児島県谷山の谷山長水路より採取した。採取する際には、水母の外傷を防ぐためボウルを用いて海水ごと水母を採取し、海水を満たした15リットルバケツにゆっくりと移し、実験室に持ち帰り静置した。なお、水母が正常状態を保てるように1つのバケツには水母を5匹以上入れるのは避けた。

実験には直径20センチの円柱型水槽(3リットル)を8個用意し、塩濃度10‰、20‰、30‰、40‰の海水を2.5リットルずつ、それぞれ2個ずつ計8個準備した。この2個のうち一方に水母を1個体入れ、もう一方を海水のみのコントロールとした。

実験を初める8時間前に、採取してきたバケツ内の水母の正常状態のパルス数を測定した後、水母の傘径、湿重量、水管系分岐数を測定し、その後、水母を実験する塩濃度に馴化させるために、実験に用いる塩濃度の海水を満たした予備水槽に水母を移した。このとき5分後にそれぞれの異なる塩分海水中に移した水母への影響の指標としてパルス数を測定した。実験開始直前には、それぞれの塩濃度の水母の正常状態の行動(コントロール)としてパルス数を測定し、その後すぐに水母を実験水槽に移した。この時点をも0時間として以降、1、2、3、6、12、24時間目にパルス数、水温、溶存酸素(Model 55/25 FT, YSI Incorporated)、pH(pH METER F-8L, HORIBA INC.)を測定し、アンモニア、リン酸測定のための海水100mlを採水した。採水した試水は後の測定のため、Whatmann Glassfiber Filterで吸引濾過後、すぐに冷凍保存した。実験終了時には、再び水母の傘径、湿重量、水管系分岐数を測定した。アンモニア、リン酸の測定はParsons et al. (1984)の方法を用いて測定した。

一方、ポリプは1個体の母ポリプに由来する子ポリプを1個体ずつ、それぞれ塩濃度10‰、20‰、30‰、40‰、正常濃度の海水を満たしたシャーレの中央に移植した。ポリプには1日1回アルテミア幼生を飽食するまで投与して飼育し、ポリプの無性生殖法を実体顕微鏡下で観察し、ポリプの配置図を連日作成し、コロニー形成過程を追跡した。

観察結果および考察

I 水母の行動と環境海水の変化（図2参照）

実験を初める最低8時間前に、水母を実験する塩濃度に馴化させる為に採取してきた水母の正常状態のパルス数を測定した後、各塩濃度（10‰、20‰、30‰、40‰）の海水を満たした予備水槽に水母を移した。この異なる塩濃度に水母を移した後、5分後にその移した影響の指標としてパルス数を測定した結果、10‰では水母を導入した直後から、海水の比重に比べて水母体の比重の方が重いため、水母は傘を下に向け、仰向けの状態で水槽のそこまで沈み、パルスが微弱になり痙攣状態のパルスとなり、正常状態でのパルスは平均して約20回（/30秒）あったにも関わらず、約5分後には全くパルスは無くなり死亡してしまった。20‰では10‰と同様に、水母は傘を下に向け、仰向けの状態で水槽のそこまで沈み、水母を導入した直後からパルスが微弱になり痙攣状態のパルスとなったが、死亡せずに徐々に適応し、正常状態で約21回あったパルスは5分ごとには痙攣状態の微弱なパルスが4回となり、実験開始時には正常状態の力強いパルスを10回行うまでにすでに適応した。30‰では通常の海水とほとんど変わらないため、水母は実験水槽導入後も正常状態とほぼ変わらない力強いパルスを約21回を保ち、遊泳層も表層から底層まで正常状態と変わらず自由に遊泳していた。40‰では、海水の比重よりも水母の比重の方が軽いため、水母は傘を上に向けた状態で痙攣状態の微弱なパルスをおこない、正常状態で約21回あったパルスは5分後には痙攣状態の微弱なパルスが約10回となり、実験開始時には正常状態の力強いパルスを10回行うまでにすでに適応した。

次に各塩濃度（20‰、30‰、40‰）の海水を満たした実験水槽中に水母を入れ、0～24時間の時間経過中の遊泳行動を観察した。観察は水母の定位、方向性、水位との関係について行い、行動のActivityはパルス数を指標とした。また、海水中の水母の生活活動による水母の物質代謝として酸素消費量、水質変化の総合的な指標としてpH、海洋における水母の物質循環における位置、役割を想定して、アンモニア、リン酸の変動について調べた。

これらの結果、塩濃度30‰を鹿児島湾の自然海水のほぼ正常値として、これの低濃度10‰、20‰と高濃度40‰を比較すると、図2で示した様に、水母の行動は、パルス数は20‰、40‰共に低下し、しかし、水中での行動域は20‰で傘を下に向けて底層のみ、40‰で傘を上に向けて表層のみ定位した。30‰では、水槽中を上下行動を繰り返した。これを溶存酸素消費量で見ると、20‰と30‰で徐々に低下し、40‰では12時間後急激に低下した。同様にpHも平行して低下した。アンモニアで

は30‰の値に比較して、20‰でやや低下、しかし、40‰では実験当初1～6時間で多少の変動が見られたが、著しい変動は見られなかった。リン酸では、実験6時間以内に著しい放出が見られたが、20‰ではほとんど放出せず、40‰では30‰よりやや放出量が抑制された。

以上の事実から30‰を正常海水の数値としての対照とすれば、水母の生活活動は高低濃度の双方で活動が抑制されたこととなる。

実験終了後の水母の直径は20‰では実験前に比べて約1.05倍になり、湿重量は1.12倍となり、増加した。一方、30‰、40‰では逆にこれらは減少し、30‰では直径は0.91倍、湿重量は0.85倍、40‰では直径は0.88倍、湿重量は0.7倍となった。

II ポリプのコロニー形成（図3、4、5参照）

無性生殖によるポリプの個体の増加とこれに伴うコロニー面積の拡大と拡散速度について観察した。

9 cm ペトリ皿の中央にポリプ1個体を移植し、各塩濃度10‰、20‰、30‰、40‰の環境海水中でのコロニー形成とその過程について調べた結果、正常海水では、10日目に母ポリプからポリプが出芽し始め、20日間で20個体に増加、この時のコロニー面積はポリプの増加と共に同心円的にポリプが拡散し、コロニーを拡大させる。母ポリプからの最大距離は約7 mmに達した（図3）。しかし、10‰では移植した母ポリプから子ポリプの出芽形成は見られず、したがってコロニーは形成されなかった。20‰では、正常海水より早く、8日目に子ポリプが出芽し、計38個体の子ポリプが形成された。コロニー面積は徐々に同心円的に拡大し、母ポリプを中心として半径距離は9.3 mmに達した。30‰では、子ポリプの出芽は20‰より早く6日目に始まり、計23個体になった。コロニー面積は、半径9.8 mmに達した。40‰では子ポリプは14日目に出現し始め、11個体に達し、コロニー面積は半径4.6 mmに達した。これらの結果から、母ポリプから子ポリプの出芽形成率は20‰で最も高く、コロニー面積では30‰で最も大きく、拡散速度も20～30‰が高い傾向を示した。このように異なる塩濃度はポリプの増殖およびコロニー形成における拡散速度および拡大範囲に明らかな相違が認められた。なお、40‰中の母ポリプでは正常海水での無性生殖時期に再び正常海水に戻すと、その後5日間からポリプの出芽が見られ、急速にポリプを増加し、約1カ月で通常のポリプ数の約2倍の増殖を行い、高塩濃度による抑制されたポリプの増殖は、高塩濃度から解除されることにより、無性生殖を急速に増大させる効果のあることを示唆した（図4）。いずれにせよ、ポリプのコロニー形成における群体の成長は一般に知られるS字型曲線をいずれの塩濃度でも示し、20‰～40‰の塩濃度内では徐々にポリプは順化適応する傾向を示した。この事実は正常海水に見られるそれと比較した低、高濃度中でポリプは正の刺激効果として、生活環の促進と正のフィードバック機構のあることが考えられた。また、コロニー形成中の母ポリプからの分散した子ポリプの分布状態ではその密度は20‰で3.97を示し、30‰で2.36、40‰で0.52であり、正常海水の0.47に比較するといずれも高い

密度を示した（図5）。さらに、形成されたコロニー内におけるポリプの分布とその密度は、正常海水ではほぼ均等に出芽、分散していくのに対し、20、30、40‰とともに、出芽後のポリプの移動に連日変化が起こり、これは密度の明らかな変動として観察された。3 mm²に3個体のポリプの存在を密度1とすると、密度の高い時期は出芽数の高いことと移動の少ないことを示している（図5）。これを拡大してポリプの分布様式を調べると、全て集中分布を示し、正常海水に比較して20‰で分布が広く、集団内では機会分布をしめした。さらに30‰で拡大し、集団内は一様分布、40‰ではコロニーはやや縮小状態で、集団内は一様分布を示した（図6）。

また、さらに、ポリプが一生涯の一時期に、外的環境の低張海水や高張海水に適応していく過程で変化するポリプの生理的な内的環境変化がポリプ増殖の量や繁殖モードを変えていく恒常性の保ちかたには極めて柔軟性に富んだ適応能力があるものと考えられる。

通常見られる無性生殖では母ポリプの走根出芽から子ポリプの形成が全体の約90%であるが、高塩の40‰では母ポリプの柱体部から直接的に子ポリプを形成する方法に大きく変化し、全体の約70%に達した（図7）。

このポリプ群体の生存維持機構には、環境塩濃度に対応して極めて柔軟性に富んだ適応能力のあることが示唆された。塩濃度によるポリプの刺激は、外的環境として個体群に対し生態学的変化をもたらし、一方、個体の内部環境として生理的な変動を与え、生殖モードを変化させ、個体群維持機構にも影響を及ぼし、生体に質的変動をもたらしたことになる。

このように、ミズクラゲは、沿岸の河川の流入や降雨などによる著しい塩濃度の低下、また海洋の物理的作用による塩濃度の回復など、常に一定の塩分でなく、濃淡のある連続的な塩分環境刺激の中で、生活環を促進、抑制されながら完了し、有効な生態学的地位を保ち、物質循環の側面に効果をもたらしていると考えられる。

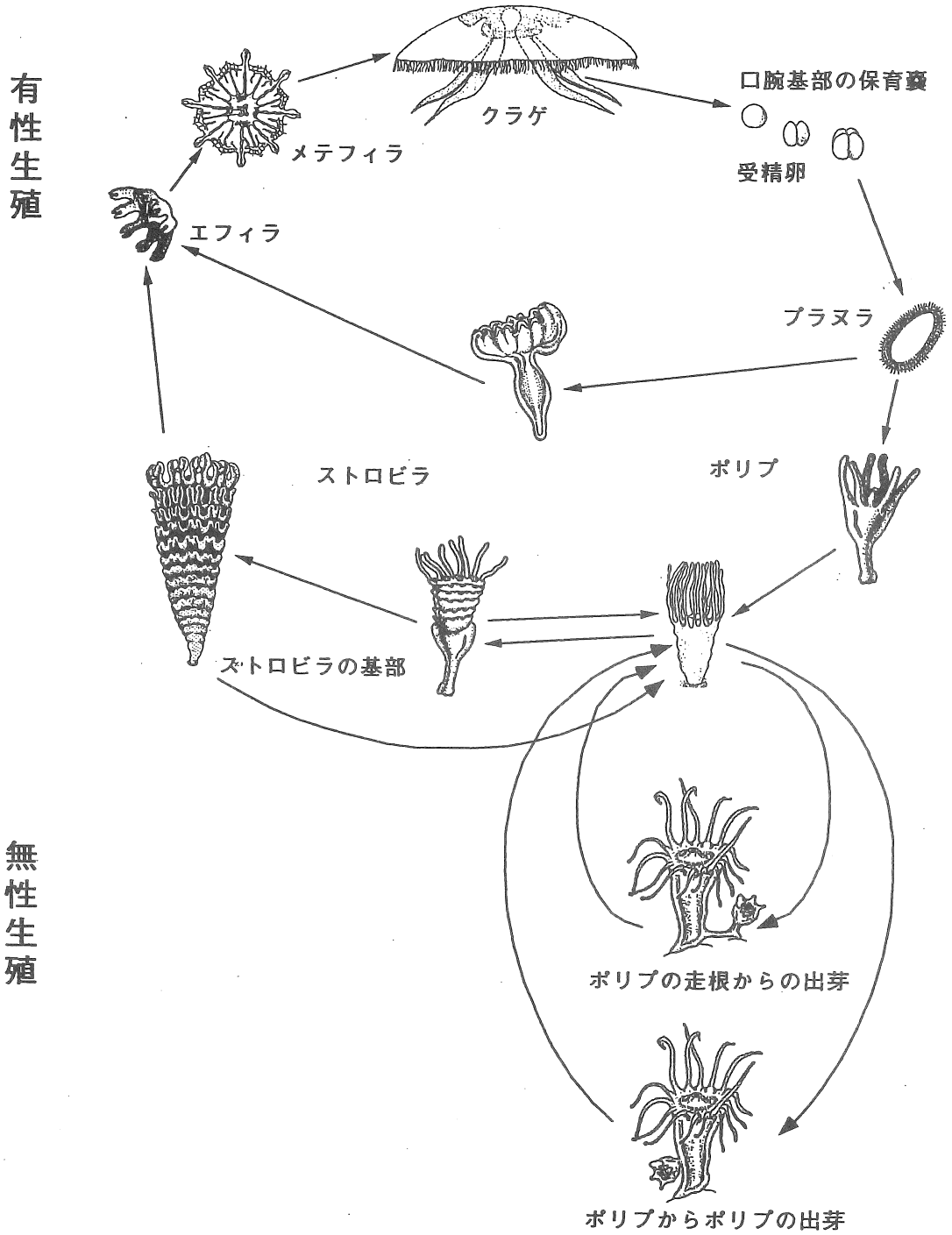


図1 ミズクラゲ *Aurelia aurita* の生活環

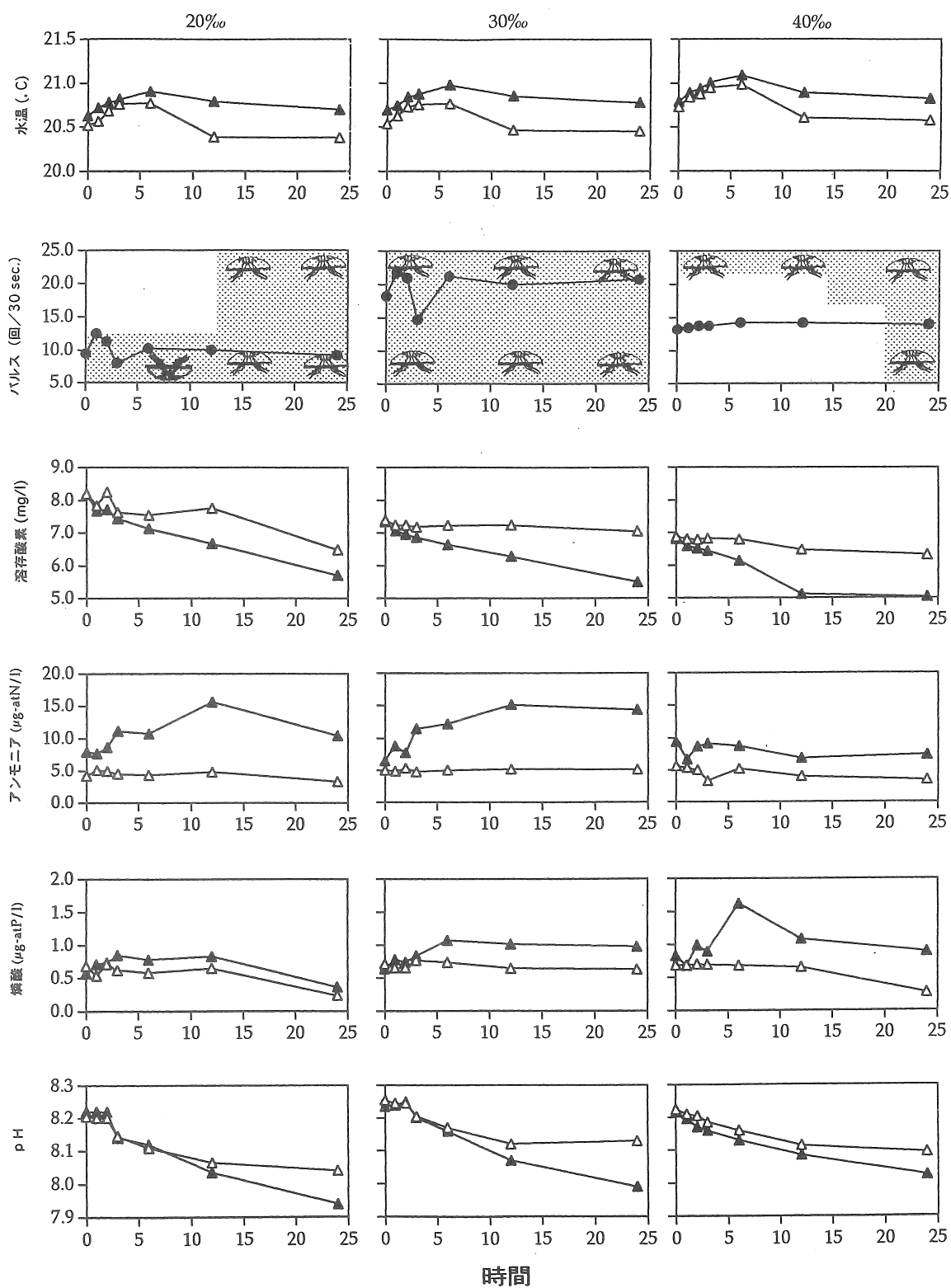


図2 水母の活動と水質の変動

—△— コントロール
—▲— 実験水槽

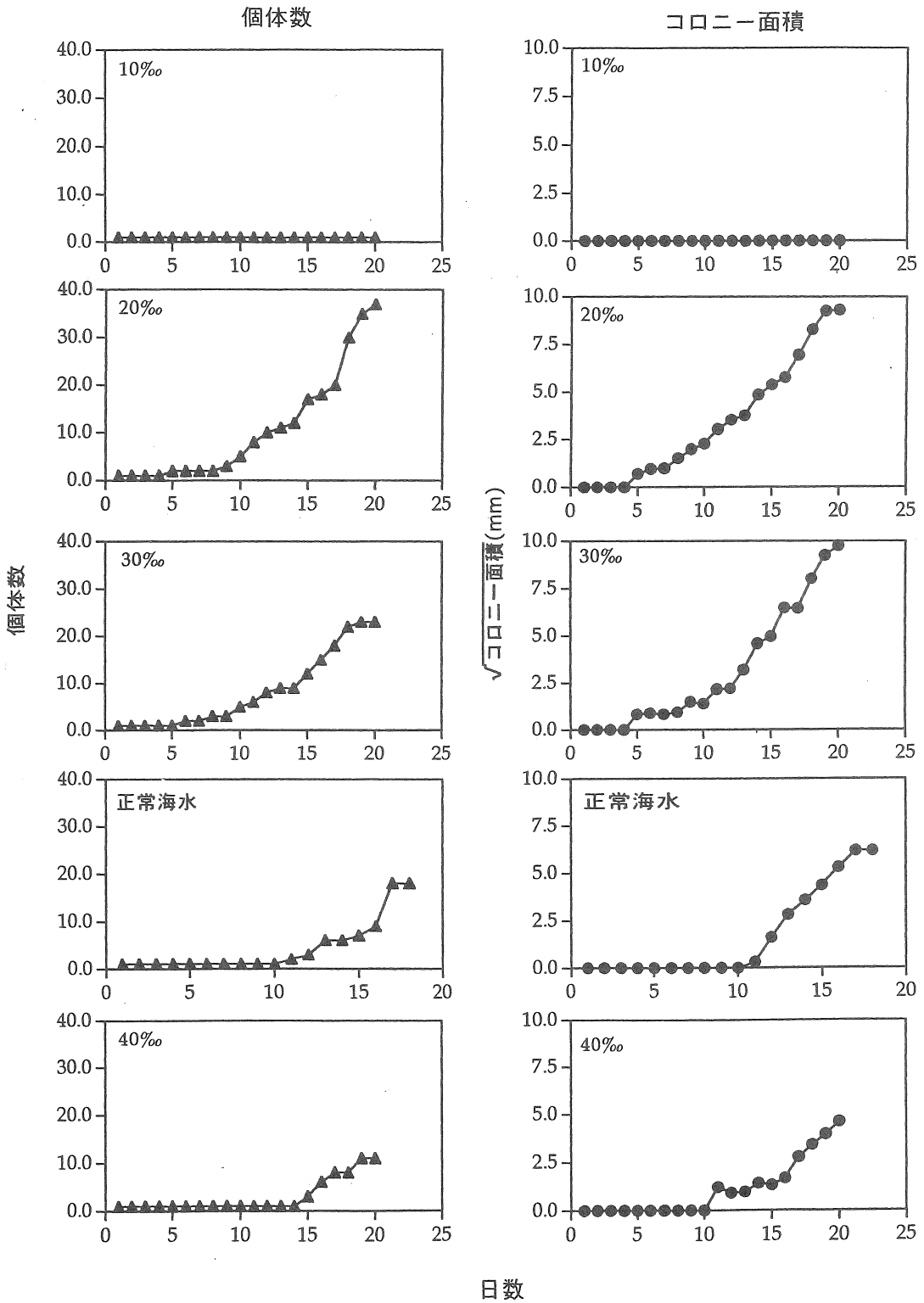


図3 ポリプのコロニー形成

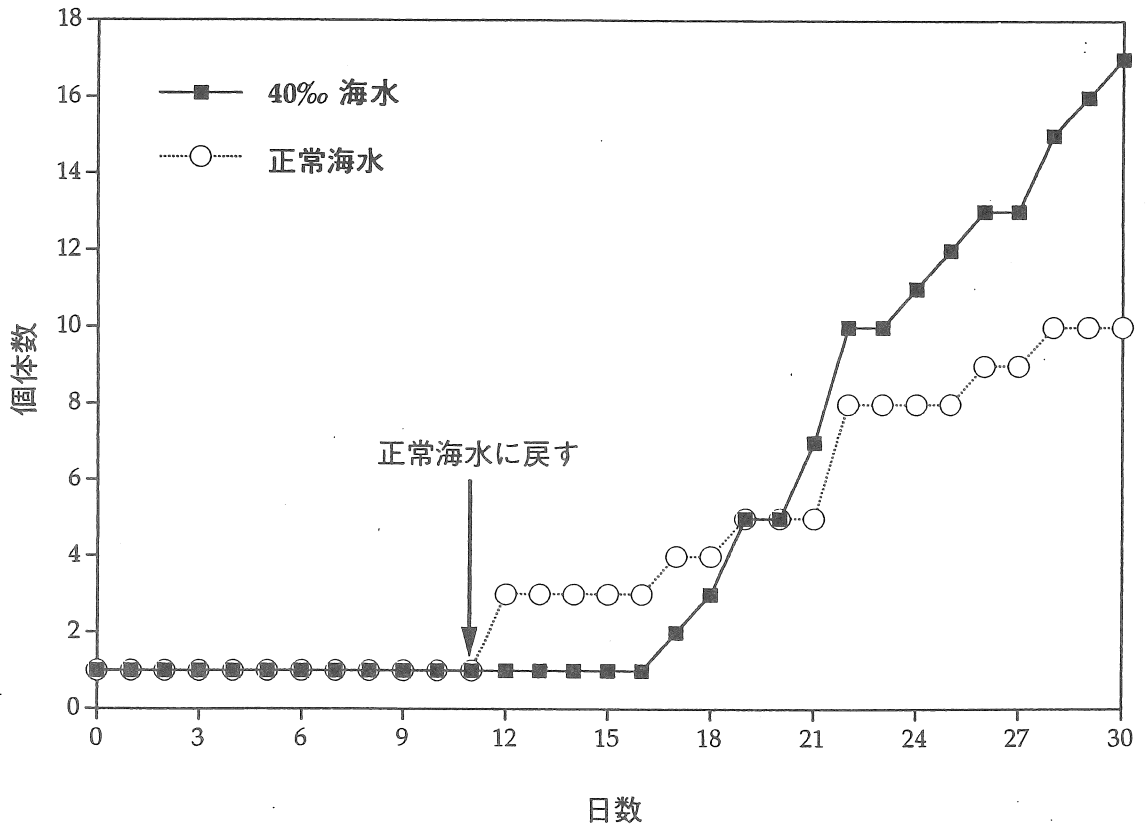


図4 高塩刺激によるポリプの増殖効果

The effect of different salinity on the life cycle of *Aurelia aurita*

Yoshiko Kakinuma¹⁾ and Hiroshi Miyake²⁾

1) Dept. of Biol., Fac. of Sci., Kagoshima Univ., Kagoshima

2) Ocean Res. Inst., Univ. of Tokyo, Tokyo

In this research the behavior of a Scyphozoa, *Aurelia aurita*, were carried out in salinity of 10‰, 20‰, 30‰, 40‰ in the laboratory. The behavior of *A. aurita* and their metabolic activity in various salinity were observed. With the change in time, the amount of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, dissolved oxygen, and pH were found out. Also the effect of colony formation of polyp in different salinity were observed. For the above experiment artificially made sea water (known in this test as "Sea Life") was used.

In 40‰ salinity and 20‰ the out put of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ of medusa was less compared to 30‰ similar to natural environment. In 40‰ salinity the consumption of dissolved oxygen of medusa increased where as in other experiments it decreased. Also pH level reduced in 20‰ and increased in 40‰. By looking at the movement of medusa pulsation, in both 20‰ and 40‰ the activity get reduced compared to the normal 30‰ situation. With this result, it may be that the $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ cycle gets reduced with change in salinity.

In case of 10‰ there was no increase of polyp, however in case of 20‰, there was an increase of polyp. In 30‰ there was an increase of colony area of polyps. With 40‰ there was neither change in polyp number nor the increase in area. There was change in the mode of asexual reproduction of polyps. When the colony kept in 40‰ were removed and kept in natural sea water, the polyps formation increased by two times. The change in salinity is one of factors that may be affecting the polyp formation and also the life cycle of *A. aurita*.