

海洋深層水の水質変動と微細藻類に対する 増殖ポテンシャルの関係

Seasonal Fluctuations of the Water Quality of Deep Seawater
and the Relationship to the Growth Potential of a Microalga

深見 公雄¹・松本 純¹・門田 司¹・中野 雄也¹・西島 敏隆¹

Kimio FUKAMI, Jun MATSUMOTO, Tsukasa KADOTA, Yuuya NAKANO,
and Toshitaka NISHIJIMA

Abstract

Deep seawater (DSW) samples were collected from 320 m depth layer at an offshore station close to the pipe end of DSW-intake facility of Muroto City in Kochi, and seasonal fluctuations of the water quality of DSW were investigated. Concentrations of dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphate in DSW varied significantly in the range of 6-26 (average 15.7) μM and 0.7-1.8 (average 1.2) μM , respectively. High concentrations of these inorganic nutrients apparently corresponded to upwelling seasons. Algal growth potential (AGP) of DSW for a diatom, *Skeletonema costatum*, also varied from season to season, and high AGP values were obtained when the concentrations of DIN in DSW increased. These results indicate that water quality of DSW fluctuates, to relatively large extent, probably due to possible upwelling events, and seasonal changes in AGP of DSW were resulted from DIN content in DSW.

Key Words: Deep seawater, water quality, inorganic nutrients, AGP, seasonal fluctuation, upwelling

1. 緒 言

海洋における有光層以深の水は「海洋深層水 (Deep Seawater; DSW)」と呼ばれ、表層と比較して低温かつ清浄であり植物の成長に必要な無機栄養塩類を多量に含んでいることから、その有効利用が期待されている。

DSW の特性を生かした有効利用の 1 つに飼料性微細藻類の大量培養がある。高知県海洋深層水研究所において水深 320 m 層から汲み上げられた DSW を利用すると、浮遊性餌料珪藻 *Chaetoceros ceratosporum* の大量培養が可能であることがすでに明らかになっている^{1), 2), 3)}。付着性餌料珪藻 *Nitzschia* sp. の効率よい培養も DSW により可能

であることが分かっており⁴⁾、さらに DSW の低温性を利用した、餌料性付着珪藻とアワビ種苗の連続混合培養・飼育システムも有効であることがすでに報告されている⁵⁾。

しかしながら一方で、DSW を用いてこれらの餌料性微細藻類を培養した際の細胞収量 (増殖ポテンシャル; AGP) には比較的大きな季節変動があることが報告されている^{2), 4)}。このことは、これまで安定していると考えられてきた DSW の水質が必ずしも一定ではなく、季節的に変動していることを示唆するものである。

そこで本研究では深層水の水質の季節変動について知るために、室戸沖の海洋深層水の取水口付近の海水および陸上施設に揚水された DSW を定期的に

¹高知大学農学部水族環境学研究室 (〒783-8502 高知県南国市物部乙 200)

採取してその物理学的・化学的および生物学的な様々なパラメーターを調べるとともに、DSW の水質と珪藻 *Skeletonema costatum* の増殖との関係について解析した。

2. 方 法

(1) 試料採取

高知県室戸岬東岸に位置する高知県海洋深層水研究所の沖合約 2.5 km にある深層水取水口付近に 1 定点（北緯 33 度 17 分 5 秒，統計 134 度 13 分 89 秒，水深約 550 m）を設定した。高知大学海洋生物教育研究センターの研究船「ねぶちゅーん」により，1998 年 3 月から 12 月の各季節に計 9 回，同定点において観測および海水試料の採取を行った。

透明度板を用いた透明度および CTD システム（IDRONAUT 社製 Ocean Seven-301S 型）を用い水温・塩分・溶存酸素濃度・pH 等の測定を行った。また 5 l のバンドン採水器を用いて表層から水深 400 m までの各層より海水試料を採取し，後述のように物理学的・化学的・生物学的水質を調べた。

(2) 試料の処理

採取された海水試料および海洋深層水研究所に揚水された海水を研究室に持ち帰ったのち，あらかじめ電気炉で 450 °C 2 ～ 3 時間燃焼した GF/F グラスファイバーフィルターでろ過した。フィルターおよび濾液は分析まで -20 °C で凍結保存した。フィルターはクロロフィル a 濃度の定量に，また濾液は溶存態有機炭素（DOC）・窒素濃度（DON）および無機態窒素（DIN）・リン（DIP）濃度等の分析ならびに藻類に対する増殖ポテンシャルの測定にそれぞれ用いた。

(3) 分析方法

ろ過海水中の $(\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を，BRAN-LUEBBE 社製 TRAACS-800 により測定した。また微量全窒素測定装置（SUMIGRAPH N-200）により全窒素（TN）濃度を測定し，TN の値から DIN の値を差し引くことにより有機窒素（DON）濃度を求めた。DOC 濃度

は全有機態炭素計（SHIMADZU，TOC-5000）により求めた。クロロフィル a 濃度は，フィルターを 90 % アセトンですり潰して抽出したあと，分光光度計（HITACHI，100-60）で比色定量した⁶⁾。

(4) *Skeletonema costatum* の培養および増殖ポテンシャルの測定

珪藻 *Skeletonema costatum* に対する DSW の増殖ポテンシャル（AGP）を調べた。DSW の藻類に対する増殖ポテンシャルを正しく評価するには，アッセイ藻の藻体細胞内への栄養塩類や微量元素等の蓄積量および培養液によるそれらの持ち込みを最小限にする必要がある⁷⁾。このため AGP 評価に用いるアッセイ藻をあらかじめ十分飢餓培養することが不可欠である。そこで *S. costatum* NIES-324 株をまず SWM-3 培地で 2 回繰り返し前培養を行ったのち，対数増殖期にある藻体を以下の飢餓培地に二度植え継いだ。窒素およびリン濃度を本藻の要求量に相当する量，すなわち $\text{NO}_3\text{-N}$ を 1.6 mg/l また $\text{PO}_4\text{-P}$ を 0.5 mg/l にし⁸⁾かつビタミン類無添加の改変 $\text{ASP}_2\text{-NTA}$ 培地を調製し，さらに人工海水成分以外の栄養物質を 1/100 濃度に希釈した培地に，本藻を接種し培養した。定常期に達したものを再度同培地に接種して培養し，再び定常期に達した *S. costatum* 細胞を飢餓処理済みのアッセイ藻として，初期密度が 2,000 cells/ml となるように 10 ml の DSW 試料に接種して培養を行い，AGP 試験を行った。なお DSW 試料は，前述のように，電気炉による燃焼処理で有機物を除去した GF/F グラスフィルターでろ過して用いた。

試験はすべて 5 本立てで行った。20 °C・80 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ （明暗周期 12 h：12 h）の条件で 5 日間培養を行ったのち *S. costatum* の細胞数を計数して最大細胞収量を求め，さらにその値から初期密度の 2,000 cells/ml を差し引いて増殖ポテンシャルを求めた。

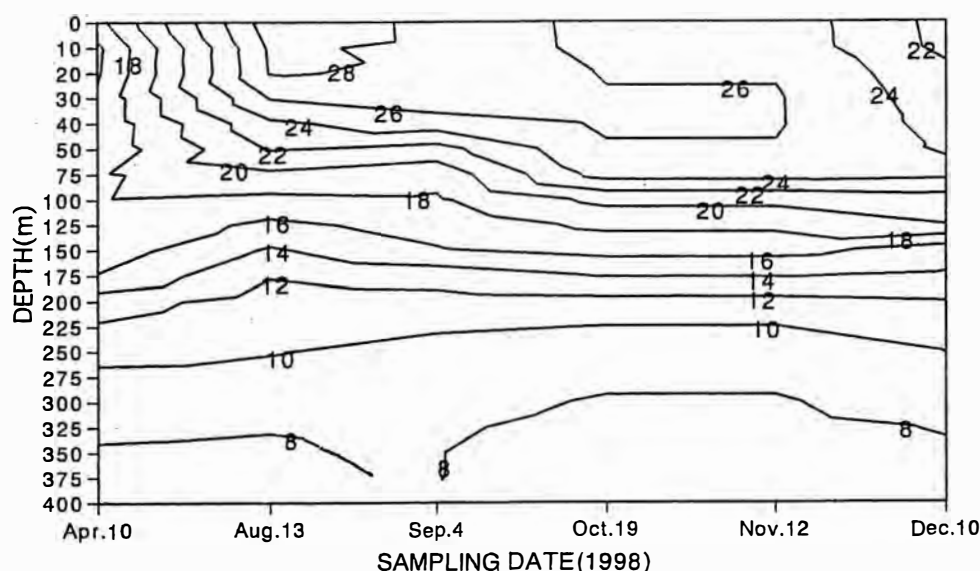


図-1 1998年室戸沖の深層水取水口付近の定点における水温の季節変動

3. 結果と考察

(1) DSW 取水口付近の海況および DSW の水質変動

1998年4月から12月までの室戸沖定点における水温の鉛直・季節変動の鉛直断面を図-1に示した。水温および塩分の分布から、室戸沖では表層から水深150m層付近にかけて例年4月頃までは鉛直混合期であり、5月頃から次第に成層し始め7月から9月終わりまでは成層状態に、10月以降は再び混合することが明らかとなった。

水温の鉛直断面図から、8月頃に8℃以下の冷たい海水が水深400m付近まであがってきており、しかも水温12℃の等温線も200m付近まで上昇していたことから、この季節には湧昇が起きている可能性が考えられた。その後9月には湧昇はみられなくなったが、10月から12月にかけてまた8℃以下の水が上がってきていたことから、再び湧昇が起きていることが予想された。

海洋深層水取水口付近の水深320mの海水中に含まれる無機態窒素(DIN)および有機態窒素(DON)濃度は、それぞれ6-26(平均15.7)μM・0.3-9(平均4.4)μMと変動していた(図-2a)。両者を合わせた全窒素(TN)ならびに(NO₂+NO₃)-N濃度は3月と10月に低く8・9月と11・12月に高く、DON濃度は4・6・11・12月に高

い傾向が見られた。特に6～7月にはDON濃度が9μMまで上昇し、TNの約半分を占めていた。PO₄-P濃度も0.7-1.8(平均1.2)μMの範囲で季節変動を示しており、その変動傾向はほとんどDINと同様であった(データは図示せず)。

一方、海洋深層水研究所に揚水されたDSW中のDINおよびDONもそれぞれ11-30(平均24.9)μM・0.3-6.6(平均3.9)μMと同様に変動していた(図-2b)。しかしながらPO₄-P濃度は比較的安定しており1.8-2.4(平均2.0)μMの範囲で変動していた(データは図示せず)。水深320m層のDSWおよび研究所に揚水されたDSWの間には多少の水質の違いが見られ、DIN濃度は全体として研究所に揚水された海水の方が高い傾向にあった。またPO₄-P濃度は明らかに研究所に揚水されたDSWの方が高かった。

これらの結果から、高知県室戸沖320m付近の海洋深層水の物理的・化学的あるいは生物学的水質は、比較的大きく季節変動していることが明らかとなった。これまで海洋深層水の水質は安定していると考えられてきたが、本研究の結果から、海洋深層水の採取時期により栄養塩濃度等に変動がみられ、DSWの水質は従来考えられてきたほどには一定ではないことが示唆された。これらの変動の要因は今のところ明らかではないものの、栄養塩濃度の変動傾向は水温の鉛直断面図で得られた湧昇の時期と概

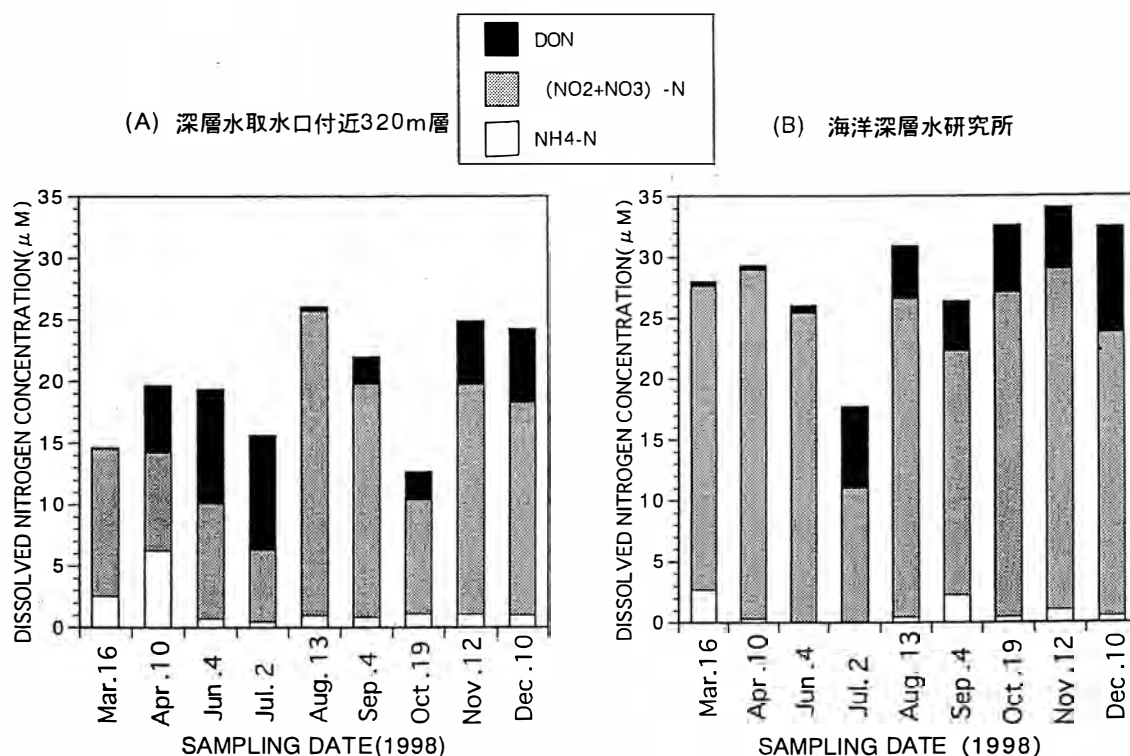


図-2 深層水取水口付近の 320 m 層 (A) および高知県海洋深層水研究所で揚水された DSW (B) 中に含まれる溶存態窒素濃度の季節変動

ね一致しており、室戸沖で見られる沿岸湧昇がその原因の一つである可能性が考えられた。室戸岬東側のように湧昇の起こりやすいところでは、少なくともある特定の水深の海洋深層水は時間変動を示す可能性が高いと思われる。

(2) 珪藻 *S. costatum* に対する DSW の増殖ポテンシャル (AGP)

飢餓培養により調製した *S. costatum* を GF/F ろ過 DSW に接種して一定期間培養し、DSW の同藻に対する増殖ポテンシャル (AGP) を調べた。その結果、*S. costatum* の最大細胞収量は、取水口付近の水深 320 m の DSW で $4.7 - 9.2 \times 10^4$ cells/ml、また研究所に揚水された DSW で $5.1 - 10.5 \times 10^4$ cells/ml の範囲で変動していた (図-3)。これらの値は、同様の実験を室戸沖の表層水を用いて行った場合の約 100~150 倍高い値であった。しかもこれらの AGP の値には、DSW の水質と同様に比較的大きな季節変動がみられた。DSW の *S. costatum* に対する AGP の変動がなにに起因するのかを明らかにするために、AGP と DSW 中

の栄養塩濃度との比較を行った。その結果、珪藻 *S. costatum* に対する DSW の AGP は DIN 濃度の変動傾向と明瞭な正の相関関係を示した (図-3)。相関係数はそれぞれ、320 m 層 DSW で 0.775、また研究所へ揚水された DSW で 0.835 と極めて高い値を示すことが明らかとなった。このことから、DSW の微細藻類に対する増殖ポテンシャルの季節変動は DIN 濃度の変動が大きな原因の一つであることが明らかとなった。

従来、DSW の浮遊性および付着性の微細藻類に対する AGP と DSW の水質の間には必ずしも明瞭な相関関係が得られていなかった^{2), 5)}。しかしながらこれらの従来の研究では、AGP 評価に用いる微細藻類を飢餓培養しておらず、このことが AGP と水質の間に明瞭な関係を示さなかった原因の一つであると考えられた。

今後は、湧昇との関係を含めて海洋深層水の水質がなぜ季節変動しているか、あるいは湧昇現象の起こる原因についても明らかにする必要があると考えられた。

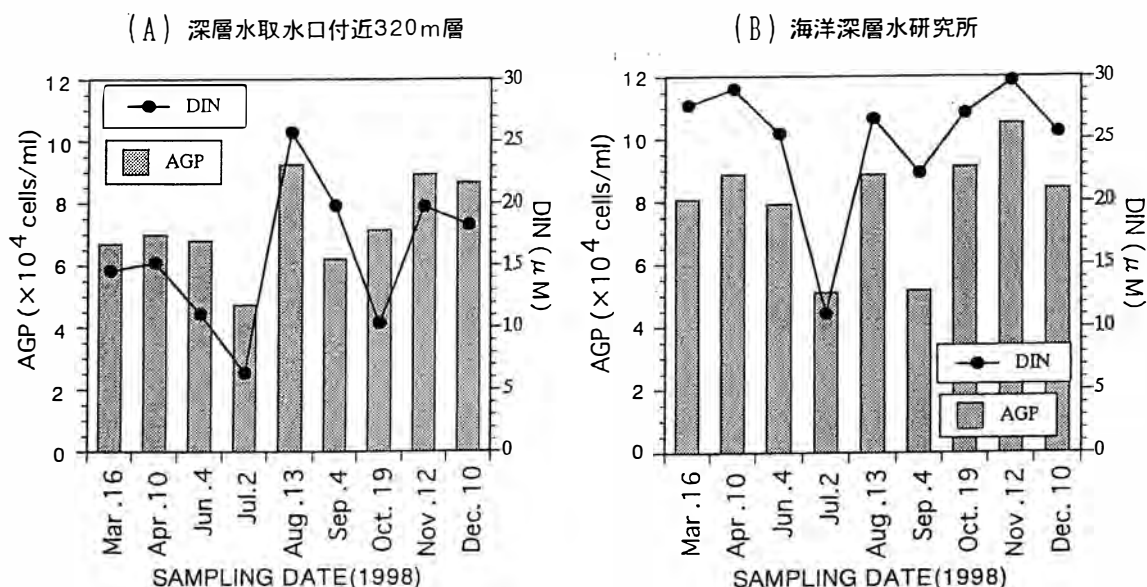


図-3 深層水取水口付近の320m層(A)および高知県海洋深層水研究所で揚水されたDSW(B)における溶存態無機窒素(DIN)濃度の季節変動と珪藻 *Skeletonema costatum* に対する増殖ポテンシャル(AGP)の季節変動

謝辞：室戸沖の海水試料の採取には、高知大学海洋生物教育研究センター技官の井本善次氏ならびに高知大学農学部水族環境学研究室の山岡宏平君その他多くの学生諸君に援助をいただいた。また同研究室の足立真佐雄博士には有益な助言をいただいた。さらに高知県海洋深層水研究所の谷口道子氏を始めとするスタッフの方々にも多大なるお世話をいただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 深見公雄, 西島敏隆, 畑 幸彦: 餌料性微細藻類の増殖を促進する細菌の深層海水からの分離とその効果, くろしお(高知大学黒潮圏研究所所報)特別号, Vol. 5, pp.17-21. 1991.
- 2) Fukami, K., Nishijima, T. and Hata, Y.: Availability of deep seawater and effects of bacteria isolated from deep seawater on the mass culture of food microalga *Chaetoceros ceratosporum*. Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 58, pp. 931-936. 1992.
- 3) 深見公雄, 西島敏隆: 海洋深層水を用いた餌料性珪藻の効率的培養および深層水由来細菌の添加効果, 月刊海洋, Vol. 26, pp. 139-145. 1994.

- 4) Fukami, K., Nishimura, S., Ogusa, M., Asada, M. and Nishijima, T.: Continuous culture with deep seawater of a benthic food diatom *Nitzschia* sp. Hydrobiologia, Vol. 358, pp. 245-249. 1997.
- 5) Fukami, K., Kawai, A., Asada, M., Okabe, M., Hotta, T., Moriyama, T., Doi, S., Nishijima, T., Yamaguchi, M. and Taniguchi, M.: Continuous and simultaneous cultivation of benthic food diatom *Nitzschia* sp. and abalone *Haliotis sieboldii* by using deep seawater. J. Mar. Biotech., Vol. 6, pp. 237-240. 1998.
- 6) SCOR/UNESCO: Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monographs on Oceanographic Methodology 1 UNESCO Publication Center, New York, 69p. 1966.
- 7) 西島敏隆, 深見公雄: 深層水による植物プランクトンの培養及び深層細菌との混合培養による増殖の促進, Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ., Vol. 15, pp. 25-31. 1995.
- 8) 西島敏隆, 山砥稔文, 畑 幸彦: 赤潮珪藻 *Skeletonema costatum* の栄養要求と AGP 試験に供試するための調整法, 水質汚濁研究, Vol. 13, pp. 173-179. 1990.

(2000. 2. 29受付)