

駿河湾海洋深層水取水予定海域における海水特性

Water Properties in the Intake Sea Area of Suruga Bay Deep Seawater.

安川 岳志¹・筒井 浩之^{1,2}・三森 智裕^{1,3}・黒山 順二¹・豊田 孝義¹・中島 敏光¹
Takeshi YASUKAWA, Hiroyuki TSUTSUI, Tomohiro MITSUMORI, Junji KUROYAMA,
Takayoshi TOYOTA and Toshimitsu NAKASHIMA

Abstract

Water mass and water properties (such as nutrients, particulate matter and organic matter) at the intake sea area of Suruga Bay deep seawater off Yaizu were investigated in November 1999. Water temperature at the depths of 350 m and 700 m were 10 °C and 5 °C, respectively. Salinity showed a maximum at the depth of 150 m and a minimum at the depth of 500 m. The seawater at both intake depths were classified into a subpolar intermediate depth water by these characteristics of temperature and salinity. The concentrations of nutrients increased with depth, and at 400 m and 700 m depths the concentrations were 26.1 μM nitrate, 1.9 μM phosphate, 58.3 μM silicate and 35.6 μM nitrate, 2.6 μM phosphate, 103 μM silicate, respectively. This indicates that the deep seawater was rich in nutrients. Although the concentration of suspended matter of deep seawater was higher than that of surface seawater probably due to resuspended bottom sediments, number of bacteria, and concentrations of dissolved and particulate organic carbon of deep seawater were significantly lower than those of surface seawater.

Key Words: deep seawater, Suruga Bay, water mass, nutrients, suspended matter, organic matter, bacteria

要 旨

1999年11月に、駿河湾焼津沖の深層水取水口設置予定地点（取水予定深度：350 m および 700 m）を主対象として、富栄養、清浄性に係わる水質特性と水塊構造について調べた。取水口設置予定地点近傍の測点の 350 m および 700 m における水温は、それぞれ 10 °C と 5 °C であり、塩分は 150 m 付近と 500 m 付近に各々極大と極小を示し、水温、塩分データによる水塊解析から、両取水予定深度における海水は、亜寒帯系中層水に分類された。栄養塩類の濃度は、深度と共に増加し、同測点の 400 m および 700 m では、それぞれ硝酸塩 26.1 μM、磷酸塩 1.9 μM、珪酸塩 58.3 μM、および硝酸塩 35.6 μM、磷酸塩 2.6 μM、珪酸塩 103 μM であり、富栄養性であることが示された。清浄性に関する水質項目としての生菌数、溶存態有機炭素濃度、懸濁態有機炭素濃度については、深層水の方が表層水に比べて少なかった。懸濁物質濃度は深層水の方が表層水に比べて高くなつたが、懸濁物質中に占める有機物の割合は、表層よりも深層の方が小さかった。

キーワード：海洋深層水、駿河湾、水塊構造、富栄養性、清浄性

¹海洋科学技術センター（〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2 番地 15）

²株式会社エニクス（〒004-0015 北海道札幌市厚別区下野幌テクノパーク 1-2-14）

³日本学術振興会（〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8）

1. はじめに

我が国周辺海域の海洋深層水（以下、深層水と称す）の水質特性が調査され、深層水は、富栄養、清浄、低水温などの利用価値の高い特徴を有することが報告されている（中島・豊田、1979）。これらの特徴を有効に利用するためには、取水対象海域の深層水の水質特性を知ることが重要である。

我が国で最初の深層水取水施設は、1989年に海洋科学技術センターにより室戸岬に設置され（Toyota *et al.*, 1989），それに先立ち、室戸沖の水質の物理的特性が窪田ら（1990）によって、化学的特性が杉村ら（1990）によって、生物学的特性が鈴木ら（1990）によって調査された。

その後、1995年に富山県が滑川市に、また2000年には沖縄県が久米島にそれぞれ深層水取水施設を設置した。

静岡県では、駿河湾深層水の有効利用事業を推進しており、2000年8月までに、焼津市沖の石花海海盆の2層（397 m および 687 m）から深層水を汲み上げるための取水管を敷設した。なお、本調査が行われた1999年11月の時点では、深層水の取水予定深度は350 m と 700 m であったので、本稿ではこれらの深度を取水予定深度と称する。この取水施設整備のための立地調査として、海洋科学技術センターは、駿河湾の石花海海盆を中心に海域調査を行った。本調査では、深層水取水口設置予定地点を主対象として、水質特性（富栄養性や清浄性等）および水塊構造を調べ、さらに駿河湾全域の水塊構造についても調べたので報告する。

本報において、富栄養性とは、植物の生長に必須の栄養塩類（硝酸塩、磷酸塩、珪酸塩）が、豊富に存在するということを意味し、清浄性とは、水質悪化の原因となる懸濁および溶存態の有機物濃度が低く、微生物学的に安定しており、疾病などの原因となる病原菌が少ないと意味する（中島・豊田、1994）。

なお、本調査は海洋科学技術センターと静岡県との共同研究「駿河湾における海洋深層水の科学的特性と多段利用システムに関する研究」の一部として

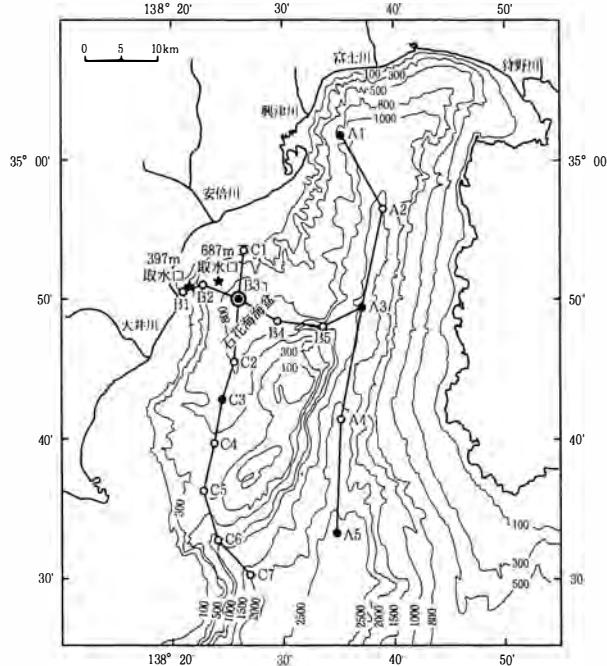


図-1 駿河湾海域調査測点図。

行った。

2. 方 法

(1) 試料採取

1999年11月15, 17 および 18日に図-1に示した駿河湾の17測点において、静岡県水産試験場所属の駿河丸により、表層から深度1300 mについてマルチパラメーターCTD採水システム（シーバード社製SBE9 plus CTDにゼネラルオーシャニック社製ニスキントンX採水器（10 l, 12本）を組み合わせたもの）を用いた水温、塩分、クロロフィル蛍光、溶存酸素濃度、濁度等の測定を行うとともに、鉛直多層採水を行った。ニスキントンX採水器は、塩化ビニル製であり、採水器の内側にテフロンコーティングを施し、O-リングをテフロン製のものに交換した。採水器の洗浄は、最初に実験用洗剤（5%クリーンエース）を採水器に満たして24時間放置し、次に0.3 M 塩酸（特級）を採水器に満たして24時間放置し、その後にミリQ水でリーンして塩酸を除去することにより行った。

(2) 分析方法

栄養塩類は、Whatman GF/C グラスファイバーフィルター（孔径 1.2 μm, 直径 25 mm, 400～

500 °Cで1時間加熱処理)により海水試料を濾過した後、濾液を分析に供した。磷酸塩、硝酸塩および亜硝酸塩の濃度はStrickland and Parsons(1972)の方法により、アンモニウム塩はSolorzano(1969)の方法によりオートアナライザーTRAACS 800(BRAN+LUEBBE社製)を用いて測定した。珪酸塩はRobinson(1969)の方法により、吸光光度計(日本分光社製V-550)を用いて測定した。溶存態有機炭素濃度はJIS法による高温燃焼法に従い、Whatman GF/Cガラスファイバーフィルター(孔径1.2 μm、直径25 mm、450 °Cで2~3時間加熱して有機物を除去)により海水試料を濾過した後、濾液を全有機体炭素計(島津製作所製TOC-5000)に注入し測定した。懸濁態有機炭素濃度は沿岸環境調査マニュアルⅡ(1990)に従い、上記と同様に処理したWhatman GF/Cガラスファイバーフィルターにより海水試料を濾過した後、濾紙残渣を錫箔に包み、CHNアナライザ(Perkin-Elmer社製2400 II)により測定を行った。懸濁物質濃度は環境庁告示59号(1971)に準拠し、海水試料をMilliporeアイソポアフィルター(孔径0.4 μm、直径47 mm)により濾過後、蒸留水で洗浄し海塩を除去したフィルターを80 °Cで2時間乾燥させた後、デシケーター中で放冷し、秤量して行った。生菌数は、滅菌したMilliporeアイソポアフィルター(孔径0.2 μm)で海水試料を濾過した後、フィルターを100%Zobell 2216E寒天培地上にのせ、20 °Cで10日間の培養後に生じたコロニー数を計数した。

3. 結果および考察

2000年8月までに取水管の敷設工事は終了し、石花海海盆における397 mおよび687 mに取水口が設置された。図-1に示したように、実際の取水口の近傍は測点B1、B2であるが、本稿では取水口の深度よりも深い測点の中で最も近い位置にある測点B3での測定結果を、代表値として取り扱う。

各測点における水温、塩分、溶存酸素の鉛直分布は、同じ傾向を示したので、ここでは、測点B3の結果のみを図-2に示した。水温は、深度が増加す

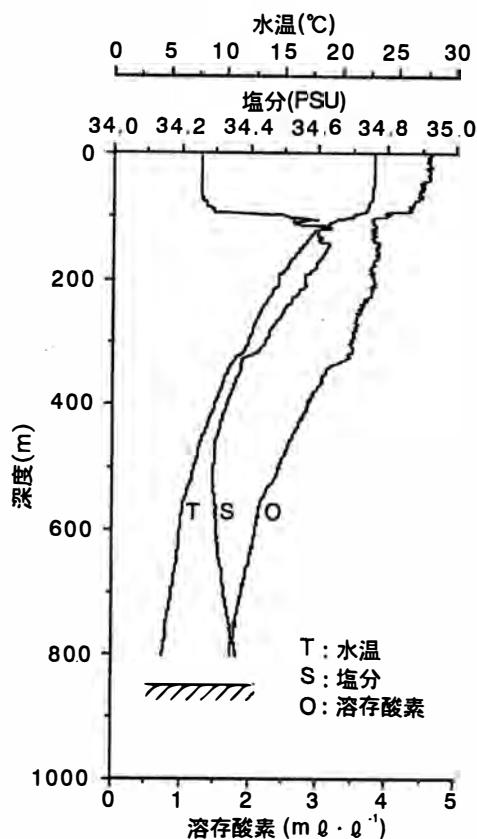


図-2 測点B3における水温、塩分および溶存酸素量の鉛直分布。

るに従って低くなり、取水予定深度である350 mで約10 °C、700 mで約5 °Cであった。塩分は、表層ではやや低く、深度が増すに従って大きくなり、深度150 m付近で約34.6 PSUの極大となり、深度約500 m付近で約34.3 PSUの極小となった。駿河湾の水塊の分類(中村、1977)から判断すると、深度350 m、700 mともに水温3~11 °C、塩分34.2~34.4 PSU、サモステリックアノマリー(δ_r) 60~170 $cl \cdot ton^{-1}$ 、塩分極小で特徴づけられる亜寒帯系中層水に分類され、その上層に水温11~18 °C、塩分極大で特徴づけられる黒潮系水の性質を有する外洋水主流部が存在していた。

図-3に深層水取水口設置予定地点近傍である測点B3の硝酸塩、磷酸塩および珪酸塩濃度の鉛直分布を示した。他の測点における栄養塩類の鉛直分布も同じ傾向を示した。硝酸塩濃度は、深度5 mでは0.5 μMと低く、深度100 m以深では、深度の増加に伴って高くなかった。特に深度100 mから400 mでは顕著な増大が見られた。磷酸塩と珪酸塩についても、同様の傾向が見られた。また、亜硝

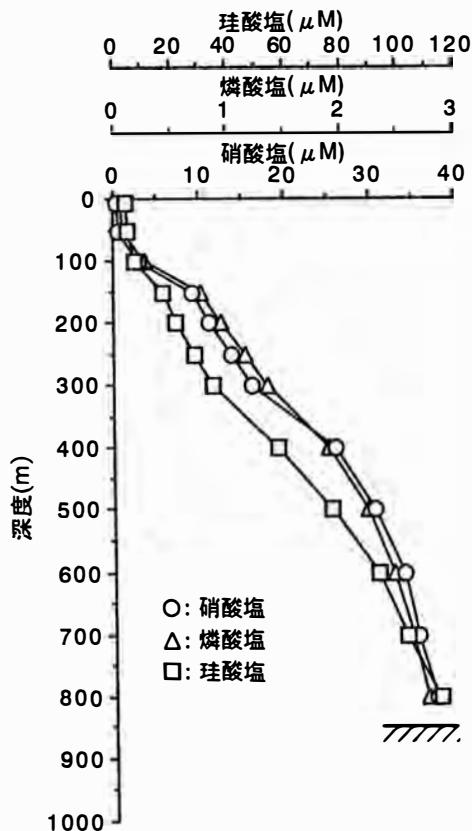


図-3 測点 B3 における硝酸塩、磷酸塩および珪酸塩の鉛直分布。

酸塩は、深度 100 m 以浅に 0.2~0.3 μM 存在していた。アンモニウム塩は、深度 5 m から 50 m で 0.3 μM 、深度 100 m から 300 m で 0.2 μM 、深度 300 m 以深では 0.3 μM であった。深層水取水予定深度付近である 400 m での栄養塩類の濃度は、硝酸塩 26.1 μM 、磷酸塩 1.89 μM 、珪酸塩 58.3 μM であり、700 m での栄養塩類の濃度は、硝酸塩 35.6 μM 、磷酸塩 2.62 μM 、珪酸塩 103 μM であり、富栄養であることが確認された。深度 400 m 及び 700 m における N/P 比は各々 13.8, 13.6 であり、Redfield 比である 16 に近い値を示した。

また、清浄性に関する水質項目として取り上げた生菌数、懸濁物質濃度、溶存態および懸濁態有機炭素濃度の測点 A1, A3, A5, B3 および C3 における各項目の鉛直分布をそれぞれ図-4~7 に示した。図-4 に示すように生菌数は、各測点において深度 200 m までは急激に減少し、それ以深では緩やかに減少した。また、湾奥部の測点 A1 の表層では、他の測点のおよそ 10 倍程度の値を示した。

一方、図-5 に示すように懸濁物質濃度は、測点

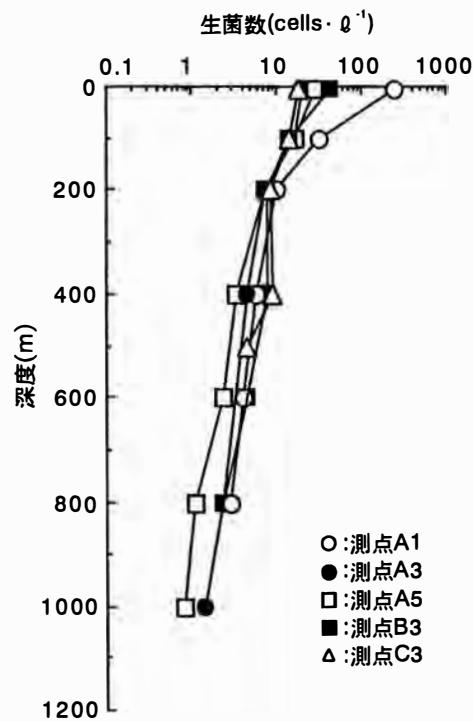


図-4 各測点における生菌数の鉛直分布。
各測点における海底深度は、A1 (○) : 850 m, A3 (●) : 1650 m, A5 (□) : 2550 m, B3 (■) : 850 m 及び C3 (△) : 650 m.

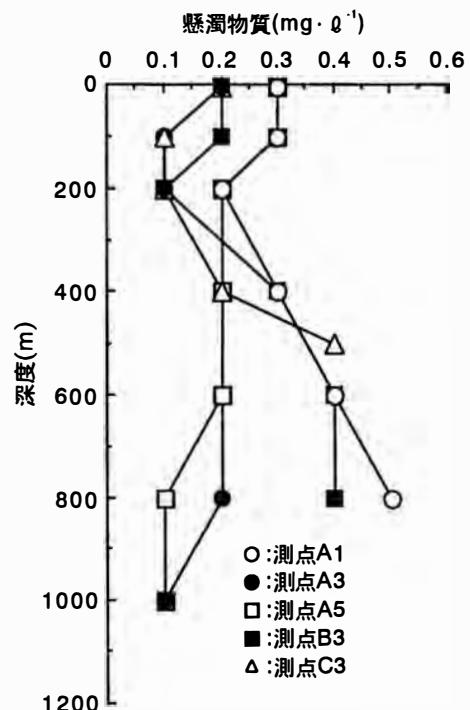


図-5 各測点における懸濁物質の鉛直分布。
各測点における海底深度は図 4 と同様。

A5 では、深度が増すにつれて減少し、測点 A1, B3 および C3 では、深度 200 m までは深度が増すにつれて減少したが、深度 200 m 以深では再び増加し、海底に最も近い深度では表層の 1.7~2.0 倍

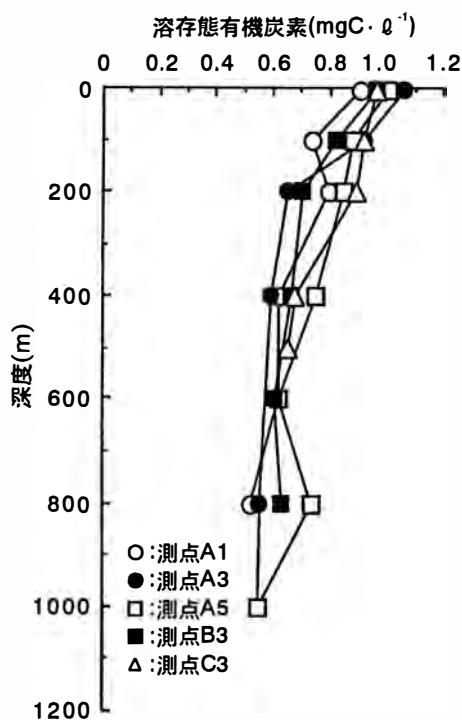


図-6 各測点における溶存態有機炭素の鉛直分布。
各測点における海底深度は図4と同様。

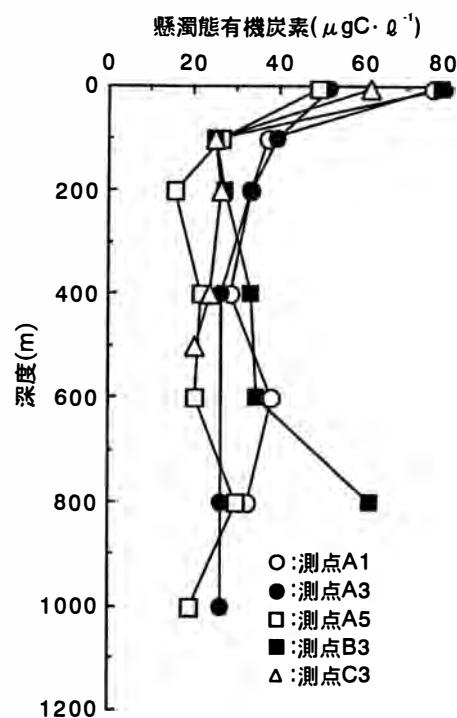


図-7 各測点における懸濁態有機炭素の鉛直分布。
各測点における海底深度は図4と同様。

に達した。1999年9月の観測データ（海洋科学技術センター, 2000）においても、駿河湾を東西に横断する5測点のうち西端の測点（石花海海盆付近）において海底直上付近で懸濁物質濃度が増加する結果が得られている。石花海海盆の底質は、砂から泥層の分布が卓越しており（豊田, 1993）、石花海海盆の西側斜面は急斜面である（海上保安庁水路部, 1980）ことから、砂や泥などの堆積物の崩落および海底堆積物の再懸濁により、このような鉛直分布を示した可能性が考えられる。

さらに、図-6に示すように溶存態有機炭素濃度は、表層で高く、深度200～400mまでは深度が増すにつれて減少し、それ以深では、ほぼ一定で $0.7 \text{ mgC} \cdot \ell^{-1}$ であった。静岡県による1999年の調査結果においても、200m以深では $60 \mu\text{M}$ すなわち $0.7 \text{ mgC} \cdot \ell^{-1}$ （静岡県, 2000）という結果が得られている。

一方、図-7に示した懸濁態有機炭素濃度は、深度100mまでは急激に減少し、それ以深ではほとんど濃度は変わらなかったが、測点B3においてのみ、600m以深で再び増加した。今回の調査結果における200m以深の懸濁態有機物質の濃度は、

年間を通じて深層において $35 \sim 71 \mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ の範囲で変動している（静岡県, 2000）という報告とほぼ一致していた。

ここで、懸濁物質中の有機物に着目し、測点B3における有機物量を懸濁態有機炭素濃度を2倍することにより求める（佐藤, 1985；Riley, 1970）と、深度5mでは、有機物量は $156 \mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ となり、懸濁物質中の有機物の割合は約78%となる。同様に計算を行うと、深度400mでの割合は約22.4%，深度600mでの割合は約17.4%，深度800mでの割合は約30.6%となり、懸濁物質中に含まれる有機物量の割合は、表層に比べて深層の方が小さくなり、懸濁物質中に含まれる有機物は、沈降中に分解・無機化されていることが示唆された。

以上の結果より、生菌数、溶存態有機炭素濃度は、深層水の方が表層水に比べて少なかった。一方、懸濁物質濃度、懸濁態有機炭素濃度は、深層水の方が表層水に比べて高くなる傾向が見られたが、懸濁物質中に含まれる有機物量の割合は、表層に比べて深層の方がはるかに低かった。

実際の取水口は、海底上7mに設置されているが、本調査では、この取水口付近の様子を詳細に調

べることができなかった。従って、取水した海洋深層水を使用するに当たって、今後、海底直上における懸濁物質濃度や懸濁態有機炭素濃度、さらに懸濁物質の化学成分、粒径分布等について詳しく調べ、取水海水の水質特性を把握する必要がある。

4. 謝 辞

本調査における海水試料の採取には、静岡県水産試験場深層水プロジェクトスタッフリーダー五十嵐保正氏をはじめとするスタッフの方々、ならびに関係者の方々の多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- JIS K0102 (1986) : 工場排水試験方法. 日本規格協会. 22.
- 海洋保安庁水路部 (1980) : 沿岸の海の基本図 (5 万分の 1), 駿河湾南西部, 6362⁷.
- 海洋科学技術センター (2000) : 深層水の循環に関する化学的研究. 25-34 頁, 深層水の取・放水に関する海洋理工学的基礎研究成果報告書.
- 環境庁告示 59 号 (1971) : 付表 8.
- 窪田敏文・村田宏・森山貴光・田島健司・山重政則・明神寿彦・宮本猛 (1990) : 深層水の物理的環境の解明に関する研究. 71-81 頁, 科学技術庁研究開発局編, 海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究 (第 I 期) 成果報告書.
- 中村保昭・小泉政夫 (1977) : 第 II 篇海況調査. 21-74 頁, 静岡県水産試験場, 駿河湾漁場開発調査報告書.
- 中島敏光・豊田孝義 (1994) : 海洋深層水の資源的価値とその利用. 月刊海洋, 26, 133-138.
- 中島敏光・豊田孝義 (1979) : 深層水利用による海域の肥沃化. 海洋科学技術センター試験研究報告, 3, 117-125.
- 日本海洋学会編 (1990) : 沿岸環境調査マニュアル II (水質・微生物篇). 80-89 頁. 恒星社厚生閣. 東京.

Riley, G. A. (1970): Particulate organic matter in sea water. In, Advances in marine Biology, F. S. Russell and M. Yonge, eds. Academic Press. London and New York., 8, 1-118.

Robinson, R. J. and T. G. Taylor (1969): The determination of silicate in sea water. *J. Mar. Res.*, 7, 49-55.

佐藤義夫 (1985) : 駿河湾の海洋環境と生産性に関する研究. 1-6 頁, 東海大学海洋研究所研究報告. 7, 1-6.

静岡県 (2000) : プランクトンの動態と役割、及び水塊指標性. 15-82 頁, 平成 11 年度駿河湾深層水利用可能性調査報告書.

Solorzano, L. (1969): Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limmol. Oceanogr.*, 14, 799-801.

Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons (1972): A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2nd ed., Bull. Fish. Res. Bd. Can., 167, 1-311.

杉村行勇・鈴木款・田上英一郎・緑川貴 (1990) : 深層水の化学的環境の解明に関する研究. 82-91 頁, 科学技術庁研究開発局編, 海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究 (第 I 期) 成果報告書.

鈴木智之・玉井恭一・森本晴之・吉本淳・畠幸彦・西島敏隆・中島敏光・豊田孝義・石井進一 (1990) : 深層水の生物的環境の解明に関する研究. 92-106 頁, 科学技術庁研究開発局編, 海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究 (第 I 期) 成果報告書.

Toyota T, T. Nakashima, T. Fujita, S. Ishii, K. Hagiwara, K. Morino and K. Shimizu (1989): Installation of a deep-sea water supply system for mariculture. Proceedings of Oceans '89 Symposium, 302-306.

豊田恵聖・三澤良文・七海匠 (1993) : 駿河湾石花海海域における海底地形および栄養塩類の分布. 東海大学海洋研究所研究報告. 14, 125-133.

(2001. 3. 1 受付, 2002. 8. 9 受理)