

## 10周年記念大会講演録

# 深層水ミネラルと生体への効果

Minerals in Deep Ocean Water and Their Effects on Physiological Functions

河野 雅弘・目代 貴之

Masahiro KOHNO, Takayuki MOKUDAI

### Abstract

Deep Ocean Water (DOW) is sea water from at least 200 m below the sea surface and has such characteristics as being clean and rich in mineral components compared to surface seawater. Recently, DOW has been considered for application in many fields (agriculture, fisheries, and health industries such as cosmetics, pharmaceuticals and nutrition). Here we studied the property of DOW and its effects on physiological functions. Since DOW has characteristic properties, we classified it as functional water and assessed its properties by measuring pH, electronic conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), oxidation-reduction potential (ORP) and residual chloride. As for the effects of DOW on physiological functions, we discussed the relationship between DOW and reactive oxygen species (ROS), which have potentially deleterious effects on biological systems due to damage to proteins, lipids, and nucleic acids, and are generally considered to be toxic to living organisms. Since DOW is rich in mineral components (not only major minerals but also trace minerals), it is utilized as drinking water. We examined the effects of DOW on physiological functions of mice. Sera from mice orally given DOW showed increased superoxide scavenging activity. This result suggested that DOW may induce a biological substance to augment superoxide scavenging activity. Furthermore, we discussed the heat-retention effect of DOW in relation to energy metabolism.

**Key Words:** Deep Ocean Water, Mineral, Reactive oxygen, Heat-retention effect

### 1. はじめに

近年、海洋深層水研究が著しく進展しているが、機能性について科学的な証明がなされているものは少ない。ここで取り上げる海洋深層水とは、太陽光の届かない200 m以深の海水で、富栄養性、清浄性、低水温性、水質安定性など優れた資源性を有している海水のことを示し、海洋学的な水塊の認識に基づく深層水とは据え方は異なる。このような海洋深層水は、資源利用の観点から「光合成による有機

物生産よりも有機物分解が卓越し、かつ、鉛直混合や人為の影響が少ない、補償深度以深の資源性の高い海水」という特性がある (<http://jadowa.org/>)。特に、海洋深層水の清浄性は、水資源不足が深刻になってきている現代で地球の新しい資源として期待されている。他にも、海洋深層水は、農業、水産、健康、美容、医薬、食品、エネルギーなどの多様な分野での利用・応用が図られている。その中で、海洋深層水がもつ富栄養性の特徴から食品分野や加工分野などで盛んに利用されている。その理由として、

清浄性に加え、豊富に含まれているミネラルが関与する。

これまでの報告から、海洋深層水に含まれるミネラルの中でも、Caは、摂取することによって女性の血清中の脂質に有益な変化をもたらすことが報告されている (Ian *et al.* 2002)。また、コレステロールを投与した実験用ラビットを用いた実験から、Mgは大動脈壁の蓄積を抑制することによりアテローム性動脈硬化を抑制することが報告されている (Ouchi *et al.* 1990)。

さらに、海洋深層水を用いた水を摂取すると新しい生体作用も認められている。例えば、アトピー性湿疹/皮膚炎症候群 (AEDS) の患者の髪では、必須ミネラルの比、Ca/Mg、毒性ミネラル Al, Hg, Pb が増加している。この患者に海洋深層水を摂取させると髪に含まれる Ca/Mg は正常に戻り、さらに毒性ミネラル Al, Hg, Pb を減少させることができると報告され、ミネラル水ではこのような変化が認められないと言う報告もある (Kimata *et al.* 2002)。

我々は海洋深層水の性質を明らかにするとともに、海洋深層水が持つ独自のミネラルに着目し、2002年から応用利用についての研究を進めている。本稿では、海洋深層水の性質について、著者らの研究を中心に、また、海洋深層水が与える生体作用については著者らの研究とこれまでの報告を合わせて概説する。

## 2. 海洋深層水の性質評価

海洋深層水の性質を評価するために機能水の概念を導入し、我々は便宜的に機能水に分類した。機能水の定義として、「人為的な処理によって再現性のある有用な機能を獲得した水溶液の中で、処理と機能に関して科学的根拠が明らかにされたもの、または明らかにされようとしているもの」と定義されている (<http://www.fwf.or.jp/>)。研究対象とした海洋深層水は、三重県尾鷲市の海岸（北緯 33 度 54 分 16.7 秒、東経 136 度 18 分 11.6 秒）より 50～100 m 沖側で、水深 400～450 m で採水された。特性を表す指標としては、pH、電気伝導率、溶存

酸素、酸化還元電位、溶存水素、有効塩素などである。これらの指標を用いて海洋深層水を評価した結果、pH は 7.0、溶存酸素は 10.1 mg/L、電気伝導率は 49.7 mS/cm、酸化還元電位は 244 mV であった。海洋深層水が示すこのような性質は汲み上げの時期や地域によって多少異なることが明らかにされている。海洋深層水は幅広く利用されているが、人為的に処理されることが多いため、原水の性質を理解して使用することが重要である。

## 3. 海洋深層水が惹起する生体作用

人間では、運動を行うと生体の恒常性を保つため様々な機能が働く。特に過激な運動を行ったとき、体内的水分が汗として排出され、同時に体内のミネラルが体外へ排出される。その結果、血液及び組織レベルでのミネラルバランスが変化すると考えられている。

体内で不足したミネラル成分は補われる必要があり、簡単に補う方法として飲料で摂取する手段がある。海洋深層水は、主要ミネラル (Na, K, Mg, Ca) に加えて必須栄養素である微量ミネラルを含んでいることから、飲料水としての利用が図られてきた。アトピー性湿疹/皮膚炎症候群 (AEDS) 患者の髪では、必須ミネラル比、Ca/Mg、毒性ミネラル Al, Hg, Pb が増加している (Kimata *et al.* 2002)。深層水である「天海の水 硬度 1000」(赤穂化成株式会社) は 344 m から取水したもので、Mg 200 mg/l, Na 74 mg/l, Ca 71 mg/ml, K 69 mg/l, Zn 40 μg/ml, Cu 4.4 μg/ml, I 2.8 μg/ml, P 9.0 μg/ml, Se 0.4 μg/ml を含む。この天海の水を AEDS 患者が摂取することで Ca/Mg 比が正常になり、毒性ミネラルレベルが減少したということが報告されている (Hataguchi *et al.* 2005)。

また、高脂血症ラビットを用いた実験では、Na 51.3 mg/l, K 20.0 mg/l, Ca 83.5 mg/l, Mg 241 mg/l, Cl 473 mg/l, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 454 mg/l、硬度 1199 の深層水を摂取させたことで、LDL コレステロール增加の抑制、血清中の抗酸化能の増加、大動脈内壁における脂質堆積の抑制などの効果が認められる

ことが報告されている (Miyamura *et al.* 2004)。このような深層水に含まれるミネラル類が生体にどのような作用を及ぼすかという研究は少なく、今後、ミネラルが及ぼす生体への影響と作用機序、また効果・効能に関する解明が待たれている。

#### 4. 海洋深層水と活性酸素

活性酸素とは、酸素が酸化あるいは還元反応でより反応性の高い物質に変化した場合の呼称 ( $O_2^{+}$ ,  $H_2O_2$ ,  $HO^{\cdot}$ ,  $^1O_2$ ) で、過剰产生すると生体障害を引き起こすと考えられている。スーパーオキシドディスムターゼ (SOD) は体内にて産生される酵素で、スーパーオキシド ( $O_2^{+}$ ) を過酸化水素 ( $H_2O_2$ ) と酸素に変える不均化反応を触媒することにより、障害を防ぐ上で重要な役割を果たしている。SOD は 3 種存在しており、活性中心の金属の種類の異なる Cu, Zn-SOD, Mn-SOD, Fe-SOD がある (Steinman *et al.* 1982)。また、カタラーゼは活性中心にヘムを持ち、過酸化水素を酸素と水に分解する酵素である。生体内には活性酸素消去に関わる酵素のほかに活性中心に金属を有しており、重要な役割を果たしている。

そこで、我々は、活性酸素の產生とミネラルとの関係を調べるために動物実験を行った。希釈した深層水をマウスへ投与し、血清中の抗酸化能にどのような作用をもたらすかを調べた。飼育にはオリエンタル酵母工業株式会社製の飼料を用いた。配合比を表 1 に示し、その中に含有するミネラル組成を表 2 に示した。マウスにはミネラルを含む飼料、ミネラルを含まない飼料（ミネラルは全て除去できないため、ここでは含まない飼料として記述）の 2 種類と海洋深層水を 4 % 含む水 (Na 400 ppm, Mg 53.2 ppm, Ca 17 ppm, K 16.4 ppm), 海洋深層水を含まない水 (イオン交換水) の 2 種類を組み合わせて摂取させた。摂取の組み合わせとしては、1. ミネラルを含まない飼料と海洋深層水を含まない水、2. ミネラルを含まない飼料と海洋深層水を 4 % 含む水、3. ミネラルを含む飼料と海洋深層水を含まない水、4. ミネラルを含む飼料と海洋深層水を 4

表 1 飼料組成

	ミネラル 含む飼料%	ミネラル 含まない飼料%
コーンスターク	38.0	38.0
カゼイン	25.0	25.0
$\alpha$ 化コーンスターク	10.0	10.0
セルロースパウダー	8.0	8.0
大豆油	6.0	6.0
オリエンタルミネラル配合	6.0	—
シュークロース	5.0	5.0
オリエンタルビタミン配合	2.0	2.0

表 2 飼料組成中に含有されるミネラル配合組成 (オリエンタルミネラル配合)

ミネラル配合組成 100 g 中
CaHPO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
NaCl
Ca-lactate
Fe-citrate
MgSO <sub>4</sub>
ZnCO <sub>3</sub>
MnSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O
CuSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O
KI

オリエンタルミネラル配合中のミネラル組成を示す

%含む水とした。これらの組み合わせで飼料と飲料は毎日交換し、5 日間飼育した。水の消費量は 5 日間で 200 ml/7 匹であった。飼育後、ペントバルビツール酸ナトリウムで麻酔したマウスの心臓より採血を行い、遠心後、血清を採取した。得られた血清を ESR スピントラッピング法によるスーパーオキシド消去活性 (SOSA) の測定に供した。それぞれの結果を図 1 に示す。海洋深層水に含まれるミネラル等の成分はスーパーオキシドの消去活性を示さないことにより、海洋深層水が体内に吸収されても活性を高めることは考えられない。また、後述するノルアドレナリンは活性酸素を除去することを確認しており、エネルギー代謝との関係も考えられる。これらのことから、海洋深層水のミネラル成分がスーパーオキシドの消去活性を亢進させる体内物質（例えば SOD やカタラーゼなど、活性中心に金属が存在し、活性酸素消去に関わる酵素）を誘導する可能

Values = Mean +/- S.E.  
\*p < 0.05, \*\*p < 0.01

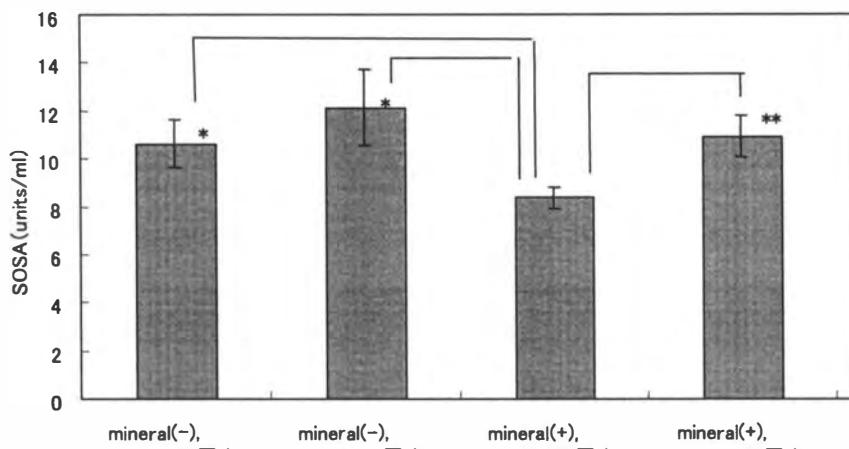


図 1 マウス血清の SOSA

性を示唆している。また、「海洋深層水が惹起する生体作用」で高脂血症ラビットに深層水を摂取させると血清中の抗酸化能が増加すると前述しているが、これは高脂血症ラビットの血清中グルタチオンペルオキシダーゼ活性が増加したことにより抗酸化能が増加している (Miyamura *et al.* 2004)。グルタチオンペルオキシダーゼは過酸化水素を水に還元して消去する、Se を活性中心とする酵素である。このことから、体内に吸収された深層水に含まれるミネラル（例えば Fe や Se）を活性中心にもつ酵素が誘導され、抗酸化能が増加したとも考えられる。

## 5. 海洋深層水と保温効果

温泉は一般的に水温や水圧、浮力の影響から血液循環の改善や疲労軽減として利用されている (Ueda 2001)。近年、海洋深層水を用いた温浴療法が注目されている。表層水や水道水を利用した温泉では血清中の乳酸とピルビン酸量は変化するが、深層水を利用した温泉ではこれらの変化が認められないことから、深層水温浴は人の体に低刺激であるとの報告 (Tsuchiya *et al.* 2003) がある。しかし、海洋深層水を利用した温泉の効能についての報告は少ない。

海洋深層水を利用した温浴が注目されている理由の一つとして、保温効果が期待される。そこで、加

熱した海洋深層水と水道水で手温浴を実施し、赤外線サーモグラフィーを用い皮膚表面の温度変化を調べた。海洋深層水は超純水で 10 倍希釈したものを使い、手温浴時間は 10 分間とした。希釈深層水のミネラル濃度は、Na 960 ppm, K 36 ppm, Mg 131 ppm, Ca 37 ppm であった。水道水のミネラル濃度は、Na 0.001 ppm 以下, K 0.001 ppm 以下, Mg 1.170 ppm, Ca 4.890 ppm であった。図 2 には、水道水区と希釈深層水区での赤外線サーモグラフィーでの結果を示した。

その結果、手温浴直後から 10 分経過後の観察では皮膚表面温度は一度冷めるが、水道水と希釈深層水とでは温度変化はみられなかった。しかし、20 分経過後の皮膚表面温度は希釈深層水の方が高く、手温が冷めにくいうことが明らかになった。この結果は、海洋深層水が保温効果を持続させていることを示唆するものである。深層水による温浴効果の一つとして、深層水が含有する塩類が肌に残留し汗の蒸発を防ぎ保温効果を示すことが考えられる。これまでにも、海洋深層水の無機塩濃度がより高濃度 (7%) であると体温が下がりにくいとの報告がある (清水ら, 1998)。

我々は、以上のような報告のほかに、海洋深層水の温浴による保温効果がどのようにして惹起されるかを考察してみた。一つの考え方として、温度効果が関与する可能性が示唆される。37~40°C の体温で

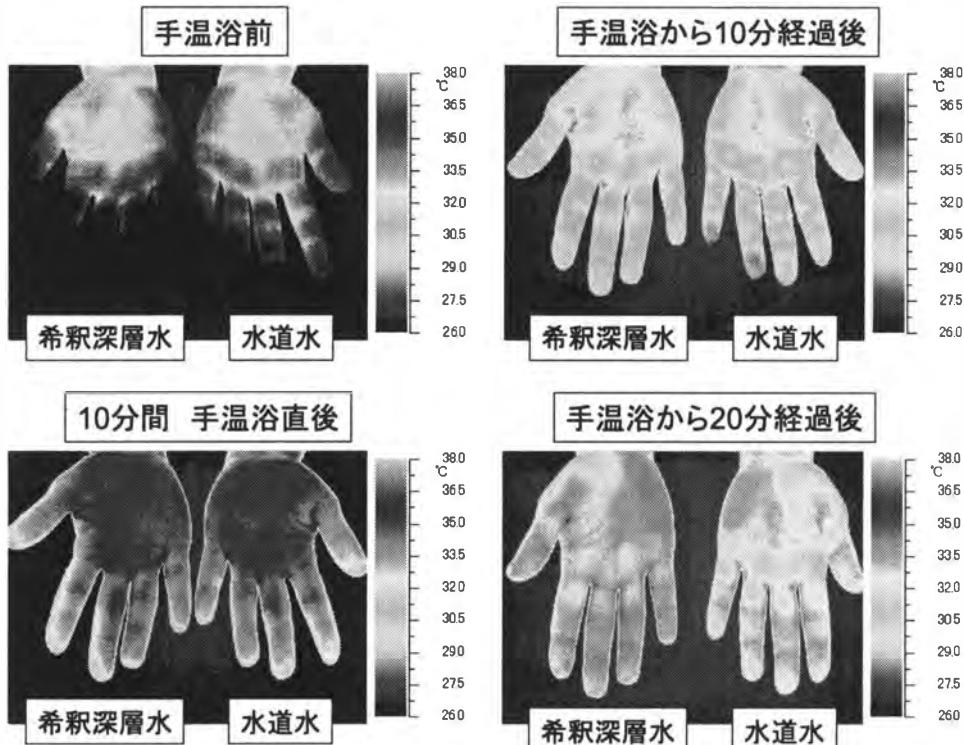


図2 赤外線サーモグラフィー観測による温度推移

は副交感神経が活発化し、副交感神経が優位に働くとリラックスした状態になると考えられている。また、40°C以上の温度では交感神経のみが活発化される。交感神経は、副交感神経とは反対に体を活動的にさせる神経であるため、40°C以上の温度で刺激された場合、交感神経が活発化することでノルアドレナリンが放出され、このノルアドレナリンの働きによりミトコンドリア脱共役タンパク質(UCP)が発現する。UCPとは、ミトコンドリア内膜に存在する膜タンパク質のことで、酸化的リン酸化を脱役することにより、エネルギーを直接熱にすることができる。UCPが活性化すると脂肪酸などの化学的エネルギーがATPを経ずに直接熱へと変換され、散逸消費されることになる。UCPには、褐色脂肪細胞に存在するUCP1、白色脂肪組織、骨格筋、脾臓など幅広く全身に存在するUCP2、骨格筋、特に速筋繊維に多く存在するUCP3などがある。また、これまでの報告から、UCPは体温調節、糖尿病や肥満などと関連していることが報告されている(Dalgaard *et al.* 2001, Frederic *et al.* 1985, Christophe *et al.* 1997)。これらのことから、海洋

深層水が持つミネラルによる保温効果がUCP1発現を介してエネルギー代謝を促す可能性も期待される。

## 6. 終わりに

海洋深層水は、科学的な検証を進めることにより幅広い応用が可能であり、実用化が図られる。農業利用、温浴施設への利用、食品加工分野への利用は、海洋深層水がもつ主要ミネラルとも言うべきNa, K, Ca, Mgが大きな役割を果たしていると考えられる。

海洋深層水が含むミネラルの性質を知ることは応用・利用へ生かすためには必要であり、未だ不明な生体への作用機序解明の原点となる。海洋深層水研究が更なる進展を遂げ、資源枯渇問題を抱える地球の新しい資源として望まれることを期待する。

## 謝 辞

本研究の執筆にあたり有益なるご助言とご教示を頂きました東北大学未来科学技術共同研究センター

庭野吉己客員教授、横浜薬科大学小澤俊彦教授には深く感謝いたします。

## 文 献

- Christophe, F., Maria, N., Sheila, C., Serge, R., et al. (1997) Uncoupling protein-2: a novel gene linked to obesity and hyperinsulinemia. *Nat Genet.*, **15**, 269-72
- Dalgaard, L. T., Pedersen, O., Diabetologia. (2001) Uncoupling proteins: functional characteristics and role in the pathogenesis of obesity and Type II. *Diabetologia*, **44**, 946-965
- Fogg, G. E., Thake, B. (1987) "Algal culture and phytoplankton Ecology" Univ. Wisconsin Press, London
- Frederic, B., Daniel, R., Jean, T., Jean, W. (1985) Molecular approach to thermogenesis in brown adipose tissue: cDNA cloning of the mitochondrial uncoupling protein. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **82**, 445-448
- Hataguchi, Y., Tai, H., Nakajima, H., Kimata, H., (2005) Drinking deep-sea water restores mineral imbalance in atopic eczema/dermatitis syndrome. *Euro. J. Clin. Nutri.*, **59**, 1093-1096
- Ian, R. R., Mason, B., Horne, A., Ames, R., Clearwater, J., Bava, U., OrrWalker, B., Wu, F., Evans, M. C., Gamble, G. D., (2002) Effects of calcium supplementation on serum lipid concentrations in normal older women: A randomized controlled trial *Am. J. Med.*, **112**, 343-347
- 海洋深層水利用学会 <http://jadowa.org/>
- Kimata, H., Tai, H., Nakagawa, K., Yokoyama, Y., Nakajima, H., Ikegami, Y., (2002) Improvement of skin symptoms and mineral imbalance by drinking deep sea water in patients with atopic eczema/dermatitis syndrome (AEDS). *Acta Medica (Hradec Kralove)*, **45**, 83-84
- Matsunaga, K., Nigi, G., Suzuki, H., Yasui, H., Deein, G., (1998) The effect of fulvic acid-Fe derived from the forest on the growth of *Laminaria religiosa*
- Miyabe and *Undaria pinnatifida* Suringar *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.*, **52**, 315-318
- Miyamura, M., Yoshioka, S., Hamada, A., Takuma, D., Yokota, J., Kusunose, M., Kyotani, S., Kawakita, H., Odani, K., Tsutsui, Y., Nishioka, Y., (2004) Difference between deep seawater and surface seawater in the preventive effect of atherosclerosis, *Biol. Pharm. Bull.*, **27**, 1784-1787
- Ouchi, Y., Tabata, R. E., Stergiopoulos, K., Sato, F., Hattori, A., Orimo, H. (1990) Effect of dietary magnesium on development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Arteriosclerosis*, **10**, 732-737
- Steinman, H., (1982) Superoxide dismutase: protein chemistry and structure-function relationship In: L. W. Oberley, Editors, *Superoxide Dismutase*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 11-69
- 清水富弘, 藤島和孝, 上田毅, 阿岸祐幸 (1998) : 海水 塩類濃度が温浴時の体温変動に及ぼす影響, 日温氣物医誌 **61**, 195-201
- Toyota, T., Nakashima, T., (1998) Comparison of the effects of water soluble (EDTA) and particulated (Chelex 100) synthetic ligands on the growth of phytoplankton population in the disphototic zone sea water, *J. Oceanogr.*, **54**, 19-28
- Tsuchiya, Y., Shimizu, T., Tazawa, T., Shibuya, N., Nakamura, K., Yamamoto, M., (2003) Changes in Plasma Lactate and Pyruvate Concentrations after Taking a Bath in Hot Deep Seawater. *Tohoku J. Exp. Med.*, **201**, 201-211
- Ueda, M., (2001) Effects of hot springs and the applications to medical science. *J. Jpn. Pharmaceut Assoc.*, **53**, 65-71
- Yoshioka, S., Hamada, A., Yokota, J., Cui, T., Yamamoto, S., Kurunose, M., Miyamura, M., Kyotani, S., Kaneda, R., Tsutsui, Y., Odani, K., Odani, I., Nishioka, Y., (2003) Pharmacological Activity of Deep-Sea Water: Examination of Hyperlipidemia Prevention and Medical Treatment Effect, *Biol. Pharm Bull.*, **26**, 1552-1559
- 財団法人機能水研究振興財団 <http://www.fwf.or.jp/>