

# 琉球大学学術リポジトリ

## [総説]海洋深層水の工業利用に向けて

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 南方資源利用技術研究会 公開日: 2014-10-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 古堅, 勝也, 大森, 保, 照屋, 孝子, 田村, 博三, 豊川, 哲也, 國吉, 和男, HURUGEN, Katsuya, OOMORI, Tamotsu, TERUYA, Takako, TAMURA, Hiromi, TOYOKAWA, Tetsuya, KUNIYOSHI, Kazuo メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016588">http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016588</a>

総 説

## 海洋深層水の工業利用に向けて

古 堅 勝 也\*・大 森 保\*\*・照 屋 孝 子\*  
田 村 博 三\*・豊 川 哲 也\*・國 吉 和 男\*

\*沖縄県工業技術センター, \*\*琉球大学理学部海洋自然学科

## The Industrial Use Of Deep Sea Water

Katsuya HURUGEN\*, Tamotsu OOMORI\*\*, Takako TERUYA\*  
Hiromi TAMURA\*, Tetsuya TOYOKAWA\*, Kazuo KUNIYOSHI\*

\*Okinawa Industrial Technology Center

Suzaki 12-2, Gushikawa City, Okinawa 904-2234, Japan

\*\*Department of Chemistry-Biology and Marinesciens University of the Ryukyus  
Senbaru 1, Nishihara, Okinawa, 903-0103, Japan

### 1. はじめに

海洋は36億年前に誕生して以来、生命の発生と進化の舞台として、また地球環境進化の原動機としての役割を果たしてきた。

海の表層水中では、太陽光をエネルギー源として植物プランクトンなどの植物が、海水中の無機の栄養物質や炭酸ガスなどを利用し、光合成により有機物質を合成している。合成されたこれらの物質は、生態系の中の食物連鎖を通してさらに動物プランクトンや魚類と言った次の

栄養段階の動物に順次移行している。

そして死亡・枯渇した動・植物は、バクテリアにより分解を受け、生態を構成する無機物質の一部は表層水中に溶出し、再び植物に利用される。しかし大部分の物質は深層水に移行・蓄積されている。この繰り返しにより、栄養塩類は表層で少なくなり、深層で豊富になる。

また、深層では、バクテリアの餌となる有機物が欠乏し、その結果バクテリアの数も非常に少なくなり、清浄な海水が生成される（図1）。

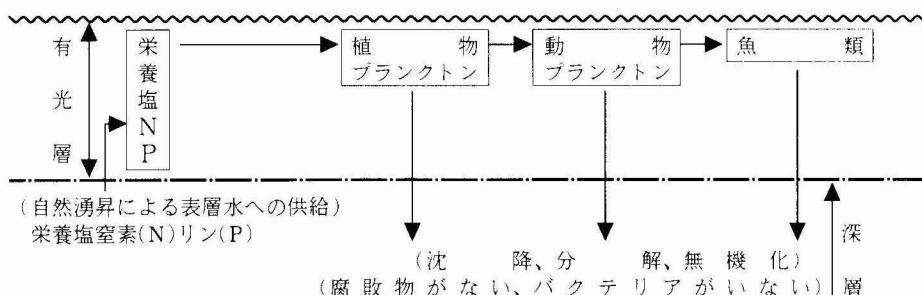


図1 海洋深層水の形成過程

\*沖縄県具志川市字州崎12-2

\*\*沖縄県西原町千原1番地

表1 海洋深層水の諸特性

## &lt;富栄養特性&gt;

- 植物の栄養に必要な無機栄養塩類、特に硝酸塩、磷酸塩および珪酸塩に富んでいる。  
(海水中の主要成分 (Na, Mg, Ca等) については差違はないが、栄養塩類 (N, P, Si) 及び無機微量成分 (Fe, Zn, Cd, Ni等) について濃度が高い。)

## &lt;清浄性&gt;

- 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いる。
- 寄生虫や付着生物が少なく、また疾病などの原因となる病原菌が少ない。
- 人為的汚染の影響を受けていないため有害物質がほとんどない。

## &lt;低水温性&gt;

- 周年を通して水温が低い。

## &lt;安定性&gt;

- 上記の諸特性の変動幅が小さく、水質的に安定している。

深層水の一部は風や流れなどの自然の力により、数日から数ヶ月の短い時間のスケールで表層部の有光層に湧昇しており、供給された無機栄養物質は再び植物に利用される。ちなみにこのような自然湧昇海域の面積は全海洋面積の0.1%と言われているが、全世界の魚類生産量の約半分がこの湧昇海域で生産されると試算されている。

一方、地球上の生態系の物質循環は、一部の例外を除いて、太陽からのエネルギーによって駆動されている。エネルギーと物質の大きな流れとしては、赤道域で暖められた海水が北極と南極に向かって流れていき、北極と南極では熱を宇宙に放出して海水は冷え、重くなつて沈降する。この沈んだ海水は、いずれ海洋の表層に回帰するが、大陸の形に制約されて図2に示す深層流を形成する。

すなわち、北極周辺で冷やされた海水は大西洋北部で沈み、南下してインド洋に入り、南極周辺海域の深層水と合流して太平洋を北上し、アリューシャン列島南部で表層に昇ってくる。

沈んでから表層に昇るまでに要する時間は約2000年と言われている。

日本近海では深さ3000m以深にこのような海水が存在している。このように、太陽からのエネルギーにより海水が循環し、低温特性をもつた深層水が常に再生されている。

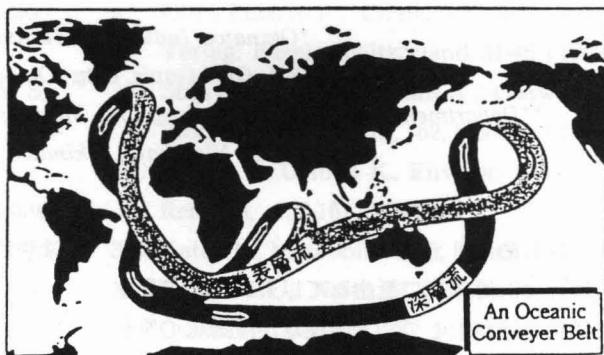


図2 世界の海洋の環境の模式図

このように、太陽光を源とするエネルギーの流れや光合成、食物連鎖、分解などの生物過程や物理・化学過程を介した物質循環系の中で深層水の諸特性が形成されている。

海洋の“深層水”的定義は曖昧で分野によって異なっているが、「光合成過程による有機物合成よりもその無機化分解過程が卓越している水、いわゆる補償深度以深の水」とされている場合があり、深層水の生物、科学的特性をよく表している。表層水と比較した場合の深層水の水質特性を表1に示す。

このような特性は、水産、有用物質生産、エネルギー回収などの諸分野において資源的価値が高く、また深層水は再生循環型なので上手に利用すれば枯渇の心配がないクリーンな大型資源といえる。

そこで、本報告では、海洋深層水の工業利用における国内外での利用研究の流れを紹介するとともに、沖縄県における海洋深層水の工業利用について、平成10年度工業技術センターの地域技術研究会事業における産官学により構成された「海洋深層水工業利用研究会」において検討された海洋深層水の工業利用についての研究方策等、検討した結果を報告する。

## 2. 海洋深層水の利用研究について

海洋深層水の利用研究は、我が国では、1976年に海洋科学技術センターにより開始された。

当初は、日本周辺海域における深層水の水質、培養植物プランクトンの増殖に対する深層水の特性等の研究がなされた。

また、深層水を利用する技術開発を進めるにあたり、次のような利用形態の概念が上げられた。

- (1) 深層水を陸上に汲み上げて生物生産やエネルギー回収を利用する技術
- (2) 深層水を浅海底に撒水することにより海藻等の生産を強化する技術
- (3) 深層水を海域に放水することにより植物プランクトンを基底とする海域の基礎生産力を強化する技術

このうち、技術開発の実現性から(1)の研究が着手された。

そして、1986年から5ヶ年計画で「海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究」が、複数の官公庁・大学研究機関の連携の下に実施された。

この中1988年度には陸上型と海上型の深層水利用実験施設がそれぞれ整備され、深層水の資源的有効性に関する実証研究が行われた。1991年度からは陸上型の深層水利用実験施設により、産官学の連携の下で深層水の利用に関する基礎的、応用的研究が行われている。これらの研究開発の進展は、さらに国内の多くの自治体による深層水利用計画の策定・推進に波及し、特に海上型の深層水利用実験施設については1993年度に高知県で深層水の多目的利用を目指して増



図3 高知県における深層水有効利用実験施設の全体図

設が行われ（図3）、その翌年度には富山県で深海性水産生物の増養殖を目指して新たに施設が建設された（図4）。

我が国では39都道府県が海に面しているが、そのうち16都道府県に深層水取水適地があり、この意味で我が国は深層水利用環境に恵まれている。

一方、国外では1881年、フランスのダルソンバールが深層水の冷熱を利用し、アメリカのジェラードとローエルは養殖、発電、淡水生産などに深層水の資源的価値を利活用する考えを発表、水深870mの人工湧昇実験施設を建造した。

1981年にはハワイ自然エネルギー研究所が、ハワイ島に人工湧昇実験施設を建設、海洋温度差発電を中心とする養殖、冷房などへの深層水利用技術の開発が進められている。

また、国際的連携の下で深層水利用に関する研究を推進するために、国際海洋温度差発電／海洋深層水利用研究協会（IOA: International OTEC/DOWA Association）が1990年に発足し、1995年3月にその主催による第1回の国際研究集会が英国ブライトンで開催されるに至っている。

【沖縄県における海洋深層水利用研究の取り組み】

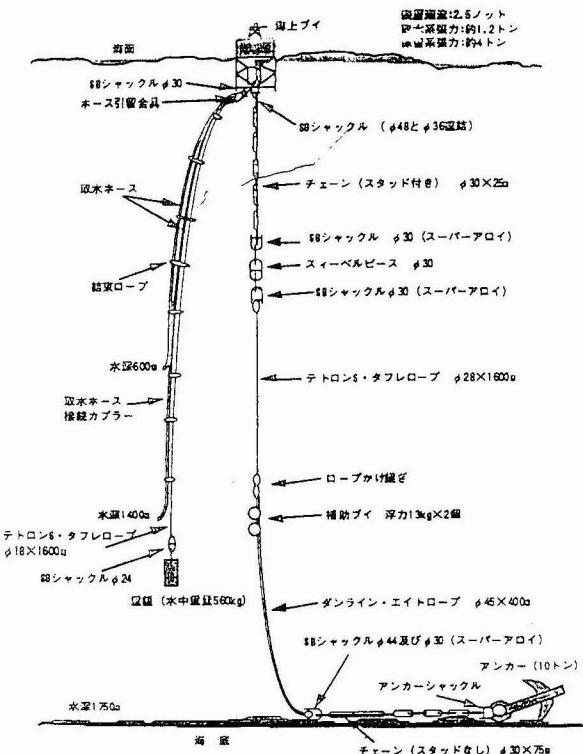


図4 海洋深層取水試験装置概略図

沖縄県における海洋深層水の取り組みは1985年に海洋科学技術センターの沖縄本島周辺離島海域の現地調査の実施が最初である。

1992年に民間による海洋深層水共同プロジェクトの準備会がもたれ、翌年に（財）沖縄農林漁業技術開発協会、（株）トロピカルテクノセンターとの連携による「海洋深層水共同プロジェクト」（事務局：（財）沖縄農林漁業技術開発協会）が発足した。同年、11月には「海洋深層水複合利用に関する調査」報告書が出され、12月末、県内産業界が中心となって「沖縄県海洋深層水利用推進協議会」が発足し、海洋深層水利用の促進を県知事に要請を行った。

1994年に県は「海洋深層水研究所拠点立地条件等調査」を(株)トロピカルテクノセンターに委託し、行政、民間の活発な取り組みがなされた。7月、ハワイ自然エネルギー研究所の研究者を沖縄に招き、意見交流を行うとともに、

翌8月には副知事を団長とするハワイ海洋深層水利用調査団が派遣された。

1995年9月、国頭村及び地元民間組織による「国頭村海洋深層水開発推進協議会」が発足、10月には「久米島地区海洋深層水開発委員会」がそれぞれ組織されるに至った。

海洋深層水を食品、医療分野等への利用展開を図る研究は、1994年から沖縄県海洋深層水利用推進協議会が独自に考案した小型の海洋深層水取水システムにより、県水産試験場等の協力を得て少量の海洋深層水を取水することから開始された。

また、1995年12月には、前述の沖縄県海洋深層水利用推進協議会を母体として、県知事認可の「沖縄県海洋深層水開発協同組合」が設立され、洋上設置型海洋深層水取水システム等の要素技術の提唱を行うとともに、1996年から県の公的補助を受けて食品、医療の各分野での研究開発が進められている。

一方、沖縄県では、2001年の供用開始を目指して久米島北部地域に洋深層水総合利用研究施設の整備計画を進めており、敷地面積10.1ヘクタールの中に研究施設、産業団地等が整備される。

海洋深層水総合利用研究所は、深層水活用の実用化研究を行うものであり、開発された技術を速やかに普及し、深層水を利用した新たな農・水産業の展開、企業誘致を行うことにより、産業の創出と地域の活性化を促進することを目指す。

取水深度は表層15mと深層600mで、それぞれ1日当たり約1万3千トンを取水する。

【水産分野】

珊瑚礁海域の海洋環境は高水温、貧栄養である。そのため、高水温時には餌となる海草類が不足し、ウニ、貝類などの安定的生産が困難であったが、低水温、富栄養、清浄な深層水特性を活用することにより、周年・安定養殖を図る。また、クルマエビ母エビの養成、冷水性・暖海性両域の魚介類養殖の実用化を行う。

表2 深層水有効利用実験施設で行われている研究

研 究 分 野	項 目	利用する深層水の主な特性			
		富栄養	低温	洗浄	その他
1. 海洋深層水の水質に関する研究	a. 水温と栄養塩類 b. 微量金属類 c. 深層細菌				
2. 生物生産分野への利用の研究	a. 植物プランクトン培養 b. 動物プランクトン培養 c. 海藻培養 d. 冷水性動物飼育 e. 深海性動物飼育 f. 飼育への洗浄性の利用 g. 魚病発生阻止	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ <sup>*1</sup>
A. 水産分野	a. 植物プランクトン培養	○	○		
B. 有用物質生産分野	a. 植物プランクトン培養	○	○		
3. エネルギー回収分野への利用の研究	a. 水温制御 b. 冷房 c. 淡水製造	○ ○ ○	○ ○ ○	○ <sup>*2</sup> ○ <sup>*2</sup>	
4. その他の分野への利用の検討	a. アトピー性皮膚炎の治療 b. 食品添加物として利用		○ ○	○ <sup>*3</sup> ○ <sup>*3</sup>	
5. 深層水利用のための支援技術の研究	a. 取水技術 b. モニタリング技術 c. 放水技術				

(注)※1:深層水に特有の水質を利用 ※2:高温の表層水も同時に利用 ※3:塩分を利用

**【農業分野】**

沖縄の農業は、夏期の高温障害により、野菜類の生産が困難であったが、深層水の冷水を利用することにより、夏場の野菜生産、開花制御技術を実用化し、新たな農業の展開を推進する。

**【健康食品分野】**

深層水の清浄性を活用し、製塩、ミネラル水などの製造、その他食品利用の実用化を図る。

**【その他】**

健康リゾート分野への活用、冷房施設への活用を行う。

**3. 海洋深層水の工業利用研究について**

海洋深層水の利用においては高知県が先進県で、1989年、海洋科学技術センターの協力を得て、わが国ではじめて海洋深層水の取水を開始した。1994年には2本目の取水管を設置し、現在、日量920トンの深層水を使って、水産分野を始め様々な分野での利活用研究に取り組んでいる。

一方、1995年から開始した民間への分水によって、飲料、食品、化粧品などの様々な分野で利用研究や商品開発が行われている。既に、一部の商品では市場調査が行われており、県内の量販店に深層水を使った商品が並んでいる。また、世界的な化粧品メーカーが室戸市に深層水を使った化粧品の製造工場を建設することとなった。

表2に当該施設で行われた深層水利用技術に関する研究を示す。

- ①海洋深層水の水質に関する研究においては、水温や栄養塩類濃度の長期変動、微量金属類のうちの鉄と銅の無機態・有機態別の濃度把握、植物プランクトンの増殖を促進する深層細菌の研究が実施されている。
- ②生物生産分野への利用研究では、水産分野において植物プランクトン、動物プランクトン、海藻培養（マコンブ）、冷水性動物飼育（大西洋サケ、ギンザケ、ヒメマスの飼育）、深海性動物飼育（メダイは約5年間飼育して卵の成熟を確認、アカサンゴが約3年間飼育）、



飼育への清浄性の利用（イセエビ幼生の飼育実験での種苗生産における感染症の防止）、魚病発生阻止（魚病のワクチン開発の基礎研究）の研究がなされた（図5）。

また、有用物質生産分野において、植物プランクトンの培養、医薬品工業原料の生産を目的にカロチノイド色素を含むドナリエラ、DH A等の脂肪酸を含むナンノクロプシス等の大規模培養、成分抽出が行われた。

③エネルギー回収分野への利用研究として、水温制御、冷房（プレハブハウスの天井に冷却パイプを張り巡らせ、輻射冷却方式で、24～27℃（外気温29～31℃）、湿度60～70%と事務作業に必要な条件を満たした（図6）。既存の電気式クーラーに比べて60%程度の省エネ効果が期待できる。）、淡水製造（蒸発法と逆浸透膜法を検討している。その清浄性から膜の性能は維持されるものの、低温性から処理速度が低下した。）が行われた。

④その他の分野への利用の検討としてアトピー性皮膚炎の治療の補助剤として深層水が試用

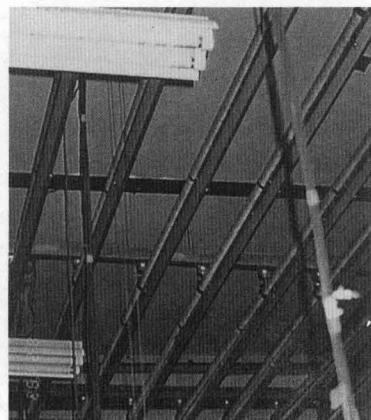
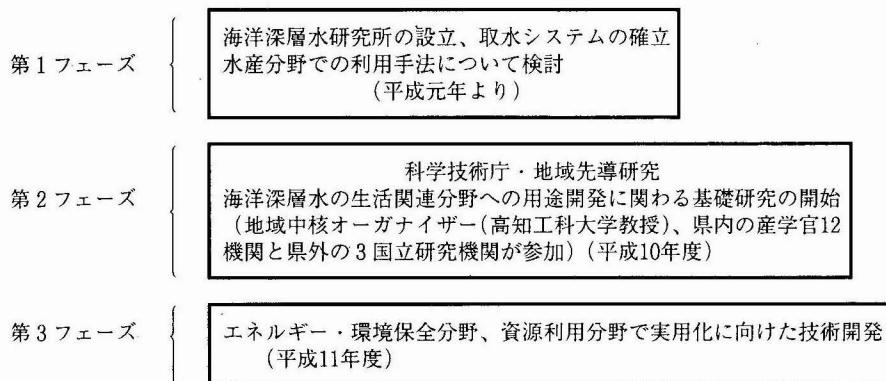


図6 省エネ冷房実験

され、400名の患者に対して66%の有効率があった。

また、深層水から製造された淡水や塩を用いた製品開発が、室戸の地元住民を中心に試みられており、清涼飲料水、清酒、醤油、豆腐、ミネラルウォーター、パン、味噌、漬物、水ようかん、アイスクリーム、塩乾物等が試作・販売されている。

表3 高知県における海洋深層水利用研究の流れ



③深層水利用のための支援技術においては、取水技術（鉄線鎧装硬質ポリエチレン性の取水管の開発）、モニタリング技術として遠隔地への自動送信機能を有する表層と深層の水温、塩分、pH、溶存酸素をモニタリングする装置の開発、放水技術として、海域を肥沃化する技術が検討されている。

（以上：海洋深層水利用研究会パンフレットより）

#### 【高知県における海洋深層水利用研究の流れ】

海洋深層水の産業利用について、高知県における室戸海洋深層水の研究の流れについて表3に示す。

①第1フェーズとして、1989年より海洋深層水研究所の設立するとともに、取水システムの確立、水産分野での利用手法について検討がなされた。

②第2フェーズとして、1998年より、科学技術庁の地域先導研究事業により、海洋深層水の生活関連分野への用途開発に関わる基礎研究が、産官学連携のもとに実施された。

海洋深層水が何にでも効くといううわべりを懸念、本質的な効用があるのか機能発現の研究及び実用化に必要な基礎的な知見が必要である。

- ・食品分野での機能解明・・・・

- 発酵促進、利用食品の機能解明

- ・生物分野での機能解明・・・・

藻類培養、作用機構、生理活性物質

- ・健康安全分野での機能解明・・・・

清浄性、安全性の評価、皮膚に対する作用機構

- ・海洋深層水の特性把握・・・・

微量成分、重金属等

③第3フェーズとしてエネルギー・環境保全分野、資源利用分野での実用化に向けた技術開発が進められている。

- ・高効率エネルギー利用、省エネ型資源利用等を含む多目的・複合利用システムの開発

- ・海洋深層水の取・放水に伴う環境影響評価技術の確立

このように高知県における海洋深層水産業利用における研究方向は、取水施設、システムの確立→深層水利用の実用化で生活関連分野での基礎研究→環境保全を配慮した多目的・複合システムの開発に移行してきている。

#### 4. 久米島海洋深層水の工業利用に向けて

深層水を問わず、これまでの海水の工業利用は、冷却水としての利用（エネルギー資源としての利用）、淡水化工業、食塩工業、海水溶存資源（にがり工業、カリウム工業等）、海洋資源として海洋エネルギー、海底資源（マンガン団塊、コバルトクラスト等）、マリンバイオテクノロジーなどがある。

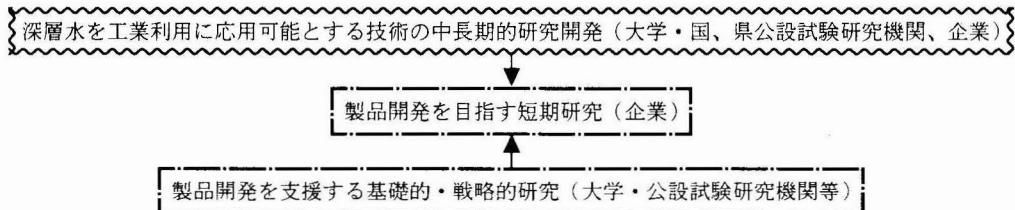
久米島仲里村における海洋深層水総合利用施

表4 海洋深層水総合利用施設整備基本方針

3 ) 健康食品分野
ア) 実用化部門
◎淡水化深層水の生産（清浄性・富栄養性利用）
淡水化装置により脱塩し、清浄性及び富栄養性に富む清涼飲料水等に活用する。
◎深層水塩の製造（富栄養性利用）
富栄養性を利用した深層水塩を製造し、健康食品として販売する。
イ) 研究部門
◎食品添加物等への応用研究（清浄性・富栄養性利用）
清浄性及び富栄養性を利用した微量ミネラルを抽出し、食品保存の効果について研究する。

工業分野での利用に当たっては、健康食品分野での利用を念頭に、その利用の方策が立てられており、実用化部門で淡水化深層水の生産、深層水塩の製造、研究部門で食品添加物への応用研究があげられている。

海洋深層水の工業利用研究については、以下のような研究戦略が挙げられる。



設整備にあたっては、基本方針が策定され、健康食品分野での利用方向が示されている（表4）。

深層水の工業利用においては、企業の製品開発研究のトリガーとなる研究資材の提供に資する産官学連携（大学・国、県公設試験研究機関、企業）による深層水を工業利用に応用可能とする技術の中長期的研究開発の早期実施が望まれる。

これまでの高知県等での海洋深層水の利用研究及び久米島における海洋深層水総合利用施設整備基本方針を踏まえ、久米島海洋深層水がもつ特性（低温特性、清浄性、富栄養性）をうまく活用（表層水にない特性）し、かつ亜熱帯地域である沖縄の地域特性を活かす工業利用（深層水の工業利用に応用可能とする技術の開発）を考えると、以下の研究課題が提案できる。

①久米島海洋深層水中の基礎性状分析（各種塩類の存在状態、形態の解明、安全性等）  
(久米島海洋深層水の基本特性の把握とともに、他県との比較による差別化)

②久米島海洋深層水の淡水、濃縮水高度分離インテグレーションシステムの技術開発研究  
(海洋深層水から有用成分の有効利用で、海洋深層水の清浄性を利用しての効率的な淡水化、及び高ミネラル含量の淡水・深層水塩製造に資する高度分離システムプラントの研究開発。)

③微細藻類の導入による高付加価値物質の生産技術の開発  
(海洋深層水の富栄養性を利用しての微細藻類大量培養、高付加物質の抽出技術の確立)

これらの開発研究により、食品加工分野で、海洋深層水原水、濃縮水、淡水を利用して種々の製品開発が可能となる。また、鮮度保持についても、原水、濃縮水、深層水氷の利用があり、鮮度保持効果について追跡試験を実施し、鮮度保持効果について実証することにより事業化を図る。

以下各研究課題について具体的な説明を行う。

①久米島海洋深層水中の基礎性状分析（各種塩類の存在状態、形態の解明、安全性等）（久米島海洋深層水の基本特性の把握するとともに、

他県との比較による差別化）

ここで、総括的に富山、高知、久米島深層水の相違比較を行う（表5）。

表5 富山、高知、久米島深層水相違表

水温	富山では96m～183m、高知では100m～200m、久米島では200m以深から水温躍層があり、富山では水深321mで3.8℃、高知では水深344mで9.5℃、久米島では、水深600mで9℃になり、このように海域で、水温躍層及びある水深における水温が異なっている。これは、富山は日本海固有水、高知、久米島は、黒潮域で海流の影響によるものと思われ、海域により水温特性に相違がある。
塩分	富山、高知で水深100m付近に最大値（約34.8psu）、久米島では水深200mで同程度の最大値を示した。一般的に海水の塩分濃度は降水、蒸発に大きく左右され、表層で一般的濃度に低いのは降雨による影響で、久米島の様に塩分の最大値の深度が大きいのは、熱帯、亜熱帯特有の蒸発の盛んな海域に見られるものである。
栄養塩類	硝酸塩、磷酸塩、珪酸塩についての栄養塩については、富山では水深96mから、高知では水深100mから顕著な増加傾向を示すが、久米島では水深300mから増加傾向を示す。栄養塩から見た深層水の特徴は、3海域とも植物プランクトンの成長に必要な微量栄養素も含め栄養塩に富んでいる。 一般的に、富山の深層水の栄養塩濃度は、高知の深層水、久米島深層水に比べて低い。これは、日本海の深層水（日本海固有水）は、地質学的年代が他の海洋に比べて若く栄養塩の蓄積が進んでいないこともあり、相対的に栄養塩の濃度が低いとされている。
栄養塩類	亜硝酸塩やアンモニウムイオンについては、表層で観測され（有光層下部、硝酸塩躍層付近にピークを形成する）、深層にはほとんど存在しない。一般的に溶存有機窒素化合物は表層で高く、深さの増大とともに徐々に濃度は減少する。 表層の栄養塩を比較すると久米島の表層水の栄養塩類の濃度が全体的に低くなっている。一般的に、日本周辺海域では、北太平洋の亜熱帯域で表層の栄養塩枯渇層の厚みが厚く、日本海、オホーツク海、親潮域で相対的に薄くなっている。このように、栄養塩の濃度については、採取された海域により異なるとともに採取深度によっても異なる。
溶存有機炭素 クロロフィルa	清浄性の指標となる溶存有機炭素、クロロフィルaについては、富山で水深80mから高知で96mから減少傾向を示した。
藻類生産能力	藻類生産能力は、富山では、水深150mより、高知では96mより増大した。
微量元素等	これまでの文献には、3つの海域の微量元素等の微量元素成分を比較したものは見あたらなかったが、一般論として次のように述べられていた。 深層水中の無機及び有機の成分の特徴として、海水中の主要無機成分（Na, K, Ca, Mg, Cl, SO <sub>4</sub> ）については、表層水と深層水について大きな差違はない。 微量元素の場合、海洋生物にとって微量元素（Fe, Cu, Zn等）と考えられる成分は表層水より深層水が高い濃度を示し、これらの微量元素は海水中の有機配位子と錯体を形成しやすい。一方、最近の人類活動により放出量が増加している汚染物質は無機成分、有機成分を問わず、深層水ではまだ低い濃度にある。ただし、海水中のこれら微量元素成分の濃度は極めて低く、場合によっては研究機関で作られる蒸留水より清浄である場合がある。 以上、今後は、それぞれの海域での微量元素について主要なものについては分析・比較検討を実施する必要がある。

②久米島海洋深層水の淡水、濃縮水高度分離インテグレーションシステムの技術開発研究（海洋深層水から有用成分の有効利用で、海洋深層水の清浄性を利用しての効率的な淡水化、及び

高ミネラル含量の淡水・深層水塩製造に資する高度分離システムプラントの研究開発。）

深層水の淡水化施設については、逆浸透膜による前処理施設なしの長期運転の成功事例と、

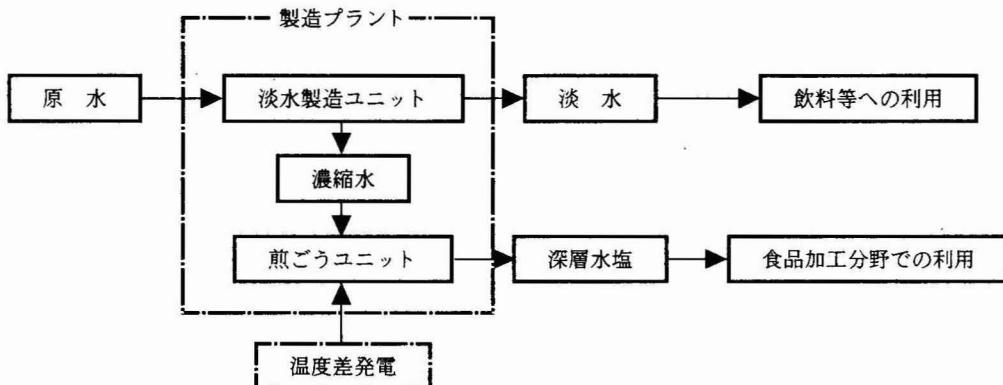


図7 海洋深層水高度分離製造プラント

減圧蒸留、煮沸等による海洋深層水塩の基礎的な試験がなされている。

これらの研究成果を踏まえ、海洋深層水の有用成分の高度分離利用という観点から、海洋深層水原水を淡水化するとともに、副産物で生じる濃縮水からさらに、さまざまな成分比が調整できる海洋深層水塩の製造、インテグレーションナルな高度分離製造プラントの技術開発の実施が望まれる（図7）。

ここで、海洋深層水の特性をうまく活かすとの観点から、

①淡水製造ユニットで海洋深層水の清浄性を利用して殺菌等前処理装置の省略によるイニシャルコスト、ランニングコストの低減を図る。

（なお、淡水製造にあたっては、逆浸透膜法のみではなく、電気透析法も検討する。）

②海洋深層水の冷熱利用の温度差発電で製造プラントを運転する。

製造された淡水は飲料水に、深層水塩は食品、食品加工の分野での利用および鮮度保持への利用等、食品加工製造分野での様々な利用に資するものと思われる。

③微細藻類の導入による高付加価値物質の生産技術の開発（海洋深層水の富栄養性を利用しての微細藻類大量培養、高付加物質の抽出技術の確立）

現在、微細藻類の商業的な大規模培養はクロ

レラ Chlorella、スピルリナ Spirulina、ドナリエラ Dunariella の3つの藻種で行われており、生産された藻体は健康食品、天然色素、食品添加物、飼料添加物、動物性プランクトン用餌料などとして利用されている。その他にも微細藻類は生理活性物質、色素、脂肪酸、毒素、多糖類など多様な有用物質を生産すること、単位面積当たりの収穫が高いこと、環境に対する適用能力が高いことから、有用物質生産、二酸化炭素回収、排水処理など様々な分野で応用研究が進められている。

#### 深層水は

①窒素、磷、珪素などの必須栄養素が豊富で、これらの組成比がほぼ一定（富栄養性）

②可分解性の有機物、バクテリア、懸濁物質等が少なく、微生物学的に安定（清浄性）

③水質の季節変動が小さい（安定性）があるため微細藻類や海藻の培養水としての利用が期待されている。

これまで、珪藻類、緑藻類、紅藻類、プラシノ藻類、真正眼点藻類などの深層水を用いた室内培養試験が実施されている（海洋科学技術センター）。

深層水で増殖する微細藻類の最終細胞濃度には、深層水の栄養塩類の濃度が、比増殖速度には水温及び光の培養条件が、誘導期にはキレー

表 6 深層水を用いた連続培養定常における珪Ch.ceratosprumの細胞濃度、栄養利用率お細胞当たりの栄養取り込み速度に対するキレート物質と鉄の影響

	細胞濃度 ( $\times 10^4$ 細胞/ $\text{ml}$ )	深層水の栄養塩利用率 (%)		細胞当たりの栄養塩取り 込み速度	
		硝酸塩	磷酸塩	硝酸塩	磷酸塩
深層水	6.04	45.7	43.3	$1.07 \times 10^{-1}$	$1.69 \times 10^{-2}$
+ EDTA	8.41	65.1	61.3	$1.07 \times 10^{-1}$	$0.71 \times 10^{-2}$
+ EDTA・鉄	11.06	99.6	93.8	$1.27 \times 10^{-1}$	$0.82 \times 10^{-2}$
+ EDTA・マンガン	6.95	48.7	45.9	$1.99 \times 10^{-1}$	$0.99 \times 10^{-2}$

添加量 : EDTA : 0.69/M.Fe 0.30/M.Mn : 0.20/M

ト物質の関与が認められた(表6)。

特に、流水系での微細藻類の培養において深層水の栄養塩類は十分に利用されておらず、有效地に利用されるためにキレート物質や鉄が必要であった(微細藻類にとって利用可能な溶存態の錯化鉄(キレート鉄)の濃度が低い)。今後、深層水におけるキレート物質、必須微量元素、ビタミン類など生物学的に活性な微量成分の濃度や存在状態について検討をする必要があると結論付けている。

また、藻体成分として蛍光赤色色素フィコエリスリンおよび高度不飽和脂肪酸を含有し、細胞外に粘性多糖を生産する紅藻のポリフィリディウムの培養を行っている(クロレラ工業株式会社)。

深層水は栄養塩類の濃度が高いものの、その結果得られる藻体濃度は18.3mg/Lと微細藻類の大量生産が行われる濃度に比べて極めて低く、さらに栄養塩類を添加する必要がある。

深層水に含まれる溶存無機炭素を利用して培養を行った場合藻体収量47mg/Lまでの生産が可能であった(炭酸ガスを供給すると288mg/L)。

当該培養実験では、培養期間中冷却管に深層水を通じることにより夜間の水温20°C以下に、日中の水温30°C以下に制御することが可能であった(図8)。(日中の培養液の水温が細胞の増殖の適温を超えると夜間呼吸によって藻体が減少することによって培養が不調になる。)。

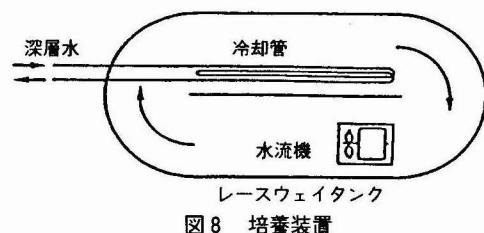


図8 培養装置

また、深層水の清浄性により培養期間を通じて他の藻類や原生動物などの汚染がなかった。

深層水が清浄であること、深層水によって温度制御が可能であることは、集約的な藻類生産を行う場合、特に有効と結論付けている。

久米島海洋深層水での微細藻類の大量培養にあたっても、海洋深層水の富栄養性、清浄性を利用して、クロレラ、ドナリエラ等の微細藻類の大量培養による有用物質生産の利用を進める必要がある。

## 5. おわりに

海洋深層水は、水産、エネルギー生産、有用物質生産、環境保全、農業、地域振興と多岐にわたる利用可能な循環再生型の資源である。しかし、深層水の人工的な利用においても、深層水の再生速度以上に利用すれば、枯渇する恐れがあるとともに、排水時の環境との摩擦も懸念される。

したがって、深層水の大規模・集中型の利用を推進するより、小規模・分散型の利用が、環

境と調和した利用を図ることが可能である。すなわち、深層水利用は、地域の海洋特性を活かし、その地域のニーズに応える利用の仕方を、しかも小規模・分散型で展開することが重要である。

高知県室戸における深層水利用研究は1989年から行われており、当初は国立研究機関、大学、大企業等が研究を行っていたが、徐々に地元住民の間で関心が高まり、それに応えて1995年に、高知県による地元住人に対する深層水の分水が開始された。

以来、既に紹介した技術開発とは別に、深層水から製造した淡水や塩を原料として、清涼飲料水、清酒、醤油、豆腐、ミネラルウォーター、パン、味噌、漬物、水ようかん、アイスクリーム、塩乾物等が試作・市販されるにいたっている。これら住民による活動が成功を納め、高知県知事は県外企業の誘致を積極的に進め、室戸に工場が建つこととなった。

本県においても、海洋深層水の利用研究は、2つのアプローチで利用研究が模索されており、その一つが民間企業で組織された沖縄県海洋深層水開発協同組合での洋上設置型海洋深層水取水システムの研究が、もう一つが沖縄県で2001年に久米島北部に供用開始が予定されている陸上型の海洋深層水総合利用施設で深層水の資源特性を使い切る多段利用方式での利用研究である。

一方、海洋深層水工業利用研究会は、平成10年度、工業技術センターにおける地域技術研究会事業のなかで、海洋深層水工業利用研究会として琉球大学理学部海洋自然学科の大森教授を会長に、食品加工製造を中心とする15社の会員で発足した。

そこで、地域振興に根ざした海洋深層水の工業利用研究の方策について、海洋科学技術センター海洋生態・環境研究部の豊田孝義研究副主幹からもご指導いただき、3つの研究課題があげられた。

①久米島海洋深層水中の基礎性状分析（各種塩類の存在状態、形態の解明、安全性等）

（久米島海洋深層水の基本特性の把握とともに、他県との比較による差別化）

②久米島海洋深層水の淡水、濃縮水高度分離インテグレーションシステムの技術開発研究（海洋深層水から有用成分の有効利用で、海洋深層水の清浄性を利用しての効率的な淡水化、及び高ミネラル含量の淡水・深層水塩製造に資する高度分離システムプラントの研究開発。）

③微細藻類の導入による高付加価値物質の生産技術の開発

（海洋深層水の富栄養性を利用しての微細藻類大量培養、高付加物質の抽出技術の確立）

海洋深層水の工業利用にあたっては2つのステップがあり、ファーストステップとして、深層水の当該地域での基礎特性把握及び深層水の高度分離による工業原材料の提供で、セカンドステップとしてその原材料を用いての製品開発がある。

②の研究課題は、ファーストステップでの深層水の工業利用に資する原材料の供給のための海洋深層水の高度分離にかかる技術的開発課題である。すなわち、海洋深層水の諸特性をうまく活かした深層水仕様の高度分離技術の確立が次のステップに進むための必要条件となるべく。

次に、その原材料を用いて、高知県と同様、食品加工分野で種々の製品開発が期待される。そこでの研究課題として、例えば食品利用における種々の機能発現、生鮮食料品の鮮度保持機能についての課題等があげられる。その段階では、産官学連携のもとに、①製品開発における最適諸条件等の検討、②機能発現にかかる実証研究等、共同での研究実施が望まれる。

深層水は、北海で沈み込み数世紀で日本近海に到着する資源であるといわれている。

富栄養性で、窒素だけでも1000億トンに達し、また、海水の再生速度が3000年と見積もられており、枯渇しない限度で使用すると440兆トンの資源と言われている。

このような再生循環型の資源の①環境との摩擦を軽減した環境調和型の利用研究を進めるとともに、②地域のニーズに応える利用研究を今後とも推進し、当該利用研究成果が地域の社会システムに根付くことで、内発的、自立的な地域振興が図れることを期待する。

## 参考文献

- 1) 世界の海洋を巡る深層流  
(W.S..Broecker, and G.H.Denton: The role of ocean-atmosphere reorganization in glacial cycles. *Geochim.et Cosmochim, Acta*, 53, 2465-2501, 1989)
- 2) 沿岸の環境圈1998.8.29 小野介嗣
- 3) 豊田孝義、中島敏光、藤田恒美：深層水取水装置、JAMSTEC, vol. 9, pp.60-63 (1991)
- 4) 「洋上設置型海洋深層水取水試験装置の設置について」沖縄県海洋深層水利用推進協議会藤井宏一郎（海洋深層水'98・高知大会【講演要旨集】）
- 5) 中島敏光、豊田孝義、山口光明：海洋深層水利用技術の研究概要と栽培漁業分野への応用水産振興, No302,p.60(1993).
- 6) 高知県における海洋深層水の食品利用の現状  
高知県工業技術センター技術第2部久武陸夫（海洋深層水利用研究会ニュース、第1卷、第2号、1997年）
- 7) 中島敏光：海洋深層水利用研究の現状と将来、太陽エネルギー、Vol.19, pp.18-24 (1993)
- 8) 「静岡における深層水利用研究の取組」萩原、河尻、鈴木（海洋深層水'97－富山シンポジウム）
- 9) 「富山県における深層水利用研究の取組」富山県水産試験場 次長 奈倉昇（海洋深層水利用研究会ニュース、第1卷、第1号、1997年）
- 10) 「滑川氏における海洋深層水施設」滑川市産業民生部商工水産課 主幹 坪川宗嗣（海洋深層水利用研究会ニュース、第2卷、第2号、1997年）
- 11) 「室戸海域および富山湾海域の海洋深層水の水質特性について」中島敏光、豊田孝義、筒井裕之（海洋科学技術センター、海洋深層水'98・高知大会／講演要旨集より）
- 12) 海水と科学と工業 sea water, its property and technology (日本海水学会・ソルト・サイエンス研究財団) p390, p394
- 13) 海洋深層水'98・高知大会 配付資料
- 14) 海水淡水化への深層水の応用 月間海洋／Vol.26.No3.1994
- 15) 海洋深層水を使った海水淡水化長期実証運転について 谷口道子（高知県海洋深層水研究所）、浜口大作（室戸市役所）、勝部幹夫（東洋紡績）海洋深層水'98・高知大会／講演要旨集より
- 16) 濃縮深層水の利用について  
藤田恒美等NYK輸送技術研究所 海洋深層水'97－富山シンポジウムより
- 17) 藻類培養水としての深層水の特性 中島敏光ら海洋科学技術センター  
海洋深層水'97－富山シンポジウム講演記録集
- 18) 海洋深層水を用いたポルフィリディウムの培養丸山功等クロレラ工業株式会社  
海洋深層水'97－富山シンポジウム講演記録集
- 19) 深層水とエネルギー 森野仁夫 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー導入促進部 海洋深層水'97－富山シンポジウム講演記録集
- 20) OTECとバイオマス発電を組み合わせた総合システムについて 大塚耕司大阪府立大学工学部海洋システム工学科  
海洋深層水'97－富山シンポジウム講演記録集

録集

- 21) 海洋温度差発電とスプレーフラッシュ蒸発  
式海水淡水化の開発と展望  
上原等佐賀大学理工学部付属海洋温度差工  
エネルギー実験施設

- 日本海水学会誌第53巻 題1号（通巻299  
号）平成11年2月 p2-11  
22-24) 海洋深層水'98・高知大会／講演要旨集  
より