日本財団
The Nippon Foundation

洋上設置型海洋深層水取水装置による
海洋深層水の調査研究

平成13年3月

沖縄県海洋深層水開発協同組合
沖縄県浦添市字城間1985-1(オリオン会館)

はじめに---深層水の研究開発に向けて

1.はじめに

本報告書は、平成12年度の日本財団助成事業「洋上設置型海洋深層水取水装置による海洋深層水の調査研究」を取り纏めたものである。

“海ヤカラ1号”の設置は、私どもには予想もしなかった海域の肥沃化の手がかりと言う研究分野に導き、深度600mと1400mより汲み上げた深層水の利活用においては生体組織の活性化維持に繋がる魚介類の鮮度保持現象を垣間みることになった。

自然界には科学をもってしてもまだ解明のできない諸現象が数多く存在しており、本調査研究のテーマである“海ヤカラ1号”に関係する設置周辺海域で植物プランクトンが増加していると考えられる事柄や、深度600mと1400mより汲み上げた2つの異なった深層水を調合希釈生成することで得られる溶液の振る舞いとして魚体の生体組織中心部まで達する鮮度保持効果等も諸現象の一つであると考えている。

また、“海ヤカラ1号”より取水された深度600mと1400mの深層水の“みかけの古さ”がそれぞれ930±70年と2030±30年と測定されたことは、海洋大循環と海ヤカラ1号由来の深層水が関連していることの証であり、先進の高知県、富山県に建設された深層水研究所を始めとする公設施設、及び民間施設を含めて我が国で初めての成果である。

地方において、リスクが多い新規の研究開発を推進し、且つ成果を生み出すことは、良い研究テーマとの巡り会いもさることながら、人的、技術的、そして予算等の物心両面からのサポートが不可欠であると痛感している。

2.組合の設立経緯

沖縄は熱帯の海域に点在する多数の島々よりなり、地勢学的にも重要な位置にあり、多くの可能性を秘めている。

当組合は、平成4年に数名余の民間人が中心となって進められた深層水についての勉強会に始まる。この勉強会発足の直接の発端は、国立医薬品食品衛生研究所化学物質情報部神沼二眞部長より東京大学教授高橋正征先生が書かれた「海にねむる資源が地球を救う---深層水の利用　あすなろ書房」を勧められたことに起因する。

熱帯の海を擁する沖縄での深層水の可能性に夢を抱き、地元産業界の理解と協力に支えられ、自力により沖縄の深層水を汲み上げてみたいと言う単純な動機が始まりである。

深層水事業立ち上げの県民意識の高揚を促すことを柱に、平成5年12月に任意団体の沖

縄県深層水利用推進協議会が設立され、下記の事業を推進した。

・深層水の研究者を招いた講演会の開催

・沖縄での深層水事業の可能性の調査報告書の取り纏め

・市販のホースを利用して船による最初の深層水の取水(深度450m)

・医療分野等の各種予備的な試験研究の推進

・沖縄県知事への深層水研究施設の早期建設要請(平成5年12月21日)

(今日、沖縄本島西方海上に浮かぶ久米島の研究施設建設で実現化している)

更に継続的な研究開発の必要性から、前述の任意団体を法人として公的助成による研究開発の継続のために平成7年12月設立認可されたのが当組合である。異業種の民間企業6社(ビール会社、医療機関、セメント会社、泡盛製造会社、製糖会社、造船会社)により構成されている。

平成8年度から同10年度の3ヶ年に渡り、国(当時の通商産業省関係)と沖縄県による研究助成事業「融合化開発促進事業」を受け、洋上設置型深層水取水試験装置“海ヤカラ1号”の開発、医療分野と食品分野での応用技術の開発を進めてきた。

“海ヤカラ1号”の“ヤカラ”は、沖縄本島糸満地方の方言で、海の元気者、海の勇者と言う意味である。

3.深層水の取水について

1)深層水取水方式

深層水を量的に確保する取水方法には、大きく分けて下記の3方式がある。

・陸上設置型

・洋上設置型

・洋上移動型

陸上設置型は、高知県室戸市、沖縄県久米島に建設されているタイプの取水システムで、沿岸部に取水ポンプを設置し、取水管を海底に沿って延伸し、所定の深度より取水する方式であり、離岸距離が短い海岸環境等が設置の条件となる。現在、多量の深層水を必要とする分野の主流取水システムとなっている。

現在国内では、高知県、富山県、沖縄県、北海道(民間)等で稼働しており、今年春には静岡県でも新規に稼働する予定となっている。

海外では、米国ハワイ島のNELHA自然エネルギー研究所が有名で、他にノルウェーで稼働している。このシステムの取水深度(水深)は300m～600m、取水口は1個であること

が特徴である。

洋上設置型は海上にブイ等を常設し、そこから所定の深度まで取水管を海中に吊して、洋上の取水船等により深層水をポンプアップするシステムである。この方式により多量に深層水を取水する方法も技術的には可能であるが、現時点で稼働しているのは取水量が小規模の“海ヤカラ1号”のみである。

同方式の特徴は以下の様である。

・海域の設置場所を選ばない

・取水深度が自由に設定できる

・取水作業が海象条件に左右される

洋上移動型は、観測調査船や船に採水器等の取水機器や取水管を搭載して、任意の海域で所定深度の深層水を取水する方法で、海洋調査等の分野で行われ取水量は少量である。

洋上設置型システムの海ヤカラ1号は、幾つかのアイデアと実践の結果により誕生した。

前述の沖縄県深層水利用推進協議会は、平成5年夏、図1の左図のように船に市販のホースを搭載し、任意の深度にホースを降ろして深層水を取水する方法により、深度450m～600mまでの深層水を数トンレベルで取水することに成功した。しかし、この方法では大人数の作業員、取水管の損傷等の課題を解決することができず、また経済性も問題となり別途代替案の模索に入った。

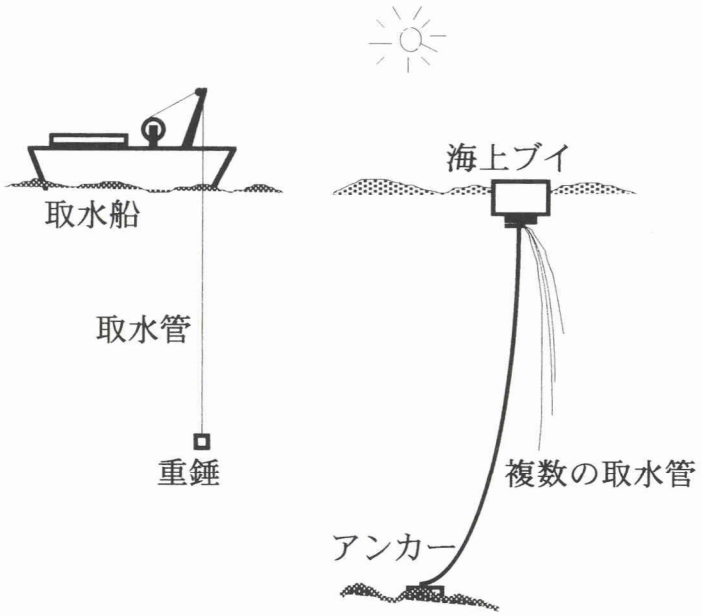


図1　深層水を取水する洋上移動型システムと洋上設置型システム概念図

その為に考え出されたのが図1右のシステムである。海上ブイに取水管をタコの足の様に取水深度別に吊り下げた取水システムである。同システムについて平成8年春、東京で

ワークショップを開催し、深層水研究の関係者に集まって戴き検討をお願いしたがリスクが大きいと言う意見がほとんどであった。

結局、事務局責任で2本の取水管を吊り下げるシステムの開発を行うことに落ち着き、これが海ヤカラ1号の誕生に至る。

2)取水深度の選定

“海ヤカラ1号”は、深度600mと1400mの2層の深層水を取水できる機能を備えている。実海域に常設の取水装置としては特記的なことで、このことが当組合の深層水利用のバリエーションを広げている大きな要因となっていると考える。

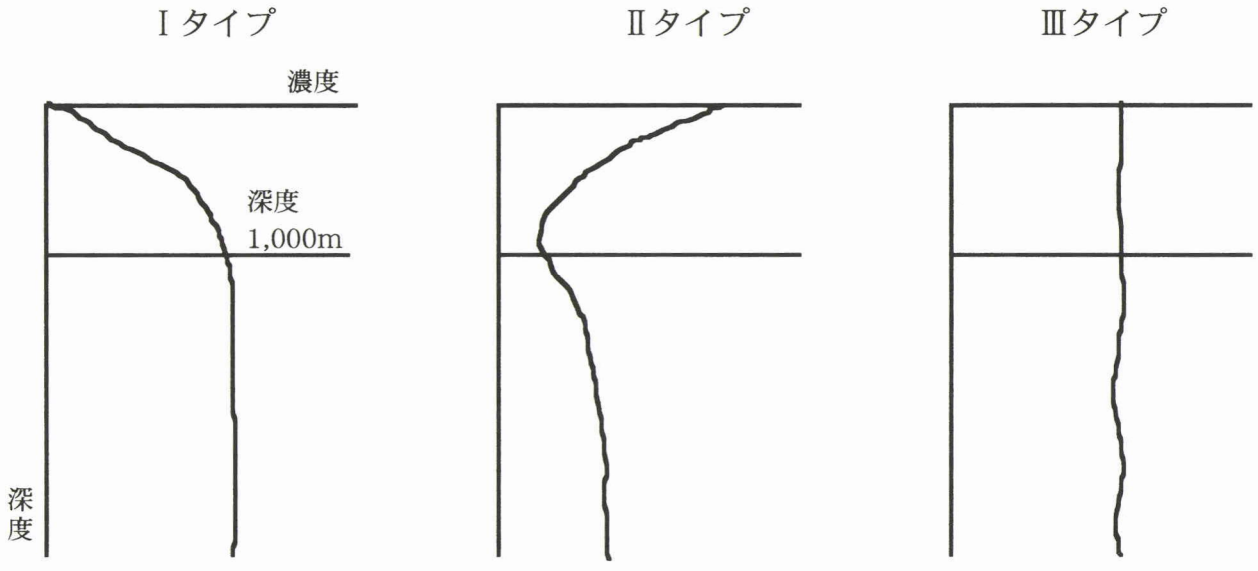
海水中の溶存物質の鉛直分布(太平洋)には図2の様な幾つかのパターンが存在する。

Ⅰタイプ：表層の濃度はほぼゼロに近いが、深度1000mに向けて濃度が上昇する
N,Si,P,Fe,Zn,Ge,Cd等

Ⅱタイプ：表層の濃度はある値であるが、深度1000mに向けて濃度が減少傾向を示し、以深では緩やかな上昇となる
O,Al,Co,Sn等

Ⅲタイプ：深度が変化しても濃度変化が殆ど無い
B,C,F,Ne,Na,Mg,S,Cl,Ar,K,Ca,V,Br,Rb,Sr,Mo,I,Cs,W等

Ⅳタイプ：Ⅰタイプと類似しているが、表層の濃度はある値にあり、深度3000mに向けて濃度が上昇する
Ni,Se,Y,Ba等



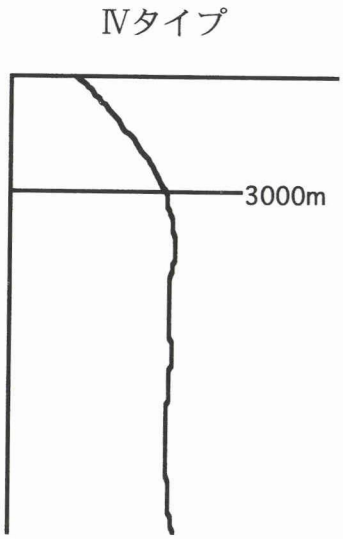


図2　海中の主な元素の鉛直濃度
（タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）

当組合が注目をしたのは、Ⅳタイプを除き何故に深度1000m付近を境に濃度挙動に変化が生じるのかと言うことであった。

また、自然界の深層水湧昇メカニズムは、図3左の様に特定の深度の深層水がそのまま上昇するのではなく、右図の様に色々の異なった深度の海水が混合しながら上昇してくるのではないかと言うことである。

自然界の湧昇メカニズムになるべく近づくためには、取水深度を多数確保できるような取水管の仕組みを検討する必要がある(次頁、第4図)。

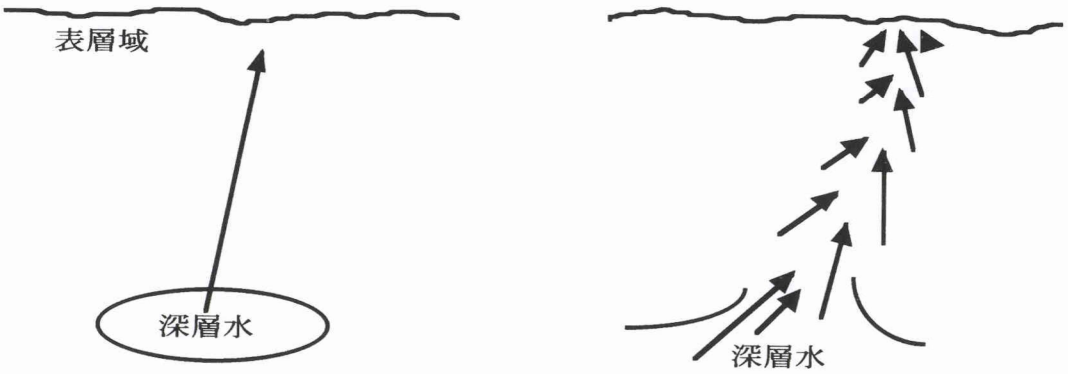


図3　深層水の湧昇

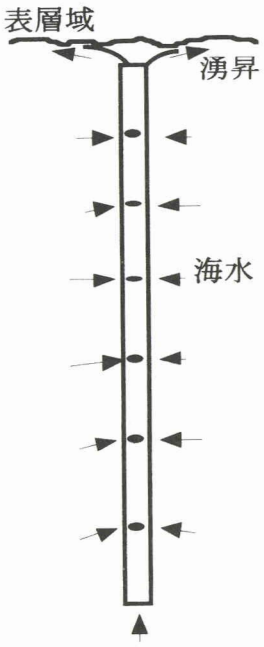


図4　多層の深度の海水を湧昇させる
取水管(概念図)

“海ヤカラ1号”は、上図の自然の仕組みに漸近的な場合の最小の自由度を備えた深層水取水装置となっている。自然湧昇の仕組みが、深さの違うそれぞれの海水の混合にあると見た場合、混合のためには深度の違う海水が少なくとも2種類以上必要となる。

海ヤカラ1号は、深度の違う2種類の海水の取水にあたっては質的に異なる海水を取水すべく取水深度を設定した。そして質的な変化の分岐深度は、海水の微量元素等の濃度挙動が大きく変化する深度1000mを目標とした。

濃度挙動の変化(Ⅰタイプ、Ⅱタイプ)を満たすべく以下の取水深度に設定してある。深度600mの取水深度は、水産分野の栄養塩濃度の確保(硝酸態窒素濃度15μM/ℓ以上)から設定し、深度1400mは、当時の沖縄県における深層水の試験研究を含む採水能力環境(県の水産試験場の調査船「図南丸」の採水器等を吊り下げるワイヤーロープの最長が1500mであった)が最深で深度1500mであり、深度1400mの深層水の基礎的なデータ(栄養塩濃度)が既に構築してあり、そのデータ活用の有用性からもう一つの取水深度を前述したように1400mに設定した。

3)海ヤカラ1号の設置場所

最初の海ヤカラ1号は、平成9年2月、沖縄本島南方約30km、水深約1,800mの海域に設置された。

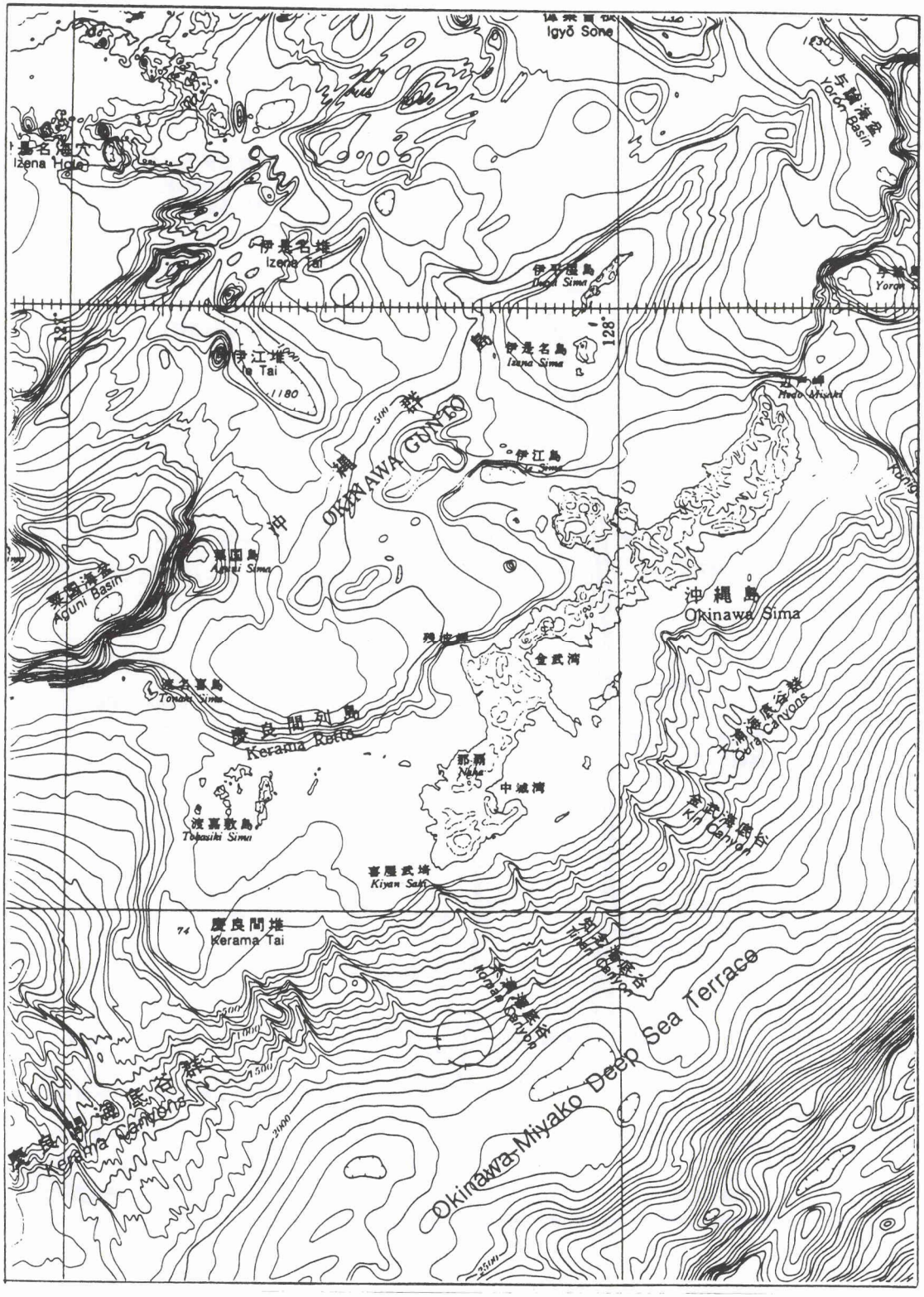


図5　海ヤカラ1号の設置場所(H9.2.20)

4)海ヤカラ1号概念図

海ヤカラ1号は、海上ブイ、取水管、係留索、アンカーより構成される。台風による厳しい海象条件を考慮して浮力を小さくし、台風時には海面下に没水する形態をとっている。

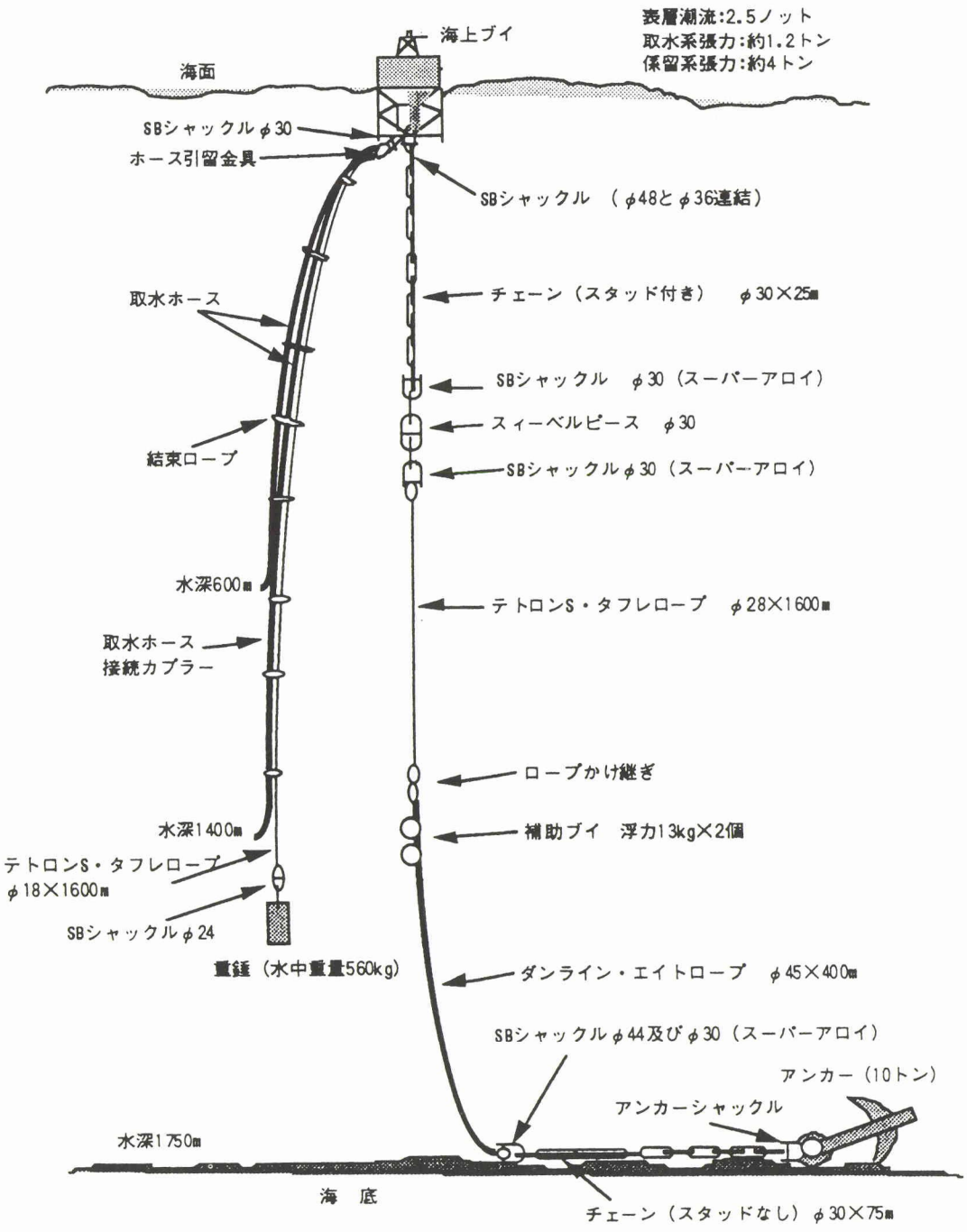


図6 海ヤカラ1号概念図

4.深層水調合液-鮮度液について

鮮度液は、当組合が平成9年度に開発を始めた海水(深度600mと1400mの深層水含む)と真水のみによりなる液体である。

名前の通り、魚等の鮮度保持を目的としている。

1)深層水を含む海水に対する研究開発の基本姿勢

深層水を用いた研究開発と商品化は、先駆的に深層水が取水されている高知県内で顕著である。当組合では、“海ヤカラ1号”からの取水量が少量にならざるを得ないと言う制限の中で、模倣でない独自の技術開発を進めてきた。

鮮度液は、前述の深度600mと1400mの深層水を調合することにより平成9年の夏に開発されたものである。

鮮度液開発に当たり基本とした開発姿勢は次の様なものである。

・現在の科学を持ってしても“海水”は生成できていない

・自然界に無駄は無い---無駄は人間の現在の価値尺度により決まる

・人類の現在の科学力を持ってしても“生命体”は生成できていない---地球上で唯一海水が生命を誕生させた

細胞の活性に関与するような物質の開発には、上記項目を基調とする取組姿勢が重要であると考え、海水(深層水を含む)に塩分が多いので除去するとか、淡水化して使用する等の技術体系を持ってしては、生命現象に本質的に関連する鮮度保持あるいは代謝活動の活性化等の技術開発は困難であったと考えている。

本技術は、海水から何か成分を取り除く訳ではなく、反対に海水に何かを添加するわけでもない。海水のあるがままの状態に基づいて、濃度が高ければ希釈する等の技術的構築を行った。魚の鮮度保持はこうした考えの基に、細胞に馴染みやすい水とはどのようなものであろうかとプログラムを行い、実行した暁にかいま見たものである。

鮮度液原液は、上記の深度600mと1400mの深層水を調合し、魚の生体組成の調和点を見いだすために蒸留水等で調合希釈したものである。図7は、鮮度液原液の生成方法の概略図である。

2)鮮度液の濃度

海水(深層水を含む)と真水のみで調合生成されている鮮度液の海水濃度は、高知県や富山県、沖縄県久米島等の他の地域で深層水の活用を行っている事例と比較すると極端に薄

い。そのために深層水研究に携わる研究者、一部の専門家の方々に、全てを理解して戴いている訳ではない。しかし、生命科学、医学、薬学等の生命体を研究テーマとする分野では一般的な常識的数値である。

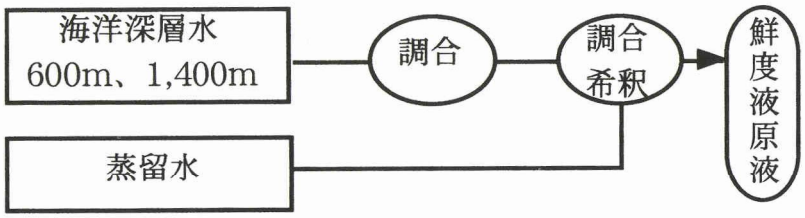


図7　鮮度液原液の生成フロー

しかし、一般に生物の代謝活動を司っているホルモンに代表される生理活性物質の生体内での濃度は極めて少ないのが普通であり、また、作用面だけから見た場合、環境ホルモン様物質に至っては10億分の1(単位：ppb)から1兆分の1(単位：ppt)、場合によっては1000兆分の1(単位：ppq)単位で影響を及ぼすことが分析技術の進歩により解明されつつある。

鮮度液は海水と真水のみにより生成されており、鮮度液の原料である海水は、地球誕生の歴史の中で陸上にある岩石含有物(ミネラル)が雨により水に溶解し海に運ばれ、生成されたものとされている。

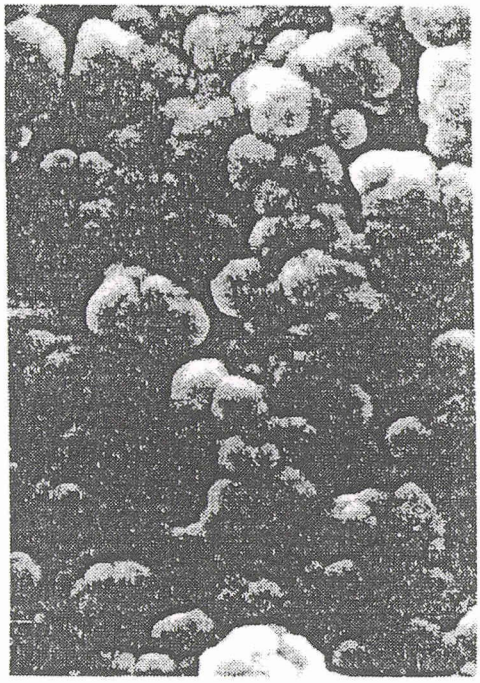


写真1　超純水

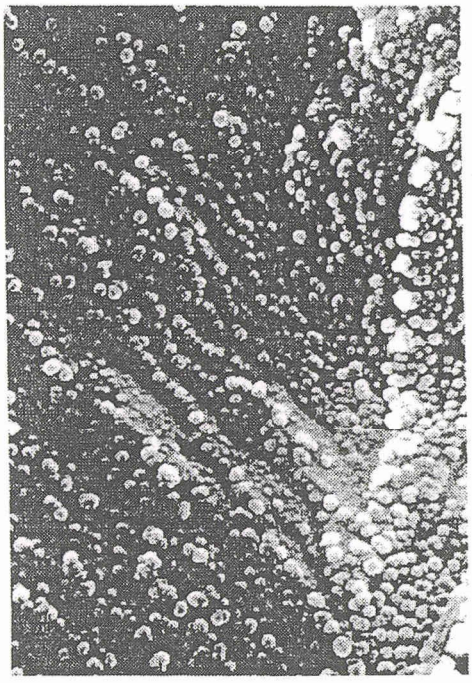


写真2　7ppb濃度のミネラル液

ミネラルと水の相互作用の研究(現在、有限会社川田研究所代表取締役川田薫氏)は、旧科学技術庁の外郭団体である新技術事業団のプロジェクト「さきがけ21」でも取り上げられ、ミネラル濃度が数ppb(10億分の1レベル)であっても水の分子同士が互いに引き合う結合エネルギーを増す効果のあることが判明している。前頁の写真1左は、超純水を液体窒素で凍結した電子顕微鏡写真である。同じく右写真は、ミネラル濃度7ppbの写真である(共に川田薫氏)。右写真の方が輪郭が明瞭となっており結合エネルギーが高いことが伺える。このように、極めて微量のミネラル(ここでは深層水を含む海水と解釈できる)でも、溶解することにより水構造に影響を与えることは、鮮度液中の深層水濃度を裏付けていると解釈できる。

現在、生物、物理、医学の各分野の研究者にご参加を戴き、深層水を含む海水の物性、細胞への作用、安全性、コンピュータシュミレーション等により鮮度液の現象解明を進めているところである。

深層水を含む海水による細胞に馴染みやすい水の追究の旅はまだ始まったばかりであり、海水の本質に少しでも近づき、そこで開発された技術を社会ひいては自然環境に還元して行くことができればと考えている。

最後に、本事業は、日本財団のご指導、ご支援のもとに実施されたものであり、「海ヤカラ1号」の再設置に向けた技術構築に当たりましては組合員の新糸満造船株式会社と藤井宏一郎氏のご尽力により進めることができました。海ヤカラ1号設置海域のリモートセンシングによるクロロフィルの解析におきましては、東海大学開発工学部教授の福島甫先生はじめ情報技術センターの関係者の方々のご支援なしには困難でした。海水の年代測定にあたりましては琉球大学理学部の大出茂先生にお世話になりました。また、植物プランクトンの増殖・増加量の試験に至る過程におきましては（有）川田研究所の川田薫先生の卓越したミネラル研究成果に負うところが大でありました。魚の鮮度保持試験においては元水産大学校教授で(社)新漁船漁業技術研究協会会長の今西一先生に試験魚種選定の重要さについて貴重な指針を戴きました。水分子のコンピュータシュミレーションにおきましては難題を快く引き受けて戴いた（株）リザード代表取締役の上猶稔氏に感謝申し上げます。生体の保存の研究に当たっては、琉球大学医学部教授の伊藤悦男先生に深層水の安全性の面から更に踏み込んだご教示を戴くことができました。細胞修復の試験におきましては、（株）BIOS医科学研究所の三木敬三郎先生に分子生物学領域からの貴重なアドバイスを戴くことができました。一方、海ヤカラ1号周辺海域の海洋調査にあたっては株式会

社アクアクリエーションの職員の方々の多大な協力をいただきました。

また、国立医薬品食品衛生研究所化学物質情報部長の神沼二眞先生には、本調査研究の柱である深層水の安全性、研究内容の全般的な方向性等の件でご教示を戴きました。

最後に、これまでに深層水研究開発事業に多大なご支援を戴いた沖縄県中小企業団体中央会、（財）沖縄県産業振興公社に感謝申し上げるとともに、東京大学大学院教授の高橋正征先生には深層水と出会う最良の機会を与えて戴きました。

ここに関係諸機関、並びに関係各位に対し厚くお礼を申し上げます。

平成13年3月

沖縄県海洋深層水開発協同組合
代表理事　宮城景正

調査研究委員長　工学博士　角田 豊
（株）ケン・リサーチ代表取締役