

エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発研究 立地条件別最適システム設計評価研究

田 島 健 司 (現高知県栽培漁業センター)

要 約

海洋深層水の新たな取水地を調査し、本県での深層水多目的多段階利用の最適化について検討を行った。取水規模が小さい室戸地域では、限りある深層水をより効率的に利用するため、深層水の取水から商品の加工製造までを総合的に調整するためのサプライチェーン・マネジメントが必要であると考えられた。また、多目的多段階利用の高度化のためには、地域内に水産養殖、海水の脱塩濃縮、生産物の素材化と中間製品製造業など、各種関連産業の集積度を高めるとともに各企業が保有する技術の連携と融合化を積極的に図る必要があると考えられた。

1. はじめに

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)研究事業、エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発研究(実施年度:平成11~15年度)の立地条件別最適システム設計評価研究分科会では、平成11・12年度に海洋深層水の利用実態に関するケーススタディを行い、地域ごとの環境特性と利用形態等によって北海道から沖縄までを7つの地域に類型化し、各地域での深層水利用システムについて机上検討を行った(表1)。また、深層水取水の経済性試算のための各種「原単位」の整理を行った¹⁾²⁾。

平成13・14年度は、北海道(寒冷地域)、首都圏(温帯大都市周辺地域)、沖縄(亜熱帯域)での電源立地を想定した検討を行い、深層水の冷熱利用を中核とする新しい海洋深層水利用最適システム提案に向けて、課題の抽出とプロトタイプモデルの検討を行ってきた³⁾⁴⁾。

その目的・目標は、日量10万トンの規模の深層水大量取水のフィージビリティと従来にない規模の産業利用が創出する経済波及効果を明らかにし、深層水の大量取水の経済性を立証することである。

表1 利用からみた取水地とその類型化

地 域	気象条件	地理的条件	利用形態	取水方式
北海道 (日本海)	寒冷地型	外海型	電源立地型 水産利用型	陸上取水型
富山県 (日本海・ 富山湾)	寒冷地型	内湾型	多目的利用型 水産養殖型	陸上取水型
首都圏A (東京湾・ 横須賀)	温暖地型	内湾型	電源立地型 都市型	陸上取水型
首都圏B (東京湾・ 横須賀)	温暖地型	内湾型	電源立地型	洋上取水型
静岡県 (太平洋・ 駿河湾)	温暖地型	内湾型	電源立地型 多目的利用型	陸上取水型
高知県 (太平洋)	温暖地型	外海型	多目的利用型	陸上取水型
沖縄県A (東シナ海)	亜熱帯型	外海型	電源立地型 水産利用型	陸上取水型
沖縄県B (太平洋)	亜熱帯型	島嶼型	海域肥沃化型	洋上取水型

参考文献2)から引用

しかし、電源立地などの大規模プラントの導入が将来的にも想定し難い本県では、モデルプランと現地との較差は相当に大きい。日量数千トンレベルの小規模取水における深層水利用最適システムについての見直しを図るべく、平成11・12年度のケーススタディ以降に深層水取水が始まった地域と最近の深層水関係のシンポジウムなどを調査し、今後の小規模深層水利用システムについて検討を行った。

2. 調査結果の概要

現地調査は、平成13・14年度に取水を開始した地域のうち、3箇所の自治体（市役所・町役場）と関係事業所での聞き取りを行った。3箇所とも水産庁の補助事業で整備され、漁業地帯であるという立地条件と施設規模は室戸市と類似している。

また、シンポジウム等では、深層水とエネルギー利用、今後の利用拡大が期待される健康分野に関するもの及び「第3回世界水フォーラム」関連事業などにおいて、深層水利用の最新情報の収集を行った（表2）。

表1 調査地域と内容

地域	場所・内容等
北海道	熊石町役場
	北海道栽培漁業公社
	北海道中央水産試験場
富山県	入善町役場
	入善町漁協アワビ養殖場
	近畿大学水産研究所富山実験場
	滑川市役所
	滑川における新取水管敷設工事
	富山県水産試験場
静岡県	静岡県水産試験場
シンポジウム等	海水淡水化に関するフォーラムイン佐賀
	深層海水と健康研究会シンポジウム —21世紀の課題 海水を生活用水へ—
	深層水利用研究会・海洋深層水ナビ8
	第3回世界水フォーラム関連事業 水のEXPO

2.1 北海道

2.1.1 北海道熊石町（平成15年3月24日）

2.1.1.1 地域の概要

人口3,800人。地場産業は漁業（漁業生産約8億円）と観光（町営の温泉宿泊施設ひらたない荘）がある。

2.1.1.2 取水施設と周辺施設

深層水取水施設は水産庁補助事業で、平成14年度に取水施設、平成15年度事業で分水用陸上施設が予定されている。取水管の大きさ・構造は室戸

市アクアファームと相似している。取水管は清水建設の施工である。

計画取水量日量2,500t、うち民間分水用として1,500t、水産用として1,000tが計画されている。陸上施設が完成していないため、希望者には自家発電で分水が行われている。

取水施設周辺は、漁港整備で用地が造成されているほか、少し離れた山手の学校跡地が工業団地として整備中であり、企業誘致が期待されている。



図1 熊石町深層水取水施設周辺（右中程の四角い建物がピット）

2.1.1.3 深層水の利用計画

水産用途での利用には、町営アワビ養殖場のほか魚市場の畜養、洗浄、箱詰め用水等があり、平成15年度事業で整備される予定になっている。

町営アワビ養殖場は、200海里規制で町内の遠洋漁業が衰退したことを契機にして始められ、今では「アワビの里熊石」として軌道に乗っている。現在は、地先の海水を温泉水で18℃に加温して使っているが、平成15年度の深層水の配管敷設後は加温した深層水で飼育するようになる。養殖施設では年間10数万個（65mmで1個420円）を出荷し、うち「町営ひらたない荘」で年間4万個が観光客によって地産地消されている。養殖場で養殖したアワビの一部は中間種苗として漁協のアワビ養殖部会に卸され海中養殖も行われている。エゾアワビは1年8ヶ月で50mm、2年で60mm、3年で78～80mmになる。

商品開発では、函館工業試験場が技術支援を行っているが、他県ほど品目は多くないとのことであった。また、北海道大学水産学部が参加する研究会のほか、札幌医科大学がアトピー症研究を数例手がけている。医科大の研究を深層水と温泉を組み合わせたタラソテラピーに発展させ、町の基幹産業である観光の柱に育てていくことが期待されている。

2.1.2 北海道栽培漁業公社（平成15年3月24日）

職員3名、水槽176面を使って、20～45mmの稚貝を年間120万個生産できる北海道最大の施設である。需要に応じて生産体制が增強され、現在に至っている。

エゾアワビの採卵時期は4月。7月に殻長11mmで剥離する。剥離までの生残率60%台、剥離後11月までの歩留り90%以上、出荷までの通算歩留りは70～80%と非常に高い。飼育用水は地先海面の海水を温泉水で加温しているが、光熱費対策として排水との熱交換も行われている。アワビ生産は技術的にはほぼ完成したものとなっている。

2.1.3 北海道中央水産試験場（平成15年3月25日）

北海道の水産は、オホーツク海、道東、噴火湾、日本海側の4海域に類型化されている。経済的には日本海側が最も低位にあるといわれている。

中央水産試験場では、深層水の陸上利用は手掛けているが、海底の構造物で深層水を湧昇させて周辺の生産力強化が可能かどうかの研究を行っている。開放性の強い地域（例えば熊石町）では湧昇後の発散が大きく効果が期待できない（and/or 効果が確認できない）可能性があるため、比較的閉鎖的な石狩湾を想定した研究を行っている。将来の実証試験に備えるデータ収集の意味合いが強いとのことであった。

同場には層流水槽や波動大型水槽などがあり、工学的手法を使った水産研究が行われている。例えば環境実験水槽でヒラメの行動を詳しく調べ、流速条件などから放流適地を割り出し、放流効果を高めるなどの成果が得られている。

2.2 富山県

2.2.1 入善町（平成15年3月6日）

2.2.1.1 取水施設と周辺施設

取水施設は水産庁の漁港高度活性化事業（整備費8億円、うち設計費5千万円、建設費7億5千万円）で整備された。取水規模日量2,400t、取水管径φ250mm、延長3,380m、水深384mである。メンテナンス性を考慮し、陸上との接続部は水深50mまで埋設されている。

陸上分水施設は、町の起債（1億5千万円）で整備され、大型と小型の給水栓、展示施設、実験室、事務室がある。また、沿岸漁業構造改善事業でプラスチックハウスの蓄養施設（10t循環水槽4面、計5千万円）が整備されている。

分水施設には、会議室とオープンラボ2室も併設されている。オープンラボは研究開発の必要性から設置されたとのことであり、調査時には県の衛生研究所が水質のモニタリング手法の開発に利用していた。

深層水は建屋の空調にも利用されている。夏の冷房は深層水と淡水とを熱交換して使い、冬は深層水の代わりにボイラーの温水を流して暖房に切り替えて使用される。深層水の空調といっても既製品の流用であり、特殊な装置という使い方はしていないとのことであった。空調に使った深層水はそのまま海に放流されている。

施設の運営については、地元漁協に管理を委託しているが、平成13年度は分水量も少なく赤字を計上したとのことであった。蓄養施設の運営も漁協に委託されている。冬のカニ、夏のカキとパイが対象だが、定置網漁業地帯ということもあり漁業者が蓄養に不慣れなため利用率は高くないらしい。町としては深層水飼育による付加価値と流通の平準化を狙ったが十分に機能するには至っていないとのことであった。深層水が低温で「鱈もの」の蓄養に不向きであること、加温はコスト高になるので長期的に行うのは難しいということである。

深層水の用途開発を兼ねて水産試験場がマツカワ（日本栽培漁業開会厚岸事業場産）の飼育試験

を行っている。

2.2.1.2 利用計画

深層水の利用計画では、毎時100 tのうち30 tが町の産業振興のための分水事業、40 tが養殖事業、30 tが漁港用水である。漁港用水は荷捌き施設が未完成のため利用されておらず、調査時は毎時80 t程度を取水し、未利用分は放流しているとのことであった。

町の目標は新規企業誘致で、分水施設の周辺にそのための土地の先行取得が行われている。誘致話もあるが契約実績はまだないとのことであった。

富山県での分水は、高知県のシェアが大きくなる前の参入を目指して、平成12年6月に滑川で始まった。滑川での分水は期間を限定して始まったが現在も継続しており、滑川と入善が並行して分水事業を行っている。

入善町の分水は事業者のみ登録制で86業者が分水登録しているが、滑川の登録業者を含めた県全体の実数は町では不明であった。小口も券売機による自由購入のため正確な利用者数は把握していないとのことであった。

分水料金は水産用は3円/t、登録業者はト、あたり町内500円～町外600円、券売機の小口は100%で町内200円～町外300円で条例化されている。膜濾過による脱塩深層水、濃縮深層水も分水されている。専用管での分水料金も規定されているが現状では利用者はない。

分水審査は、県のガイドラインに従って町で審査し分水している。分水審査が煩わしいということであれば、高価ではあるが五州薬品と富山化学が企業向けに加工した深層水を販売しているし、小口の券売機でも入手できるので、個人経営の店などでは分水審査を受けない例も多いとのことである。

県外大手A社は全国の5工場から毎月5～10 tを給水車で補給に来るが、絶対量からは大した量ではない。オンラインでなければ分水量も限られるので、隣接地への企業誘致が実現するまでは現状維持ではないかとのことであった。

2.2.1.3 入善町漁協アワビ養殖施設

(平成15年3月6日)

3 t水槽40面でエゾアワビを養殖している(生産計画では7 cmで6万個)。専従技術者1名と補助2～3名で管理されている。計画では、40mmの種苗を1年で80mm(70～80 g)にして、1個750円で毎月5千個を出荷することになっている。



図2 入善町アワビ養殖施設

販売は契約出荷が望ましいが、景気が悪く市場が冷えているため、契約による出荷は生産量の1/3～1/2程度に留まっている。エゾアワビ種苗は複数の種苗業者のものを飼育試験で比較し、四国の種苗会社から購入(150円/個)するようになった。循環ろ過は熱交換器を併用しているが、加温コストが大きいいため、新しい海水の使用量は3～4時間に1回転程度に減らして節水し、見かけの流量を1時間1回転に上げている。

飼料も種苗と同じ会社の配合飼料を使用しているが、出荷前1ヶ月から北海道産の餌用昆布・ワカメを使う。配合飼料だけだと肝が「渋い」と貝に磯の香りがないため価格が下がるとのことであった。深層水で飼うと付着物が少なく貝殻がきれいいため、観光客向けには歓迎されている。

2.2.3 入善町の今後の計画

健康増進施設(タラソテラピー)を水産庁の事業費に県費上乘せで計画している。タラソテラピーは本格的なものにしないと経営的に難しくなると

の指摘があり、医療面のプログラムを充実させてリピーターの育つ施設にすることが検討されている。

深層水に対する町民の反応は以外と冷静で、何でも有りの振興策は町民も歓迎しない。確かな企業の誘致がベストというのが町役場のスタンスと見受けられた。全国に取水計画があることについては、町での利用は小規模業者主体であり、商圈が重ならない限り切実な問題にはならないのではないかと考えられている。

滑川は富山湾海洋深層水、入善は入善海洋深層水の呼称を利用しているが、混乱を避ける意味からもJR列車内、駅構内の広告など、どちらか一方のみになるように調整が図られている。

2.2.2 近畿大学水産研究所富山実験場

(平成15年3月7日)

平成3年6月、富山県の誘致で実験所が開設された。実験場での取水方法はサイホン式導水管で陸上の貯水槽に導水し、貯水槽からポンプで汲み出された分だけ、新しい海水が入ってくる仕組みになっている。日本海側は干満の潮位差が小さく、貯水面と海面との差圧が一定に保たれるため安定的に取水できるが、太平洋側は潮位差が大きいためこの方法は適さない。

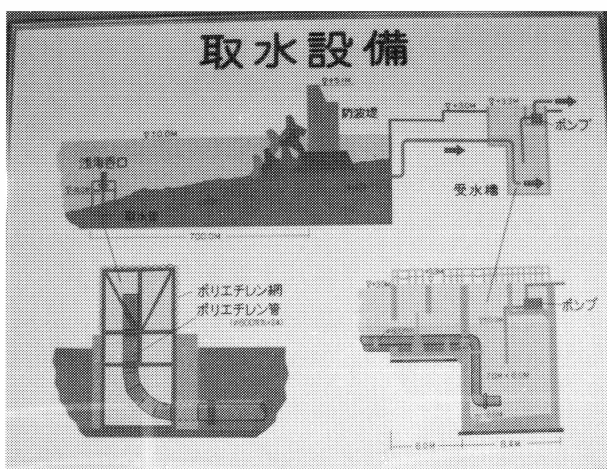


図3 近畿大学富山実験場での取水方法

海水は取水水深が100mと浅く、表面水温との温度差も大きくはない。清浄性では付着生物も多

く、表面水と変わらないので、砂ろ過した後に使用する。夏と4月は深層水を単独で使うこともあるが、ほとんどは水温を調整するために混合して使用する。

敷設当初に取水管が破損したこともあって、取水地点が確定できていないため、取水した海水を深層水として研究対象にしたことはないとのことであった。

海水は隣接の堀岡漁協のヒラメ養殖場にも供給されている。漁協の養殖ヒラメの種苗は同所で生産したもので、海水・種苗・技術指導も同所が提供しているとのことであった。

実験所の採算性を向上させるため、昨年秋からエゾアワビの養殖を始めた。県外から40mmの種苗を購入し、飼育している。半年で50~70mmまで成長するが、生残は良くないとのことであった。

生産したアワビは漁協を通じて出荷しているが、養殖というだけで単価も1個400円程度になり、販売は難しいとのことであった。アワビは高級食材であるが故に価格が景気に左右されやすく、先行きが不透明なため、当面は種苗生産をするほどに拡大することはないだろうとのことであった。

2.2.3 滑川市

2.2.3.1 滑川市役所 (平成13年8月3日)

平成13年4月に商工水産課から深層水推進課を設置して専従職員1名が配置されるようになった。滑川の深層水対策事業は協議会事業であるため、市は直接的には関与せず、業務は取水管敷設工事の地元調整が主体になっている。協議会は最近首都圏でのPRに力を入れており、それなりの手応えがあるとのことであった。

2.2.3.2 滑川における新取水管敷設工事

(平成13年8月4日)

資源エネルギー庁研究事業：エネルギー合理化海洋資源活用システム開発における大量取水技術の開発研究のため、平成13年度事業費5.6億円(国2.8億円、県・滑川市各1.4億円、企業出資1.4億円)で施工される。発注者は社団法人日本海洋

開発産業協会（JOIA）で、受注は清水建設・三井金属エンジニアリング・東亜建設・大成建設・五洋建設・東京久栄の共同企業体である。



図4 新取水管敷設実験

取水方法については、ギャラリー式など3方法が検討された結果、浮遊管方式での実験を行うことになった。平成13年度は水深10～30m付近を浮遊管方式（延長100m）で敷設したあと、管内流速を変化させた時の管の振動状態等を調べ、その後着底方法の実験を行う計画となっている（8月7日に実施され、所定のデータが得られたとのことであった）。

一般に取水量は管径と管内流速とに規定されるが、管径に対する肉厚の多少によって管の挙動・振動が変化する。施工実験では肉厚を変えようがないので、従来の標準的な管内流速0.6m/secを2.0m/secまで上昇させたときの状態を把握する。平成14・15年度の実験は運用データの収集検討になっている。

新聞記事によれば、研究終了後は滑川市に譲渡され、産業振興に活用されるとのことである。

2.2.3.3 富山県水産試験場（平成13年8月3日）

水産試験場の取水管はマリノフォーラム21（MF21）と富山県が水産試験場と栽培漁業センターの事業用取水のために設置したもので、取水量の大半を水試とセンターで使用し、余裕分を一般分水している。

排水は農業用水路に流し、農業用水と一緒に滑川漁港内に放水している。放水路沿いに海藻が生え、港内の魚種が多くなったことが確認されている。富山湾は栄養塩の濃度が高いので、深層水の影響が出ない（目立たない）ように放水する技術が必要と考えられている。

分水施設は水産試験場内に在るが、県は分水には関与せず、企業と自治体（特別会員）で構成する協議会が管理している。分水の深層水料金で分水作業の人件費が賄われている。

2.3 静岡県

2.3.1 静岡県水産試験場（平成15年3月12日）

2.3.1.1 取水施設と周辺整備の概要

駿河湾海洋深層水研究会では、平成10年度から水深397m、687m、824mの各層からそれぞれ日量2,000トンを取水する計画の可能性を検討してきた（～15年度）。この検討チームが水産試験場本場（水産加工部と漁海況部の2部）に置かれたことと地元の水産加工組合及び地元漁協が利用に積極的であったため、水産利用計画だけで取水量をほぼ満たす計画となっている。

取水施設は焼津新港の埋立地（元々は水深10m位のところ）にあり、地面の掘削ではなくケーソンの埋設という他県にない方法で施工された。取水管は水産庁の補助事業で、貯水槽・送水施設と分水用陸上施設は水産庁と電源立地の補助金が併用された。取水施設は清水建設、陸上施設は荏原実業が施工した。その他、脱塩水の施設は焼津市施設となっている。

現地には、水産利用施設（建設費12億円。平成15年9月竣工予定、平成16年度から本格稼働）、焼津漁協と小川漁協の荷捌き用水送水施設、水産加工業協同組合連合会が県の委託で管理する給水施設があり、将来的には水産試験場本場も取水施設の海側に新築移転する計画とのことであった。

取水施設に隣接して焼津市がお魚センター、タラソテラピー施設、公園を整備し、全体を市民公園化していく計画が進んでいる。

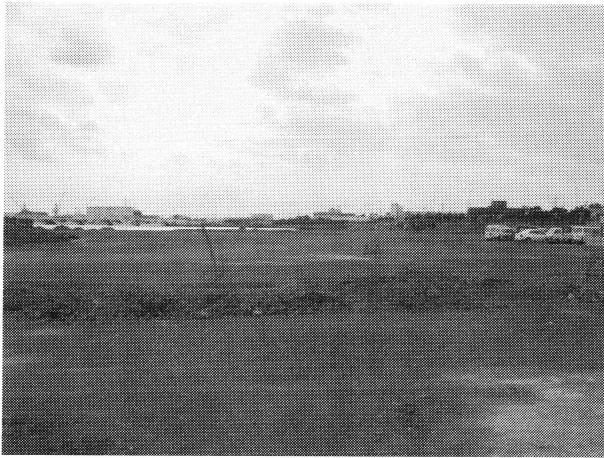


図5 整備中の市民公園予定地（焼津市）

2.3.1.2 水産利用施設（静岡県栽培漁業センター）

当初は独立した組織（例えば海洋深層水研究所）が検討されたが、最終的には水産試験場に所属することになった。平成16年3月に沼津市の県栽培漁業センターが民営に移管（平成16年3月）されるのに伴い、職員全員が焼津に異動して、生産事業ではなく、栽培漁業の研究を中心とした業務を行う計画になっている。

研究対象は、海藻・プランクトン、軟体類・甲殻類（タカアシガニ）、ウナギを含めた魚類の種苗生産、親魚養成（キンメダイ）が計画されている。親魚養成については技術移転先が未定ではあるものの、結論を待っているとは前進できないとの判断があったとのことである。駿河湾特産の桜エビは経験的に飼育が困難であること、イセエビは飼育期間などの問題から現時点では対象にはなっていない。

2.3.2 分水事業

駿河湾深層水利用者協議会の会員は80社弱で、事務局は水産加工業協同組合連合会にある。分水審査は駿河湾深層水利用者協議会ガイドラインに沿って実施され、分水審査をパスしないとブランドマークは使えない。ガイドラインには深層水利用の必然性に関する項目などもあり、申請者からは記入が難しいと批判的な意見もあるそうである。

事業分水は食品加工向けが大半であるため、深

層水の微生物検査が行われている。取水開始当初、ストレーナの清掃を無洗浄のブラシで行ったところ耐性菌が検出された例があり、それを契機にストレーナの清掃以外にも微生物対策が重視されるようになっている。



図6 分水施設。後方は建設中の深層水利用施設

一般分水は、分水施設で氏名を登録すればその場で分水が受けられる。平成15年3月12日現在で542名が登録されていた。受付簿に登録ナンバー、取水深度と容量、用途（風呂・活魚・料理等）を記入してから、券売機に代金を投入して自分で入れて持ち帰る。量水器はなく容器容量の自己申告で処理されている。ちなみに風呂用の場合、バスタブに洗面器1杯の深層水が標準とされており、20ℓではほぼ10日分にあたるとのことであった。料金は200ℓまで最低料金の100円で、団体客からの事前連絡があればペットボトル程度なら無料にしているとのことであった。

2.3.3 その他

焼津市周辺は漁業経営も比較的安定しており、深層水による水産物の付加価値向上や海域肥沃化などに過度の期待はないとのことであったが、荷捌き用洗浄水は市場の利便性向上に直結するため、漁業者から歓迎されているようである。

静岡県内には焼津以外にも2箇所で取水計画がある。しかし地元では駿河湾深層水のブランドは焼津に限定しておきたいとの意向が強く、隣接地

域間の市場競争が水面下で始まっているように思われた。

研究開発については、静岡県立大学に大学主導の研究会があり、県もこの研究会に参加している。また水産試験場内には海洋科学技術センター海洋深層水分析研究棟が設置され、水質分析器とプランクトンの培養装置等が整備され、現地での研究拠点となっているほか、東海大学と海洋科学技術センターとの連携大学院には博士課程の学生が在籍している。

2.4 シンポジウム

2.4.1 海水淡水化に関するフォーラムイン佐賀

(於佐賀市 平成14年3月14日)

2.4.1.1 フォーラムの基調

話題提供と討議は下記5項目に集約された。

- ①「水」は社会と経済の発展に欠かすことのできない資源として認識されるべきである。
- ②社会の発展と生活の質の維持・向上は「水」が支えている。
- ③「安全な水」の確保は人の健康に欠かせない。
- ④「安定した水の供給」が食糧生産には不可欠である。
- ⑤「水」は経済・社会・環境問題への合意形成を促す戦略的資源になり得る。

2.4.1.2 太平洋島嶼諸国からの報告

マーシャル諸島・トンガ・ツバル・フィリピンなどでは、気候の変化により降雨量の減少と降雨の集中による水不足が恒常化している。また、エネルギー源の石油輸入が経済を圧迫している。ヨーロッパ諸国やJICAの資金援助によるソーラー・風力・ハイブリッドなど自然エネルギーへの転換プロジェクトやコンポストトイレなど環境調和型技術の導入が進められようとしている。しかし、供給は十分ではない。新しいイノベーションとして、OTECがエネルギー供給、淡水製造の両面から期待されているが、島嶼諸国では資金的・技術的に困難な状況があり、先進国の援助が期待される。

2.4.1.3 海洋温度差発電

佐賀大学・池上康之助教授の講演『海洋温度差発電を用いた海水淡水化技術』では、21世紀は水問題とエネルギー問題の世紀であり、再生型エネルギー（太陽光・風・地熱・海洋エネルギー：波／朝夕／温度差）の開発と海水淡水化が持続的発展の鍵になるとの指摘があった。温度差発電は、太平洋熱帯地域の島嶼諸国でこそ有利な技術であり、OTECを世界の潮流にしていく拠点になりうる。OTECで日本沿海だけでも年 10^{14} Kwが期待できる。世界の発電可能な国は98カ国で、昼夜を問わず安定した発電ができる。CO₂、NO_x・SO_xなど有害ガスの排出もなく、優れた環境技術になる。

佐賀大は75KwOTECの実証運転に成功したが、その鍵はプレート熱交換器の効率向上にある。オープンとクローズドの融合型でアンモニアを冷媒にした上原サイクルの改良を進めている。インド工科大学との共同研究で、インド南東部 Tuticorin の沖30 Km（水深1,200m）で浮上型1 MW・OTECの実験を近々行う。1 MW発電でのコストは Kwあたり0.189\$で、1 MW以上の発電規模があればスケールメリットが期待できる。淡水化した海水の水質も純水に近く飲料として全く問題ない水質である。

会議終了にあたり、太平洋地域において、環境・水・エネルギー問題に対し、包括的かつ中長期的な計画を推進することを目的とする佐賀大会アピールが採択され、第3回京都会議で発信されることになった。

2.4.2 深層海水と健康研究会シンポジウム

—21世紀の課題 海水を生活用水へ—

(於京都市 平成15年3月20日)

予防医学、内科学、生化学、海洋物理学、高分子化学の専門家がそれぞれの立場から「水」と「健康」に関する話題提供を行い、質疑が交わされた。

2.4.2.1 予防医学から見た水問題

環境汚染による河川・湖・地下水の汚染と地球温暖化による淡水の枯渇化が進行している。我が国では「水」そのものの輸出入は少ないが、食料輸入・飼料輸入などに伴う間接的な輸入量が膨大にある。地球上の水は、海水に97.5%、淡水に2.5%と偏在し、しかも利用可能な「水」は全体の0.01%に過ぎないと言われている。海水の利用、特に深層水は清浄性に優れ、再生可能でエネルギーとしても有望視されている。日本人はミネラル摂取が危機的と言えるほど減少している。深層水のミネラルを有効に利用した健康づくりが期待され、そういう商品が消費者に受け入れられる環境が育ちつつある（木村美恵子 タケダライフサイエンスリサーチセンター 敬称略以下同じ）。

2.4.2.2 健康と生活習慣病

糖尿病患者 and/or 予備軍が急増している現状はあまり知られていない。脂肪肝の患者のうち糖尿病患者が5%以上おり、糖尿病が重篤な肝臓障害の引金になっている。糖尿病患者は脳血管障害・心疾患ともに相対的死亡率が正常な人の2~3倍も高い。現代の食生活・生活環境には糖尿病因子が多く、過食を避け、適度に運動することが健康な生活に最も大事であることをもっと普及啓蒙する必要がある（北村李軒 京都大学名誉教授）。

2.4.2.2 低温細菌

地球は水の惑星。水は温度により「液体」「氷」「水蒸気」の3態を示す。地球の80%は冷たい環境で、低温環境と総称される（南極・北極・高山など）。5℃以下の冷たい海は海洋の90%で、水深500m以深は4~5℃以下と冷たい。極限環境微生物は生息温度により類型化できるが、好冷性細菌は好冷性酵素を生産し、低温下での代謝が効率よく行える反面、熱に対して不安定である特徴がある。南極海水から単離した菌のRNAを用いて低温性酵素の特徴、低温適応の戦略を検討した結果、好冷性と熱安定性は酵素の構造に由来することがわかった。低温性酵素の立体構造と作用メ

カニズムが明らかになり、食品加工などへの応用が期待できる（左右田健次 京都大学名誉教授）。

2.4.2.4 地球物理学と深層水

一般に、海は深いところほど冷たく、水温は鉛直的な層状分布を示すことが多い。南極周辺での冷却による高密度水の沈降の様子が観測できるようになり、海洋大循環のメカニズム、特に南極周海での流動の様子が具体的に理解できるようになってきた。南極周辺では、冷却による大規模な沈降が大陸斜面にそって深い対流となり北大西洋からの深層大循環に合流する。しかし、深い対流を起こすような高密度水が形成されない場合には、傾圧が不均衡となるだけで小規模な沈降しか起こらない。これが中層水の起源になる。16世紀の欧州は現在より寒く、オランダ辺りでも毎年川が凍結していたことが当時の絵画から分かる。大洋底の大部分が水温1℃台で推移していることと地球温暖化の関連が注目される（秋友和典 京都大学大学院理学研究科）。

2.4.2.5 海水淡水化技術

深刻な水不足が今後も拡大すると思われる様々な証拠がある。低緯度の乾燥地域では水確保のため、淡水化プラントの導入が増えている。水不足には、水源不足と水質汚濁の2面性がある。水処理技術としては、自然水の高度処理と下水の再処理技術がある。深刻な水不足諸国では海水淡水化が水確保の主流になるとの見方が有力である。膜の要素技術としては、RO（逆浸透）、NF（ナノ膜）、UF（限外濾過）、MF（精密濾過）の4種類がある。それぞれの膜で処理粒径のオーダーが1桁づつあがる。用途によって膜を使い分ける。逆浸透膜は孔径0.001 μ mである。これまでは超純水の産業用途が主体であったが、近年では飲料水用途で使われている。下水・廃水の処理・再利用でも利用されるようになってきている。東レのRO膜は界面重縮合によってポリアミドを形成することにより製造されている。酢酸セルロース系のRO膜もある。ポリアミド系RO膜はトリハロメタ

ンの除去でも効果が高い。従来、海水淡水化は1段逆浸透膜法が主流で世界の大規模淡水化プラントで採用されている。我が国でも、生活用水16万人1日分(40,000トン)を処理する沖縄北谷の淡水化プラントがある。高効率2段法海水淡水化システムを東レが開発した。従来の施設に2段目を増設するだけで生産水量を50%向上でき、運用コストも低減できる。国際特許を申請中である。海水淡水化のコストは着実に低下しており、2001年は1立米0.5\$まで低下した。淡水化した海水の水質については何ら問題ない。深層水の利用マップは淡水化に限らず、濃縮海水から濃厚濃縮海水を製造し、それを原料に塩・高ミネラル水(苦汁)を生産することが考えられる。表層海水をもちいた淡水化の場合は前処理の薬剤添加が不可欠になるが、清浄性が保たれた深層水ではこの点が絶対的な優位性になる。モジュールの交換頻度も低く抑えられる。膜の汚損は、海水中の有機物量に影響される。東レではUF、MFによる中空糸膜も製造しており、自然水の浄化、廃水の再処理に使用されている(栗原優 東レ株式会社)。

2.4.3 海洋深層水ナビ8

(於東京都 平成15年2月28日)

2.4.3.1 官主導から民主導に移る深層水利用

各地で取水が始まり深層水の正しい利用実現のための情報提供がますます大事になっている。前回の久米島大会は民間の報告が主体となり、官主導から現場の企業活動で集めた情報が増えたことが実感された。情報提供の内容とウエイトが変わっていくとの期待がある(酒匂敏次 東海大学海洋学部)。

2.4.3.2 全国の取水計画と産業利用

深層水取水計画が全国で27あり、うち16が具体的に動いている。件数は本州の中部・東海地方に集中している。計画を大きく分けると、北海道と沖縄は食料生産型、四国は地域振興型、その他地域は商品生産型に類型化できる。商品生産型の地域ではこれまでと異なった事業展開が想定される

が、ここでは取水方法が今後の課題になると考えられる。目先の利益を追求し、小規模取水で短期高収益を狙うとこれまでに培った深層水の信頼性が損なわれる可能性が危惧される(近 磯晴 (株)水土舎)。

2.4.3.3 洋上型海洋温度差発電技術

インドの洋上型OTEC「サガシャクティ 70×16mのバージ船」に1Mwのランキンサイクル(クローズタイプ)を搭載している。平成14年2月25日に出航し近日中に予定海域の水深1,000mから取水開始の予定である。発電コストは0.189US\$/Kw。OTECはスケールメリットが大きい。小さく作れば経済性が問題になり、かといって大きく作るのは技術的に難しい。サウジアラビアでは石油精製の排熱OTECで淡水利用が検討されている。LCAではCO₂コンディショニングでOTEC2.5Mwで0.119Kg CO₂/Kwh、100Mwで0.014Kg CO₂/Kwhと推計されており、太陽電池の0.153、LNGの0.563(単位同上)を上回る(池上康之 佐賀大学理工学部)。

2.4.3.4 NEDO深層水プロジェクト

海洋資源を有効に利用することは将来の資源・エネルギー問題にとって重要な課題である。海洋深層水の恒常的な低水温性を火力発電所の復水器冷却水に応用することにより、大幅な発電効率の改善が期待され、地球温暖化問題への対応も期待できる。その効果を定量的に明らかにするとともに、実用化のための研究開発を大学・民間・地方自治体で共同研究を行っている(源波修一郎 日本海洋開発産業協会)。

2.4.3.5 酵母の活性化と海洋深層水

発泡酒は麦芽が少ないため酵母が栄養不足になり良いものできない。DNAチップで深層水が酵母の活性に及ぼす影響を調べたところ、アミノ酸代謝と脂肪酸代謝の酵素が活性化し、吟醸香が高くなることが分かった。海水の主成分のナトリウム(Na)について検討したところ、Naはストレ

ストレスポンズとなり、増殖と発酵の重要因子を阻害するが、深層水・海水のNa以外の要素がストレスを緩和するため発酵が進むことが判った。酵母の発酵という点では深層水も表層水も効果は変わらない（佐見 学 アサヒビール株式会社未来技術研究所）。

2.4.3.6 洋上型深層水取水装置の開発

マリノフォーラム21の事業で開発した装置が平成15年5月に工場で作成し、5月下旬に神奈川県相模湾中央部に設置する。この装置は深層水と表層水を混合した人口密度流を水深20mで日量30万トン放水できる。設置海域は水深1,000mで、内径1mのライザー管で水深200mから取水する。浮体とライザー管は別々に組み立て現地近傍で浮体に接続し、曳航後現地で取水管を直立させる新方式で設置する。取水管が長く、難しい工事が予想されている。浮体は富山湾「豊洋」の経験を参考に風速50m/S、波高10m、流れ3.7kt、耐用5年をクリアできるように設計した（大内一之（株）大内海洋コンサルタント）。

2.4.4 水のEXPO（第3回世界水フォーラム関連事業 於大阪市 平成15年3月21日）

主催：水のEXPO実行委員会と日本経済新聞社

①水の課題（水をめぐる諸問題とその解決への取り組み）、②水と都市（「水の循環リサイクル」を実現する都市づくりの技術と製品）、③水とくらし（安心して快適なくらしに必要な水、商品と技術＝「水資源保全」「水質浄化」「節水」「水輸送」「海洋深層水の利用」など企業出展）、④水のひろば（イベント広場）をテーマに様々なプレゼンテーションが行われた。

「水とくらし」展は79ブースあり、深層水関連では、赤穂化成・アサヒビール・高知県海洋局・五州薬品・大和リゾート、富山県、富山県深層水協議会、富山県入善町、室戸市海洋深層水推進課などが出展し、開催5日間で入場者数98,417人（主催者発表）とのことであった。



図7 水のExpo（水とくらし展示ブース）

3. 考察

調査を通じて、地域毎の産業利用の特色、振興策を知ることができた。即ち、北海道熊石町では観光と漁業を中心とした既定の振興策に深層水を活用する方向が明確に打ち出され、行政主導での施策展開が進められている。反面、行政がリードしている分、民間での動きはあまり目立たない。地元企業が少なく、企業誘致がどれだけ進むかが今後の課題と見受けられた。深層水でのアワビ養殖事業は地産地消での販路が確立していることが事業の安定化に役立つと考えられる。

富山県入善町では取水管の敷設を終え、関連施設が整備中であり、これからの企業誘致と産業利用が課題になっているとのことであった。入善町の基幹産業は漁業で、製造業は少ないものの富山県の化学・薬品・食品関連の産業ネットワークが活かされれば深層水産業の立ち上げは迅速に進むのではないかと考えられた。一方、アワビ養殖など水産利用においては生産技術はともかく、販路の確立がまず重要であり、そのための営業力の確保が必要であるように思われた。

静岡県焼津市は、水産業・水産加工工業の集積地であり深層水も水産用途での利活用を中心に計画されている。焼津市の事業計画は他と比較して規模と拡がりがあり、都市型もしくは消費地隣接型の取水地といえる。また、周辺には大学などの研究機関も多く学術面のサポートが得やすい環境も他にはない優位性になっている。もし、この地域で今後問題になるとすれば他県との産地間競

争ではなく県内隣接地域との競合であり、多くの民間事業者が参入する複雑な市場競争であるように思われる。首都圏にも近く、その動向は全国の深層水産業への影響が大きいと予想されるだけに、深層水商品への信用を如何に維持していくかが今後の大きな課題であると思われる。

これら3箇所は何れも水産庁の補助事業で施設が導入された例であり、水産利用を中心とした多目的利用が計画されている。ただ、現地で聞き取りをした範囲では、深層水の多段階利用あるいは利用システムの最適化のために具体的な作業はあまり行われていないようであった。

3つのシンポジウムは、深層水とエネルギー問題、健康志向社会における深層水利用、官主導から民主導に移行しつつある深層水産業の諸問題などがテーマであった。

深層水のエネルギー利用、特にOTECでは熱交

換器の特性向上で発電効率が良くなったことで、OTECが深層水の多目的利用を世界に波及させるキーテクノロジーになる可能性が示された。

生活に欠かせない「水」については、飲料水確保の側面と、より健康な生活を維持するための「良質の水」が今後の課題であることが示された。深層水の清浄性がこの解決に寄与することは間違いないと思われる。このことはまた、深層水の取水地にとって、新たなビジネスチャンス、即ち健康分野での深層水利用の可能性を意味するものと考えられる。

本県において、これまでに実施された研究開発の経過を図8、その概要と課題等を図9に示した。これらから明らかなように、これまでの研究は深層水の利用分野の拡大のための研究開発が主体であり、実用化された技術の改良あるいは次世代に向けた技術開発はこれからの課題である。

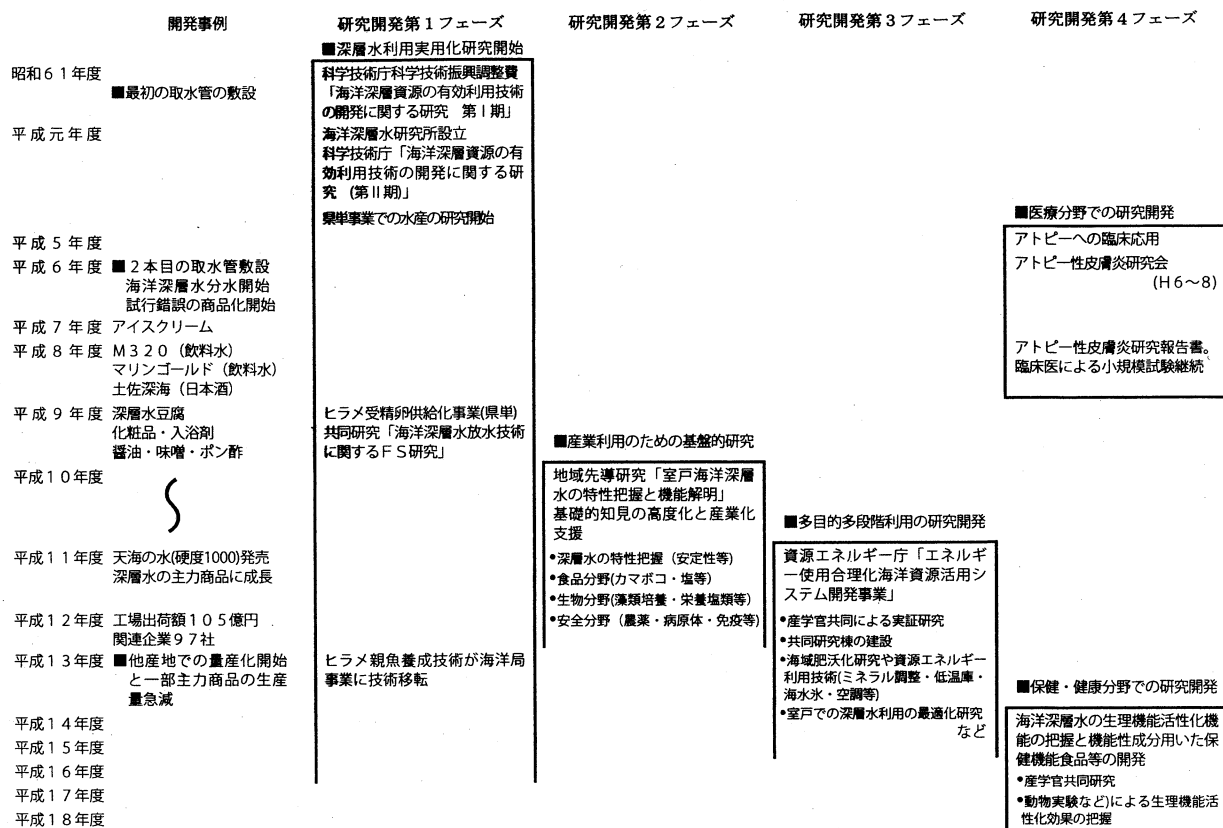


図8 海洋深層水研究の流れと方向性（1998 田島・松村 未発表に加筆）

水産分野	アイテム	現状・問題点など	研究開発の課題	研究開発の方向と性格
■栽培漁業	メダイ・キンメダイなど	種苗生産技術開発中	種苗生産技術の樹立（10年）	■将来への先行的・先導的研究 ①多段階利用による経済性確保 ②地域ニーズに即した実証化研究 ①知識集約型・研究先導型の研究 ②プロジェクトなど連携研究
■水産養殖	ヒラメ・トラフグ 養殖用種苗（トラフグなど）	節水飼育・無病化・健苗育成 一部で事業化レベル到達	トラフグなど新魚種開発 （5～10年）	
■水産物蓄養	アワビ・伊勢エビ・活魚	研究レベルでの技術ほぼ樹立	事業化のための汎用化	
■海域肥沃化	藻場造成・基礎生産力の増強	実証試験中	効果評価と放水技術・多段階利用 との併用（10年）	
■海藻類培養	アオノリ・キリンサイなど 微細藻類（チノリモなど）	一部藻類（チノリモ・アオノリ） の小規模培養技術樹立	大量培養技術と成分抽出、用途開 発（5～10年）	
生活関連分野				■イメージ優先の商品開発から知識集約型・研究先導型の商品開発への転換 ①知識集約型・研究先導型の研究 ②プロジェクトなど連携研究
■食品	酒・醤油・豆腐・塩干もの等	イメージ優先の商品化先行型で、 添加の科学的根拠乏しい商品多い。 深層水淡水化は事業化。ミネラル 調整のための膜濾過技術は開発中。	品質評価による差別化と深層水の 独自機能を活用した商品の開発。 ミネラル濃度向上と用途開発（3 ～5年）	
■ミネラル水	清涼飲料水・化粧品 脱塩水・濃縮水	アトピー研究は小規模継続。具体 的研究ほとんど進んでいない。	効果の科学的実証（10年以上）	
■健康産業	機能性成分活用・アトピー改善	事業化進行中。	高品質化と品質の差別化。	
■その他	天然塩・保潔紙			
多目的利用				■海洋深層水の多目的多段階利用 による経済性の向上 ①要素技術～実証研究～技術移転 までの一貫した研究開発
■深層水冷熱	低温庫による発酵調整など	冷熱利用の技術評価段階。	高付加価値の付与（3～5年） 冷熱エネルギー活用	
■シャベット水	水産物の鮮度保持	製造技術開発途上。用途開発に着 手。	製造・貯蔵・輸送の要素技術 用途開発と高付加価値化（5～7年）	
■農業利用	花き栽培・育苗	適用研究の評価で休止中。	経済性の高い栽培種の検索と技術 評価（3～5年）	
■空調	省エネ型エアコン	海水用熱交換器・ヒートポンプ等 の開発中。	熱交換の高効率化。耐久性など	

図9 海洋深層水の利用分野と技術開発の方向・性格（2000 田島・松村 未発表）

はじめにも触れたとおり、本研究は、深層水のエネルギー利用を想定した技術開発の可能性の検討である。しかし、既存の取水地域では発電所やコンビナートのような大規模システムの導入は必ずしも現実的な選択ではない可能性がある。むしろ日量数千トン規模の産業利用では、コジェネレーションなど分散型エネルギープラントを軸に、地域内に分散している各種プラント間の連携を図ることにより、深層水の資源性の回収をより効率化することなどがより重要な課題になるのではないかと考えられる。

深層水商品には、従来からの製造素材の代わりに深層水や脱塩濃縮水などを用いた加工度の低い製品が少なくない。また、従来からの事業を拡大する形で深層水を利用し始めた企業も多く、製造プロセスは既存設備の転用で多分に独立かつ閉鎖的である。深層水の受け入れから商品化までを一貫して行う工場も多く、深層水商品といえども設備や製造プロセスは従来の製造方法が踏襲され

ている例が少なくない。原料の調達から製品化の過程において、関連業種との協業化など、取水地でこそ可能な産業集積や産業融合化への取り組みもほとんど進んでいないように見受けられる。

もし、首都圏や京阪神の工業地帯で見られるような町工場間の連携が実現し、互いに素材や中間製品を提供し合うネットワークが構築できれば、製造加工のプロセスの自由度が増し、商品の加工度をより高めることが可能になると考えられる。このような専門性の高い製造ラインをサブシステムに組み込んだより大きな産業システムを構築していくことが、深層水産業の高度化・システム化に育っていくと考えられる。

そのためには、既存の業種に加えて、深層水を使った水産養殖、生産物を素材化する素材化産業や中間製品製造業などの誘致をはじめ、地域における関連産業の多様性と集積度を高めていくことが必要になると考えられる。また、その製造加工の流れを効率的に管理するために、経済で使われ

るサプライチェーン・マネジメントのような手法が検討されても良いのではないかと考えられる。一次製品の生産、その素材化、素材のより高度な加工と商品化、その商品によるサービスを提供することまでを一体化することを想定すると、このような手法のノウハウは欠かせないと思われる。

その具体的取り組みとして、産学官連携によるシーズ発見とその芽だしのための研究開発⁵⁾、研究機関の保有するインキュベーション機能の活用（例えば、海洋深層水共同研究センター）などを積極的に図る必要があると考えられる。

4. まとめ

- (1) 北海道熊石町、富山県入善町、静岡県焼津市の深層水取水と今後の事業計画等について聞き取り調査を行った。3地域とも特色ある事業計画が立案されてはいるものの、生活関連分野の計画には類似性があることが明らかであった。
- (2) 深層水に関係する最近のシンポジウムでは、深層水とエネルギー利用、健康志向社会での深層水の利用、民主導に移行する深層水産業の諸問題などが討議された。これらの内容は今後の深層水利用研究の方向性を示唆すると思われた。
- (3) 中小零細企業が多く総合的な技術開発力に劣る本県深層水産業が持続していくためには、健康食品など新規分野の開拓に加え、各企業が保有する技術の連携と融合化を図ることで深層水の資源性回収の効率化と高度化を実現していくことが課題であると考えられた。
- (4) 深層水産業の高度化・システム化については、現在稼働中の製造ラインをサブシステムに組み込んだより大きな産業システムの構築が考えられる。そのためには、素材化産業や中間製品製

造業などの誘致をはじめ、地域における関連産業の集積度を高めていくことが必要である。

- (5) 今後の検討事項では、設備や製造プロセスのシステム化、原料調達や製造過程の協業化、産学官連携によるシーズ発見と研究機関のインキュベーション機能の活用などがあげられる。

謝 辞

各地での聞き取りでは、自治体や関係事業所の方々に大変なご協力をいただき、貴重なお話をうかがうことができました。お世話になりました皆様方に厚くお礼申し上げます。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究を受託した社団法人日本海洋開発産業協会（JOIA）からの助成金により行った。

参考文献

- 1) 社団法人 日本海洋開発産業協会：エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発—モデル実証研究及び基盤研究—成果報告書、(2001)
- 2) 社団法人 日本海洋開発産業協会：エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発—モデル実証研究及び基盤研究—成果報告書、(2002)
- 3) 社団法人 日本海洋開発産業協会：エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発—モデル実証研究及び基盤研究—成果報告書、(2003)
- 4) 社団法人 日本海洋開発産業協会：エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発—モデル実証研究及び基盤研究—成果報告書、(2004)
- 5) 地域新生コンソーシアム研究開発事業 提案書：海洋深層水海藻の機能性成分を用いた新規美容・健康製品の開発 (2003)