

深層水利用施設における熱エネルギー量 及び物質の供給能力について

Utilizable Thermal Energy and Nutrient
on Deep Sea Water Intake Facilities

三森 智裕^{1,2}・中島 敏光²

Tomohiro MITSUMORI and Toshimitsu NAKASHIMA

Abstract

Recently, deep sea water is used for fishery, air-conditioning, products such as fresh water, face lotion and so on. It is very important to concern with cascade system of deep sea water, because deep sea water utilization system is very expensive and the amount of water drawn has limit. In this paper we estimate utilizable thermal energy and nutrient such as nitrogen, phosphorus and silicon on deep sea water intake facilities in Kochi, Toyama and Okinawa.

Key Words: Deep sea water, thermal energy, nutrient

要 旨

近年海洋深層水は水産業、冷房などの冷熱利用、また淡水などの製品開発に利用されている。汲み上げられた深層水を無駄なく使い切ると言う観点からも、また深層水利用施設の低コスト化という観点からも、深層水の多段利用システムは重要である。本研究では多段利用システムの構築の際に必要であると思われる、深層水利用システムの持つ熱エネルギーと栄養塩の供給能力を、高知県、富山県、沖縄県の施設をモデルとして算出した。

1. はじめに

近年、深層水に関する取り組みが盛んになり、高知県、富山県および沖縄県では取水施設が完成し、深層水の3大特性である富栄養性、清浄性および低温性を生かし様々な研究開発および商品開発に利用されてきた。水産業では海藻や微細藻類などの培養や様々な魚介類の養殖、種苗生産など多岐にわたっている。エネルギー分野では研究施設の冷房などの冷熱資源として利用されており、発電所の冷却水としても注目を集めつつある。さらに深層水の富栄養性を生かし海域の肥沃化にも注目されている。

一方で深層水取水施設の建設には多大な初期投資が必要であり、施設の低コスト化に加え、汲み上げ

深層水の効率的な検討が重要である。この効率的な利用の一環として以前から提案されているのが深層水の多段利用システムである。深層水の多段利用システムを検討する際に、それぞれの利用段階において深層水の3大特性である清浄性、富栄養性、低温性がどの程度利用されているかを把握することが必要である。清浄性は段階を経るごとに低下し、また富栄養性は植物の生産時に低下する。低温性もまた冷熱エネルギー利用の際、また多段階に利用している途中で自然に失われていくものである。それぞれの特性が変化していく中で様々な利用形態をどういう順序で多段的に利用するかを考慮することは重要である。

本研究は深層水の多段利用システムを検討するに

¹ 科学技術振興事業団 (〒332-0012 川口市本町4-1-8)

² 海洋科学技術センター (〒237-0061 横須賀市夏島町2番地15)

表-1 各取水施設の深層水の取水量

取 水 地	取 水 量
高 知 県	920 ton/day
富 山 県	3,500 ton/day (日量最大)
沖 縄 県	13,000 ton/day

際の第一段階として、汲み上げられる深層水にどの程度の生物生産能力があるかを把握するために、1年間に得られる栄養塩の総量を算出することを目的とする。また、取水施設のランニングコストの低減化をめざし、表層水を用いた場合の深層水の水温制御において、どの程度の省エネルギー化が見込めるかを算出する事を目的とする。本研究では現在取水が行われている高知県、富山県および沖縄県の深層水利用施設をモデルとし利用可能な熱エネルギー量と物質量の算定を行った。

2. 各県の取水利用施設の概要

これまで高知県、富山県および沖縄県に深層水取水施設が完成し、また静岡県においては現在建設中である。またその他の都道府県や市町村により深層水に対する取り組みが盛んになっている。表-1に現在取水が行われている3県の深層水の取水量(谷口;1997, 奈倉;1997, 当真;2000)を示す。

2.1 高知県の取り組み(谷口;1997)

高知県では1989年に取水管(水深320m)が設置され、さらに1994年に2本目の取水管(水深344m)が設置され、合計920 ton/dayの取水能力を持つ。同時に表層水(水深0.5m)の取水管も設置され、920 ton/dayの取水能力を持つ。高知県ではこれまで、深層水の物理的・化学的・生物的環境の解明、マコンブなどの大型藻類の培養、微細藻類培養、放水技術に関する研究、深海性魚類生産技術の開発など、深層水に関する基盤的な研究が進められてきた。また深層水の水温制御に関しては、熱交換器とヒートポンプを利用し省エネルギー効果が確認されている。

2.2 富山県の取り組み(奈倉;1997)

富山県では1995年に水深321mから3,500

ton/day(日量最大)の取水能力を持つ施設が完成した。富山県の深層水は日本海固有水(水温1~2℃, 塩分34.0~34.1)と呼ばれ、その特徴を生かした水産分野での有効利用研究がおこなわれている。これまでにサクラマス・マダラの親魚養成、トヤマエビの種苗生産、ベニズワイガニ、エゾバイ類の生物学的研究、冷水性大型藻類の培養技術の開発など、水産分野での研究が進められている。また、有用物質の抽出・生産など非水産分野での利用研究も進められている。深層水の水温制御方法は、深層水を加温する場合は表層水または淡水を熱源とし、3℃以下に冷却する場合はブラインチラーを用いている。

2.3 沖縄県の取り組み(当真;2000)

沖縄県では2000年6月に海洋深層水研究所が開所し、取水量は13,000 ton/dayで国内最大である。沖縄県では深層水の特徴を無駄なく使い切る多段利用システムが取り入れられている。汲み上げられた深層水はまず冷熱利用として熱交換器を介し、施設の冷房や低温農業などの農業分野に利用され、その後水温制御され水産分野に利用し、最後に生物ろ過を施したあと放水される。今後の研究目標はクルマエビの養成、ウニ、ヒラメなどの養殖などの水産分野、またハウレンソウやサラダナなどを低温農業によって育成する研究が予定されている。

3. 深層水利用施設における利用可能な熱エネルギー量と物質量

3.1 利用可能な熱エネルギー量の算定

深層水による様々な生産要素についての使用水温の一例を表-2に示す(海洋科学技術センター;2000)。水産物の養殖などに深層水を利用するには、深層水の水温を制御(主に加温)する必要がある。水温制御の方法としては、(1)化石燃料などを用いたボイラーによる加温、(2)表層水や廃熱を用いた熱交換器による加温、(3)その他ヒートポンプの使用など、いくつかの方法が考えられる。制御できる温度範囲、安定性の面では(1)のボイラーによる加温が優れているが、ランニングコストの面では(2)の熱交換が有利と考えられる。ただし実際の設計においてはボイラー

表-2 生産要素と使用水温の一例

水 温	水 産 分 野	そ の 他
10℃以下	ボタンエビの親エビ飼育 タカアシガニの蓄養 コンブ種苗生産 海藻種苗生産	農業：ハウス冷房 土壌冷却 施設冷房 淡水化
10℃～15℃	タカアシガニ親ガニ飼育 ボタンエビ種苗生産 ボタンエビ蓄養 コンブ培養	淡水化 水産分野飼育棟 冷房
15℃	タカアシガニ 種苗生産	
20℃	ウナギ種苗生産 ウナギ親魚飼育 イセエビ親エビ飼育 ヒラメ、トラフグ クエ、アワビ親魚養成 マツカワ養殖1 エゾアワビ養殖	
25℃	イセエビ種苗生産 マツカワ養殖2	

や熱交換器のイニシャルコストも考慮に入れねばならない。ここでは深層水利用施設の省エネルギー化と環境面への影響を考慮して、(2)の表層水と深層水の熱交換による水温制御について熱エネルギー量の算定を行う。

図-1 に各取水施設における表層水と深層水の水温の年間変動を示す。高知県の水温は取水後の濾過槽での水温（海洋科学技術センター；1989）を、富山県の水温は富山県水産試験場より入手した取水後の受水槽での水温を示した。また沖縄県の水温は日本海洋データセンターの海洋データオンライン提供サービス経緯度1度メッシュの水温統計より得られた表層と深層（600 m）の水温を記した。高知県の深層水は年間を通して約12～13℃で安定して

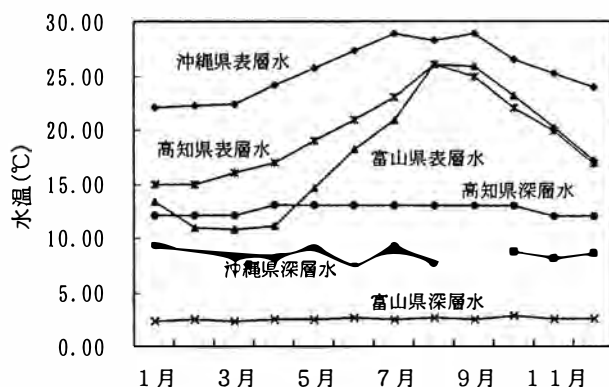


図-1 各取水施設における表層水と深層水の水温の年間変動

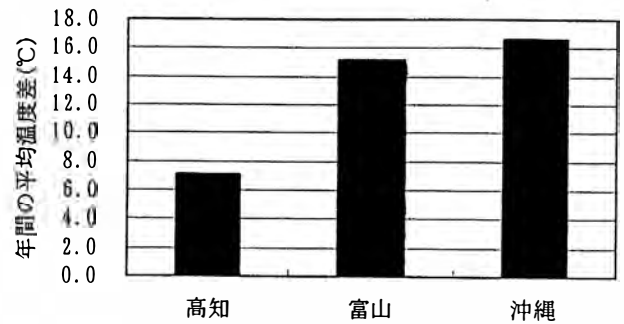


図-2

おり、また富山県の深層水は約2.5℃で安定している。沖縄県の深層水については約8～9℃となっている。表層水に関してはそれぞれの施設で水温の違いはあるが夏季に高く、冬季は低い。

これらの水温から算出した表層水と深層水の年間平均温度差を図-2に示す。この結果から平均温度差が最も小さいのは高知県で、もっとも大きいのが沖縄県となっている。富山県の表層水は高知県の表層水に比べて水温がほぼ同じか低い傾向があるが、日本海固有水の深層水が約2.5℃（汲み上げ後）と小さいため、表層水との温度差は高知県より大きくなっている。

図-1の水温を基にして、表層水との熱交換により深層水の水温を制御すると仮定し、その際に必要な熱量の算出を試みた。計算式は下記のとおりである。

$$Q = m_{DSW} C_p (T_{co} - T_{ci})$$

ここで Q は深層水を水温制御するのに必要な熱量(kW)を、 m_{DSW} は制御したい深層水の質量流量(kg/s)を、 C_p は海水の比熱($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)を、 T_{co} と T_{ci} は深層水の制御する目的の水温と取水温度を示す。図-3は上記式から求めたそれぞれの深層水利用施設における1年間あたりに水温制御のために必要な総熱量を示す。表層水を温熱源に用いていることから制御できる水温は原理的に表層水の水温を超えることはできない。そこで各施設における深層水と表層水の間あたりの水温に制御すると仮定して算出を行った。高知県は14℃、富山県は7℃、沖縄県は15℃とした。また各施設の最大限の熱エネルギー量を算定する目的から汲み上げられる

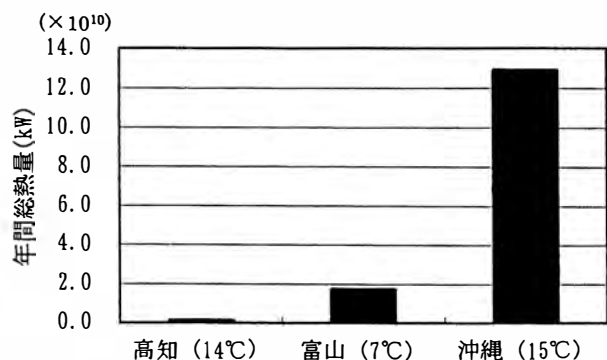


図-3 深層水を水温制御するために必要な年間総熱量

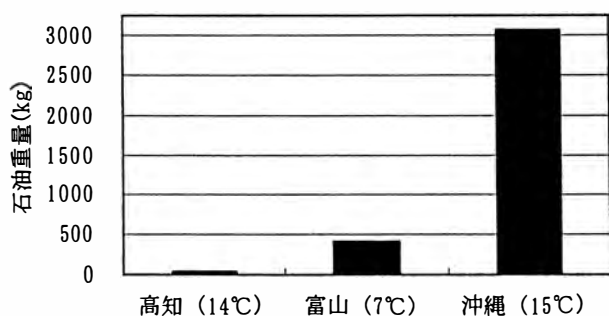


図-4 深層水を水温制御するために必要な年間総石油量

深層水すべてを上記の水温に制御すると仮定した。さらに今回はなるべく簡略なシステムを仮定して熱交換器のみによる制御とし、ヒートポンプなどの機器は考慮に入れていない。図-3 からそれぞれの施設における必要な熱量は特に沖縄で大きくなっているが、これは取水量が日量 13,000 ton と大きいことに起因する。図-4 は図-3 に示した熱量から、それに相当する熱量を発熱するのに必要な原油の重量に換算（日本エネルギー経済研究所；2000）したものである。沖縄における原油量が大きいのは図-3 に同じく取水量に起因している。この結果から水温制御を表層水を用いて行う場合、原油を用いる場合に比べて図に示した程度の原油の節約が可能となる。

3.2 利用可能な栄養塩量の算定

微細藻類、海藻などの植物を深層水で培養、飼育する際に、深層水中に含まれる栄養塩量は重要である。また、深層水の多段利用システムの検討においてそれぞれの段階でどの程度栄養塩が吸収されるかを把握することは重要である。さらに深層水の放水

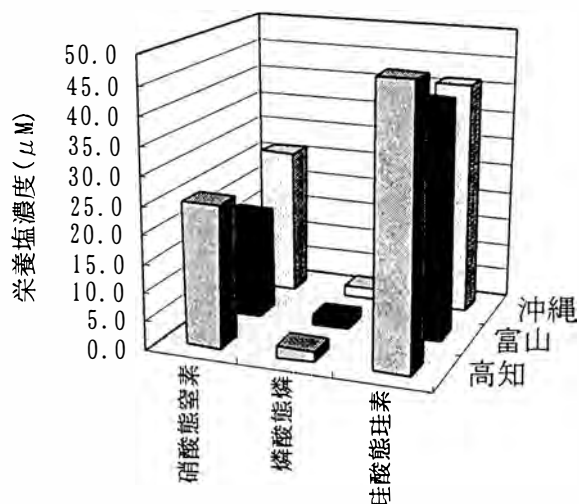


図-5 各取水施設における栄養塩濃度

による海域の肥沃化を検討する場合においても深層水利用施設における供給可能な栄養塩量の把握を行うことは重要である。本研究では多段利用システムにおける最も基礎的なデータとして、年間に汲み上げられる栄養塩の総量を算出した。

図-5 に各取水施設における栄養塩の平均的な濃度を示す（豊田他 1998, 高柳他 1999, 日本海洋データセンター）。硝酸態窒素、珪酸態珪素および磷酸態磷のそれぞれについて各地域において大きな差はない。窒素に関してはアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素および溶存態窒素は濃度が小さいので省略した。図-6 に各取水施設において汲み上げられる栄養塩の年間の総量を示す。計算法は各栄養塩の濃

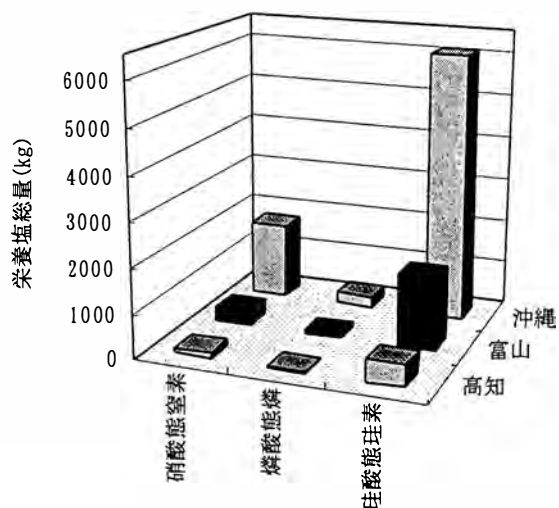


図-6 各取水施設において汲み上げられる栄養塩の総重量

度に年間の取水量を掛けたものである。その結果、硝酸態窒素の年間の汲み上げ総量は高知県で 118 kg、富山県で 332 kg、沖縄県で 1741 kg となった。各地における栄養塩濃度の差はわずかであるため、総量の差は主に深層水の取水量に依存することがわかる。

4. 結 論

高知県、富山県および沖縄県に設置されている深層水利用施設における水温、栄養塩量と取水量から、おのおの施設が持つ利用可能な熱エネルギー量と物質量の算定を行った。深層水を水温制御する場合、石油などの化石燃料を用いるか、それ以外の温熱源、例えば表層水や温泉熱などを用いることが考えられる。今回、各取水施設が深層水とともに表層水を汲み上げていることから、表層水との熱交換による水温制御を仮定し、その際に必要な熱エネルギー量の算定を行った。その結果、表層水を用いた場合の熱エネルギー量は図-4 に示される程度の原油量に相当し、化石燃料以外の温熱源を利用する有効性が確かめられた。ただし今回の結果は、表層水はすでに汲み上げられているものとして、表層水を汲み上げるためのポンプ動力や取水のための配管の費用などについては考慮を行っていない。今後、深層水のみを汲み上げる取水施設において同様の試算を行う場合は、これらのことを考慮する必要がある。

熱エネルギー量と同様に、供給可能な栄養塩量についても 3 施設において算出した。各取水施設において単位体積当たりの栄養塩量に大きな差はないが、取水量の関係から施設における差異がでた。これらの栄養塩からどれくらいの生物生産が見込めるかを把握することが、多段利用システムの検討と共

に必要である。

深層水利用施設について省エネルギーと低コスト化の観点から、深層水の多段利用システムは重要であり、今回の結果は多段利用システムの検討、また海域の肥沃化を検討する際の基礎的な評価として行った。実際の多段利用システムの検討においては制御する水温や、培養する植物は様々であるのでさらに詳細な見積もりが必要であり、今後の研究課題である。

参考文献

- 1) 海洋科学技術センター (2000)：静岡県における多段利用システムの構成。深層水多段利用システムに関する研究 報告書, 67-72.
- 2) 海洋科学技術センター (1989)：深層水取水装置の取水特性と水温制御技術に関する研究。海洋科学技術センター 清水建設(株) 技術研究所 共同研究 深層水有効利用技術の実用化に関する研究 平成元年度成果報告書, 17-27.
- 3) 奈倉昇 (1997)：富山県における海洋深層水利用研究。JAODOWA NEWS. Vol. 1, No. 2, 2-4.
- 4) 日本エネルギー経済研究所 (2000)：エネルギー・経済統計要覧。日本エネルギー経済研究所計量分析部編。省エネルギーセンター。東京。311 頁。
- 5) 日本海洋データセンター, http://www.jodc.jhd.go.jp/index_j.html.
- 6) 高柳信孝・大浦敏・齊藤行雄・山本敦・小玉修嗣・健名智子・大戸幹也・松永明信 (1999)：富山湾の深層水の成分調査。富山県衛生研究所年報, 209-214.
- 7) 谷口道子 (1997)：高知県における海洋深層水研究。JAODOWA NEWS. Vol. 1, No. 1, 10-12.
- 8) 当真武 (2000)：沖縄県における海洋深層水の利用研究。JAODOWA NEWS. Vol. 4, No. 1, 6-8.
- 9) 豊田孝義・中島敏光・黒山順二 (1998)：KAUL の汲み上げ深層水中の栄養塩類。海洋深層水'98・高知大会講演要旨集, 24-25.

(2001. 1. 11 受付, 2001. 3. 28 受理)