

ハワイ島の 深層水利用研究

大森 信
東京水産大学

Exploitative research of deep seawater in Hawaii Island

M. Omori

熱帯域で、深層から栄養塩が豊かで冷たい海水を汲み上げて温度差発電を行い、室内を冷房し、農業や水産増殖に使うという革新的な構想を知ったのはもう 20 年前のことだ。海洋開発はその当時に人々が期待していたよりはるかに遅いペースでしか進歩してこなかったが、深層水の利用は、ようやくわが国でも可能性が取りざたされて、富山市や高知県で小規模な実験が行われている。

深層水利用の研究と実用化で世界で最も進んだ施設がハワイ島にある。これが島の西端のケアホレ・コナにある天然エネルギー研究所 (NELH, National Energy Laboratory of Hawaii) を中心にしたハワイ州天然エネルギー研究機構 (NELHA) である。NELHA は NELH (1974 年設立) と 1983 年に設立された深層水利用工業団地 (HOST park) が 1990 年に統合されたもので、ここには深層水汲み上げを行う研究所の周辺に、実際に海水を用いて各種の事業を展開している私企業が集っている。

一昨年、NELHA の発展に大きい力のあった米国工学会アカデミーの J. Craven 博士に会った際、ぜひと勧められていた視察の機会が意外に早く訪れた。阿嘉島の研究所で飼育研究をしているヤコウガいの餌にオゴノリを使おうとしていたところ NELHA でこの海藻を大規模に生産販売している Royal Hawaiian Sea Farms 社が種苗の提供と事業場の見学に同意してくれたからである。

理事長の保坂さんに、下池、上林の研究所のスタッフと、培養を手懸けている大葉博士 (東水大) を

加えて、私達は 1 月 27 日 (1994) に NELHA を訪ねた。そして予めお願いしてあった Hachmush 所長の好意で、研究所といくつかの事業場を案内してもらった。Royal Hawaiian Sea Farms のことは別に紹介することにして、NELHA の様子をまとめて、深層水利用のための参考に供したい。

深層水には 4 つの特徴がある。1) 清浄で細菌が少ない。2) 栄養塩に富む。3) 低温。4) 水温が年間ほとんど一定。表 1 に NELHA の資料から深層水の特性を表層水と比較して示す。NO₃、PO₄、Si などの含量がきわめて高いこと、懸濁物が少ないこと、溶存酸素量が低いことが明らかである。

NELHA はハワイ州政府産業開発局海洋資源部の管轄下にある。研究所 (NELH) は海洋開発の基礎研究の傍ら、NELHA の私企業に研究開発の場と海水および事業のための土地を提供管理し、設計や輸送のサービスなどを行っている。事業場はエーカー単位で州の土地を借りるということになる。

黒い溶岩で覆われた広大な荒地の向こうに青い海を見ながら NELHA の敷地に入った私達は、その広さにまず驚いた。約 35,200 アールの敷地には遥か向こうに少しの建物が集っているだけである。深層水の有効利用に農業と水産業を選べると広い土地が必要なのはわかっているが、日本でこのような実験場を作ることはほとんど無理かも知れない。また、アメリカ人のスケールの大きさをあらためて感じると共に、深層水の開発が経済性という高いハードルを越えられない現実を工業団地内の事業場の少なさに見

て、この敷地が企業で埋まるのは何年先なのだろうかという思いが頭をよぎった。

この場所が選ばれたのは、深層水が近くで得られることの他に、アメリカの沿岸で最も日射しが強いこと、気候が温暖で雨が少ないこと、未開発の広い土地があって、空港や港に隣接し、交通の便に優れていることが理由である。

NELHA のパイプラインは、11 本のポリエチレン製の径 12~40 インチ管で、深層水は約 610m 深 (約 5) から水中ポンプで、表層水は約 15m 深 (23~25) から汲み上げている。前者の取入口は岸から 1417m 沖にあり、管は水深約 150m までは海底沿いに固定し、それから先は先端 (取水口) をアンカーで延ばしているだけである。40 インチ管の全長は 2500m だが、汲み上げ途中で深層水の温度は摩擦のために 2 ほど上昇 (特に 12 インチ管で) するから、陸上で配られる時には 7~8 になる。深層水の汲み上げ能力は毎分 64m³、表層水は 43m³ 以上である。一般に、取水施設は深層水利用施設の全工費の約 60%以上を占めると言われているが、ハワイ島でも深層水は実際に高価で、企業が支払う 1 ヶ月の水道料は深層水の場合、流量毎分 1 ガロン当り 3.25 ドル、表層水の場合は 2.75 ドルであるから馬鹿にならない。ここに事業化の上での大きいネックがある。また、管の付設には環境上の問題もある。ましてやハワイ島のようなサンゴ礁の発達した浅海部ではなおさらであって、NELHA では現在、地中に穴をあけ、傾斜掘方式で水深 1000m (水温 4) の新取水口まで管を建設するという計画がある。波浪の影響を受けず、環境を損なわないというこの工法は、今後の深層水利用施設の上で注目してもよい。

深層水利用の基本構想は、先にも述べたように、温度差発電と冷房と農水産業などのプロジェクトを連続するものであるが、現在は汲み上げ水を完全にシステムの中で使い切るほどの需要はない。利用済みの海水は堤防のある角形の池に集め、底の溶岩に

いくつもの抗を設け、そこを通過して地中にしみ込ませて海水に戻すようになっている。しかし、将来、利用済みの海水がもっと増えれば、別の処理方法を開発しなければならないとの話であった。

温度差発電は、一昨年からオープンサイクルの試験器による実験運転が始まり、210 キロワットの電力を供給しているが、現在 1 メガワットの出力を持つ改良器を建造中である。冷房は熱交換器の開発によって効率よく行われ、普通なら 1 ヶ月 1000 ドルという経費が節約できている。熱交換器によって淡水を製造することも試みられている。

NELHA で行われた、あるいは行われている研究開発プロジェクトのうち、面白いと思われたいくつかを次に挙げてみよう。

1. 黒真珠貝の母貝の養殖と種苗生産

ハワイ産とマーシャル群島産を分けて、それぞれの採卵と種苗生産技術の向上が企てられている。

2. 熱交換器の付着生物の除去

1ppm 程度の塩素イオンの断続的添加が効果的。

3. 太陽熱による海水の淡水化

52 に暖めた海水シャワーに空気を送って飽和水蒸気を作り、表層水を通した熱交換器で露滴を作る。

4. イチゴやレタスの栽培

深層水の通った管を畝当り地中と地上それぞれに 2 本ずつ通して土の温度を下げると共に露滴となった空気中の水分を使うことで、寒冷地や温帯域の花や野菜を栽培する。この方法によってイチゴでは糖度が増すことがわかった。

NELHA では現在 16 の企業が事業を行っている。そのひとつ Aquaculture Enterprise 社では空気入りビニールや黒い寒冷紗の巨大な覆いの下で、ヨーロッパ産と北米東岸産のロブスターとそれらの交雑種の幼生から商品サイズまでの養成と、漁獲物の給餌畜養が行われている。ロブスターは共食いするので、1 尾ずつ仕切りのある水槽で飼われている。餌は乾燥

ペレットであるが、生産には手間と時間がかかるので採算が合うだろうかと疑問を持ってしまう。但しメイン州の海では冬の間成長が鈍るので、市場に出すまでに7年かかるが、ハワイの深層水では半分の時間で商品サイズになるという。

向かいの Cyanotec Coop 社では、降雨が少なく日射量が多い環境の特色を生かして、ラン藻の一種スピルリナ (Spirulina) を大量培養して乾燥粉末や錠剤の形で市場に供給している。スピルリナは露地の長さ 100m 位、深さ 50cm 位の細長い池で、水車で水を攪拌しながら増殖させる。池の水は緑色のスープのようであった。このラン藻は蛋白質の含量が極めて高く (乾燥重量の約 60%)、ビタミンやミネラル、必須アミノ酸にも富んでいるので健康食品 (商品名 Nutrex, Spirulina pacifica) として販売される他、これから抽出されるフィコビリ蛋白質 4 種も医療用として使われ、アメリカ市場で大きいシェアを占めているようだ。この会社では、他にもベータ

カロチンの含有量の高い緑藻のドナリエラ (Donaliella) の培養を進めるために、大きい増殖池が作られつつあった。

深層水利用技術の研究開発は人類の夢の一つではあるが、深層水が値段の高いものだけに、それを使った生産物の商品化には経済性の故に多くの困難が付随する。広い範囲で経済的成果を得るまでには、まだ多くの問題を解決しなければならない。NELHA の最大のテナントであった Ocean Farms of Hawaii 社が水産養殖事業の不振 (サケの価格暴落が主な原因という) のために撤退したのは象徴的な出来事であった。しかし、深層水の利用は熱帯の農業や水産業の育成には極めて大きい可能性をもつものだけに、潜在力を正しく評価し、技術開発を怠ってはいけないというのが、私の感想である。21 世紀のはじめには、おそらく世界のあちこちの大洋島でも深層水のプラントが稼動しているだろう。そういう状態であれば海洋開発の将来は期待薄である。

表 1. ハワイ州天然エネルギー研究所の表層水と深層水の諸特性 (NELH パンフレットより)

特性	単位	表層水	深層水
取水口水深	(m)	20	586
温度	(°C)	25.99±0.93	8.91±0.95
塩分	(‰)	34.816±0.172	34.298±0.033
pH		8.227±0.049	7.563±0.040
アルカリ度	(meq/l)	2.318±0.020	2.354±0.021
NO ₃ + NO ₂	(μM/kg)	0.20±0.08	38.97±1.19
PO ₄	(μM/kg)	0.16±0.04	2.96±0.08
Si	(μM/kg)	2.98±1.53	74.59±4.36
NH ₄	(μM/kg)	0.36±0.21	0.19±0.20
溶存有機窒素量	(μM/kg)	4.34±0.71	1.78±0.61
溶存有機リン量	(μM/kg)	0.24±0.05	0.05±0.06
溶存酸素量	(mg/l)	6.98±0.33	1.21±0.19
全有機炭素量	(mg/l)	0.77±0.33	0.36±0.14
懸濁有機炭素量	(μM/kg)	2.88±0.85	0.96±0.35
全懸濁物	(mg/l)	0.61±0.52	0.25±0.13