

水資源海上備蓄構想

長崎大学工学部 正会員 後藤恵之輔

1. まえがき

21世紀はもう間近である。来世紀まで10余年を残すのみとなったこの時点で、我々はどのような成熟社会を目指し、その実現へどのように努力すべきであろうか[1]。この課題を考えると、生活の基盤をなす一つである「水資源」問題の解決なしでは済まされない。砂漠化の進展、干ばつ・ききん、渇水、地盤沈下、電力不足など、いずれも水資源と大きく関わっている。

日本の降水総量は年間6749億トンである。これに対して、全国の水使用量は生活用水、工業用水、農業用水を合せて年間約890億トンであり[2]、降水だけで水需要を十分にまかなえるはずである。しかし、現実にはそうはいかず、1978年の福岡や昨年(1987年)の東京を始め、毎年全国どこかで渇水騒ぎが起こっている。解決策としてダムを造ろうにも適地は少なく、造れたにしても量的には完全に不足である。また、水源を地下水に求めても、今度は地盤沈下の問題が起こってくる。雪の水資源としての利用が叫ばれている。その一つに雪ダム構想があるが[3]、現実的に長期間にわたる融雪の抑制は可能か、周囲の微気候に影響を与えないか、雪崩は発生しないか、などの懸念が残る。

水使用量890億トンに対して降水総量は6749億トンもあるのに、なぜこのような水不足が起こるのであるのか。それは降水の利用が有効に行われておらず、降水の大部分が海に流れ込んでしまうためと考えられる。そこで、本研究では、この海に流出する降水をできるだけキャッチすべく、海岸から湧出する地下水、雪解け水、ダムに貯めた水などを海上に備蓄する構想を提言したい。ここに展開する“水資源の海上備蓄”は、いわば広大な海を水資源の備蓄基地として活用しようというもので、コスト的にも十分成算あると思われ、実現できれば我が国だけでなく全世界の水不足に貢献できると期待される。

2. 構想の背景

本構想は単なる思いつきでなく、その背景として別報[4、5]がある。これらはそれぞれ、海岸から湧出する地下水を海上備蓄するため探査し、また3～5月の融雪期における河川出水すなわち雪解け水を海上備蓄するため流出調査を行うものである。したがって、本構想の裏付けとなるのはまさしくこれら2研究で、データを示すとすれば[4]について図-1を、[5]について図-2を掲げておく。図-1はランドサットTMデータにより長崎県島原市沖合の低水温域を抽出したものであるが、この低水温域は現地調査から地下水が海岸付近の海底から湧出しているものと推定されている。また、図-2は北海道石狩川河川水の石狩湾への流出状況を示すもも1号のMESSR画像であるが、これが雪解け水であることは北海道開発局による現地観測および資料により明らかである。

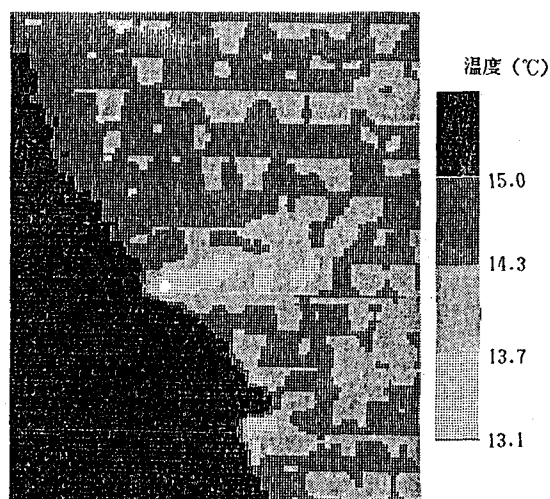


図-1 ランドサットTMによる島原市沖合の低水温域
(海岸近傍の白い点。1984年5月22日観測)

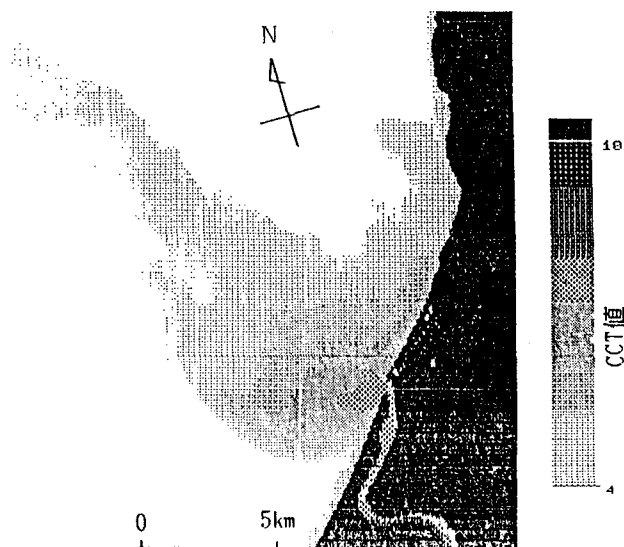


図-2 もも1号のMESSRによる石狩川河川水の
海洋流出状況(1987年4月27日観測)

図-1の調査は、もともと水不足が心配される長崎県の水資源環境から研究を始めたものである。海岸湧出地下水の存在が確認されれば、その海上備蓄は湧出量に応じて早期に実現される状況にある。さらに、図-2の調査については、図-1の研究を行っているうちにこのMESSR画像を見て、雪解け水の海上備蓄[6]を考えるに至ったのである。これに基づいて、東北地方のある県ではダムに貯留した水を海上備蓄しようとする動きがある。このように、本構想は、①長崎県での海岸湧出地下水の探査→②北海道石狩川の雪解け水の海洋流出調査→③雪解け水の海上備蓄構想→④東北某県におけるダム貯留水の海上備蓄の動き、の延長線上にあり、実現化される可能性は高い。

3. 水資源の海上備蓄

3.1 水資源の種類と備蓄の方法

2. で明らかなように、海上備蓄の対象となる水資源には海岸湧出地下水、ダム貯留水および雪解け水の3種類が考えられる。これら水資源の海上備蓄の方法は図-3のとおりである。海上備蓄には取水口、取水パイプ（送水パイプ）、揚水ポンプおよび備蓄船があればよく、設備は至って簡単である。

海岸湧出地下水の場合には（図-3(a)参照）、地下水が海岸付近の海底から湧出している箇所を何らかの方法で探し出し、そこに取水口を設けて取水し備蓄すればよい。地下水の湧出箇所の探査には、別報[4]で述べるとおり、リモートセンシングが偉力を発揮し効果的である。

ダム貯留水の場合には（図-3(b)参照）、もちろん取水箇所を見出す必要は全くない。ダムに貯まった水を逐次送水パイプで備蓄船に送水すれば済む。またダム貯留水は海水と混じることがないので、海上備蓄にはこれが最も簡単である。

雪解け水の場合には（図-3(c)参照）、取水口の位置として図の3通りが考えられる。①は河口、②は河口に近い海、③は河川下流部である。①は雪解け水が潮流その他の影響で海中に広く拡散する場合に適しており、②は雪解け水の海中拡散がさほどでない場合に適用される。③は下流部にダムが造れる余地のある場合であるが（図-3(b)の場合と同じ）、必ずしもダムを造る必要はない。

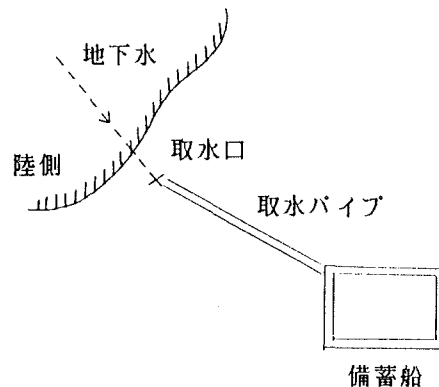
いずれの場合においても、備蓄船は移動できるものとするため、動力のある船そのものでもよく、またバージ型式にしておいてタグボートその他で曳航できるようにしてもよい。さらに海上備蓄は航行のある海上においてある程度の期間行なわれるため、備蓄船には耐久性はもちろん、水密性、耐腐食性、耐衝撃性、耐振性などが要求される。

3.2 海上備蓄の利点と効果

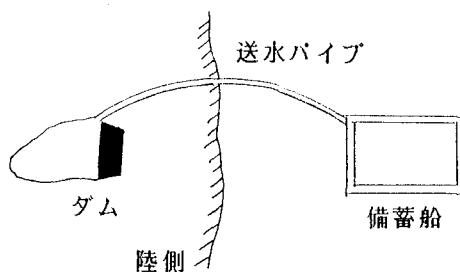
水資源の海上備蓄には、次の利点が挙げられる。

- (1) 海岸湧出地下水を利用する場合には、地下ダムの場合にように陸上で地下水の位置を求めダムの築造地点を選定するいわゆる適地選定に困らない。
- (2) 地下水でも海岸から湧出する地下水を利用するため、陸上で地下水を汲み上げたさいによく起こる地盤沈下の問題が全くない。
- (3) ダム貯留水を海上備蓄する方法によれば、離島や内陸部で大きなダムが造れない場合でも、小さなダムを造っておきそれに貯まった水を逐次備蓄することにより水不足を解消できる。
- (4) 海上に備蓄する物質は水であるので、石油備蓄で心配される海洋汚染の恐れが全くない。

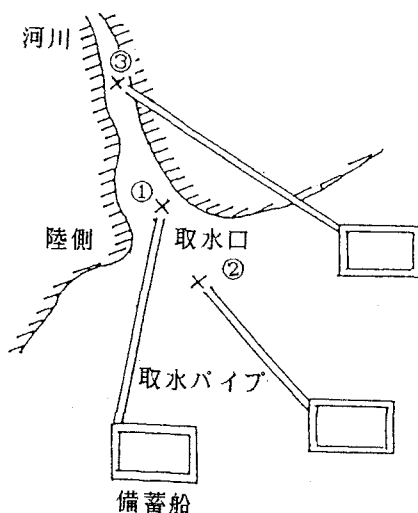
これらの利点の他に、水資源の海上備蓄では備蓄船を大量に必要とするため、今日の日本が直面している問題の一つ「造船不況」を緩和しうる効果もある。



(a) 海岸湧出地下水の場合



(b) ダム貯留水の場合



(c) 雪解け水の場合

図-3 海上備蓄の方法

4. 海上備蓄水の利用

4. 1 生活・工業用水など

海上備蓄された水資源は、まず第一に生活用水や工業用水、農業用水などに利用される。ダム貯留水の場合は問題ないが、海岸湧出地下水および雪解け水では海水と混じり塩分を含んでいるため、淡水化の必要がある。その方法としては蒸発法、逆浸透法、電気透析法、太陽熱利用法、LNG冷熱利用法などがあるが[7]、我が国ならびに各国では逆浸透法がますます利用されるう勢にある。

すなわち、海上備蓄水は、半透性の膜を利用し逆浸透法により容易に淡水化することができる。逆浸透法に使用される膜は特殊な処理を施した高分子膜で、水分は透過するが水にとけている成分（塩分など）は透過しにくいという性質をもつ膜で、一般に半透膜と呼ばれている。

いま、図-4(a)に示すように、容器に半透膜を境として塩濃度の異なる水溶液を同量入れたとする。容器内では各水溶液は塩濃度が同じになるように混じり合おうとするが、半透膜のために塩類は移動できず、水分だけが塩濃度の高い方へ移動する（浸透現象という）。この浸透により各水溶液の液面高さに差が生じるが、この差がある値に達すると水の移動が止まる。このときの高さの差を換算したものを浸透圧と呼ぶ（図-4(b)参照）。ここで、図-4(c)のように塩濃度の高い方に浸透圧以上の圧力を加えると、水分は図-4(a)とは逆に塩濃度の高い方から低い方へと移動し、溶解成分が残る（逆浸透現象という）[8]。

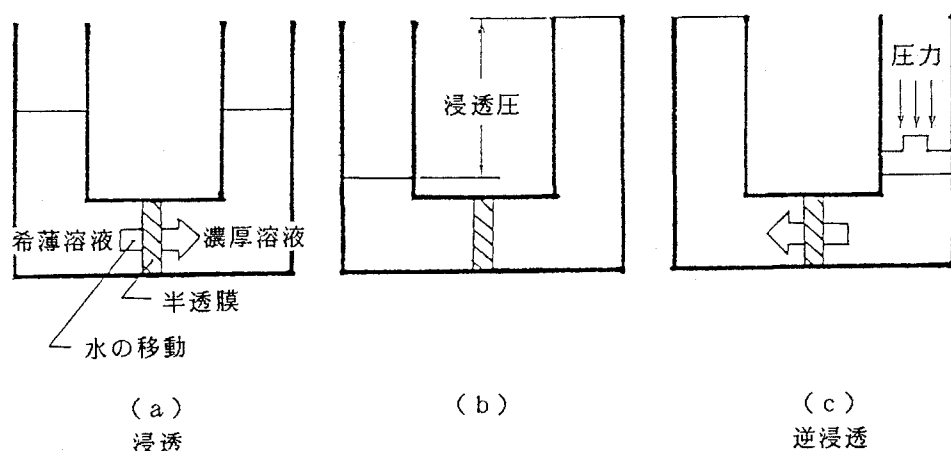


図-4 逆浸透の原理

このように、逆浸透法とはある成分がとけている溶液を、その浸透圧より大きな圧力で半透膜面に押しつけて水分を押し出し溶解成分を残す、すなわち水分を分離する方法である。この方法に用いられる半透膜を逆浸透膜と呼んでいる。海岸湧出地下水や雪解け水はこの逆浸透法により塩分が除去され淡水化されるが、図-4(a)でいえば希薄溶液が真水、濃厚溶液が地下水または雪解け水に相当する。淡水化される水の塩濃度が高い程、浸透圧も高くなりそれだけ運転圧力も増加する。したがって、地下水や雪解け水に塩分が混じり合わない方が淡水化の効率はよく、雪解け水の取水口の位置でいえば（図-3(c)参照）河川下流部、河口、河口に近い海の順に望ましい。

逆浸透法による淡水化は、施設は簡単、造水原価も安く、周辺環境への影響もない（漁業との関係が残るが）など利点は多い。ちなみに、1日当たり200トンの原水処理を行うとすれば、造水原価は海水で1トン当たり約270円であるのに対して、海岸湧出地下水や雪解け水では約90円と3分の1ですむ。その内訳は、電力27%、膜交換費25%、人件費23%、残りは定期保守費、薬品費、消耗品費である。

4. 2 海洋温度差発電

海洋温度差発電は、海の表層部の温水と深層部の冷水を利用して発電するシステムである。図-5にその原理を示す。

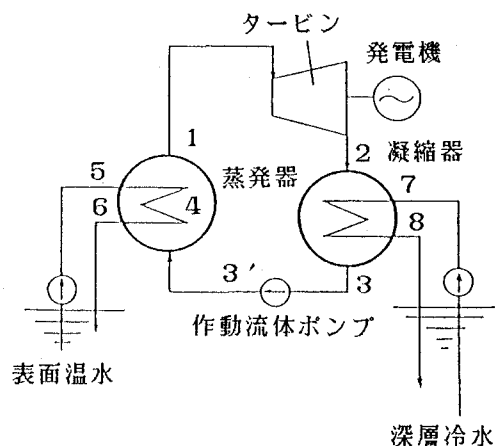


図-5 海洋温度差発電の原理

蒸発器において、18～25℃で蒸発・沸騰する作動流体(アンモニアかフロン22)の液を表層海水で加熱して蒸発させる。その蒸気をタービンに通してタービン・発電機を回転させ、発電する。タービンを出た蒸気を深層海水で冷却し、液化する。その液を作動流体ポンプで再び蒸発器に送る。これらの繰り返しを行うことにより、石油やウラン等を用いることなく、海水のみで発電をすることができる[9]。

海洋温度差発電では、これまで作動流体の蒸気を液化するのに深層水の利用を考えてきた。しかし、この冷却水は何も深層水である必要はなく、本論で提言している雪解け水の海上備蓄水も利用できるはずである。海上備蓄船を発電に必要な温度差が得られる海域まで曳航して、そこで図-5のシステムにより発電を行えばよい。

4.3 海洋濃度差発電

図-4(a)、(b)に示したように、希薄溶液と濃厚溶液を半透膜によって隔てたまま放置すれば、浸透現象により濃厚溶液側の圧力が上昇し、希薄溶液との間にある圧力差が生じて溶媒の流入が止る。このとき発生した圧力差が浸透圧であるが、浸透圧は濃厚溶液側の自由表面をそれだけ上昇させるから、ポテンシャルエネルギーを発生させることになる。これが濃度差エネルギーである。

海水と淡水は、この例において塩分の希薄溶液と濃厚溶液に対応するから、浸透圧を示すはずである。浸透圧は、海水の塩分濃度と海水の絶対温度に比例する。いま海水温を20℃、塩分濃度を3.5%とすれば、淡水に対するこの海水の示す浸透圧は24.8気圧、水頭にして256.2mとなる。したがって、1%の淡水が海水と混合することにより、 $2.563 \times 10^2 \text{ kgm}$ (600cal)のエネルギーを放出する計算となる。このような海水と淡水による濃度差エネルギーを電気エネルギーなど有効仕事として取り出そうとする方式を、海洋濃度差発電と呼んでいる[10]。図-4(a)において、希薄溶液を海岸湧出地下水または雪解け水、濃厚溶液を海水とすれば、地下水や雪解け水の海上備蓄水は濃度差発電に利用できることになる。このとき用いる半透膜は、淡水化に用いられる逆浸透膜である必要はない。

5. おわりに—海上備蓄水の海外輸出と構想の国際化

中近東では、水源が乏しいため海水の淡水化を行っているところが多い。1970年代に南極の氷山を曳航して水資源に利用しようという計画があったが、技術および予算の面から実現化していない。現在、中東から日本に向けて、何隻ものタンカーで石油が運ばれて来る。このタンカーに帰りに本論で提言した海上備蓄水を持って行ってもらえば、生活用水や工業用水などの水源として、また砂漠緑化の水資源として利用できると考える。

砂漠化の進展は著しく、世界中で多くの国々が水不足のため食料危機にさらされている。他方、この地球には日本に限らず、豪雪地帯は多い。そこでは融雪期になれば、大量の雪解け水が海へ流出しているはずである。この雪解け水を本構想と同じように海上備蓄して水不足に陥っているそれらの国々へ持って行けば、食料不足もいくらか緩和されると思うがいかがであらうか。

参 考 文 献

- [1] 住友商事(株):「住商ニュース」創刊100号記念懸賞論文募集要綱, 1988.6より.
- [2] 国土庁長官官房水資源部:日本の水資源(昭和62年版水資源白書)、大蔵省印刷局、p.5, p.28, 1987.8.
- [3] 中村靖治:雪ダムのはなし、土木施工、Vol.28、No.9、pp.42~47、1987.8.
- [4] 後藤恵之輔・藤田 徹・川内 清明・森 正寿:ランドサットTMデータを用いた海岸湧出地下水の遠隔探査、海洋開発論文集、No13、1988.11.
- [5] 後藤恵之輔・七條哲彰・藤田 徹・森 正寿:海洋観測衛星もも1号のデータによる融雪水の海洋流出調査、同上、1988.11.
- [6] 後藤恵之輔:雪解け水の海上備蓄について、第4回雪工学シンポジウム論文集、pp.39~46、1988.1.
- [7] 富永博夫・桜井 宏・白田利勝:資源の化学、大日本図書、pp.205~214、1987.7.
- [8] 日揮(株):日揮の逆浸透淡水化装置、改定版、1986.7.
- [9] 上原春男:海洋温度差発電の新しい展開、省エネルギー、Vol.35、No.13、pp.2~8、1983.
- [10] 本間琢也・黒木敏郎・梶川武信:海洋エネルギー読本、オーム社、p.43、1981.