

海洋深層水は低炭素化社会の実現に貢献できる

NPO 海ロマン 21 理事 海洋エネルギー・資源研究会主査 井上 興治

はじめに

2020年以降の温暖化対策の国際枠組みいわゆるパリ協定が2016年11月に発効しました。世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して2度未満に抑制することとし、今世紀後半には人間活動による温室効果ガスの排出量を実質的にゼロにするというものです。日本政府はこれに呼応して2030年までに26%減、2050年までに80%減にすると決定し対策計画を定めています。

再生可能エネルギー利用の強力な展開がいうまでもなく不可欠で、太陽光や風力利用などが明記されていますが、状況からみるとそれらだけでは決して十分ではありません。しかも、海洋エネルギーの利用については触れられていません。他の再生可能エネルギーに比べて研究開発が遅れていたことが原因ですが、近年は研究も進み、特に、海洋深層水の利用について世界の最先端を走っています。世界第6位を占める広大な排他的経済水域(EEZ)を管轄する我が国において、再生可能エネルギーの利用拡大を進めるうえでも今後海洋深層水の利用促進政策を積極的に進めることが肝要です。

さて、NPO 海ロマン 21 では、低炭素化社会の実現

に向けて他の再エネよりもさらに効果が見込めそうな海洋深層水の利用について研究した海洋深層水活用調査研究報告を取りまとめました。私見を交えながらその概要を紹介したいと思います。

北太平洋亜熱帯海域に深さ-3,000mのスカート(銅板セルの巨大なものを想像すればいいでしょう)を着けた人工の島(浮島)を造ります。ここから海水を汲み上げて海上に放流します。汲み上げ続けられれば水深-3,000mにある太平洋深層水がスカートの下から静水圧で上がってきます。

この深層水は、産業革命以前に形成された低濃度の二酸化炭素を含む栄養塩に富んだ海水であるため、潜在的CO₂吸収能力(Potential Sink Capacity)を持っています。栄養塩が光合成に使われた後にこの海水は大気中のCO₂を吸収します。毎秒400万t汲み上げれば、その海水は、日本が現在化石燃料の燃焼で排出しているすべてのCO₂を吸収できるというものです。

これは、地球温暖化防止対策として海洋学者の故角皆静男博士が提唱した海洋都市建設構想です。「技術的には大変ですね」という問いに、「それを考えるのが工学系の皆さんでしょう」と涼しい顔でお答えになっ

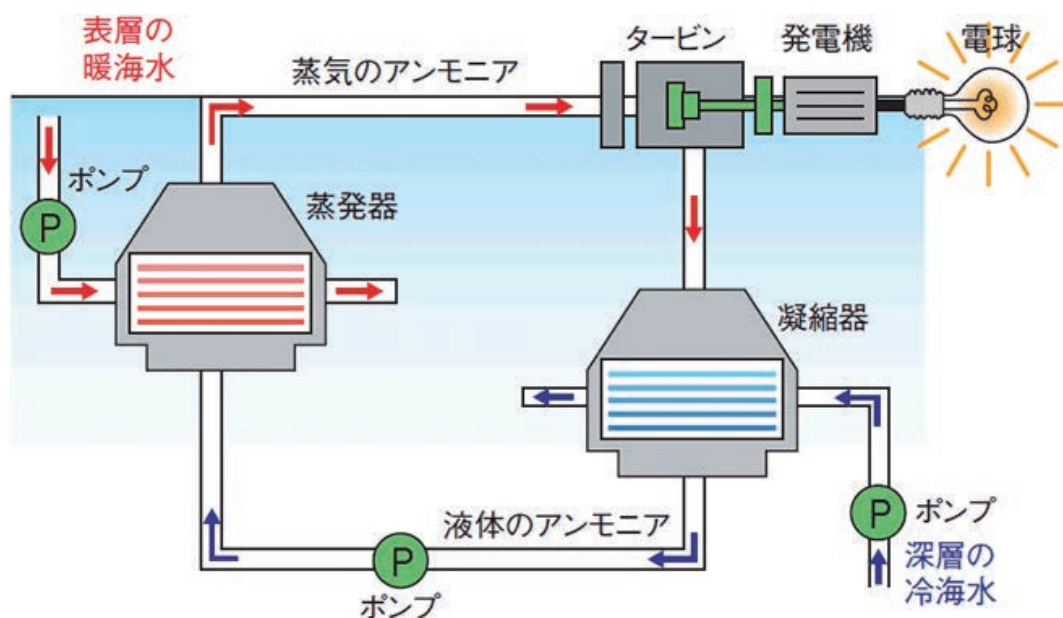


図-1 海洋温度差発電(OTEC)の仕組み(四国電力HPより)

ていました。

1. 超大規模な量の海洋深層水の汲み上げ

地球温暖化の防止とCO₂など温室効果ガスの削減を進めるため、政府は2015年に、2020年度の温室効果ガス削減目標を2005年度比で3.8%減、2030年度では25.4%減とすることを決定し国連気候変動枠組条約事務局に提出しました。そして、2030年度における我が国の電力供給量の22～24%を再生可能エネルギーが負担することとしました。

そこで、当研究会では、その約半分に相当する10%を総発電規模1,500万kWの海洋温度差発電(OTEC)が受け持つこととし、1基あたり10万kWのOTECを1海域に10基配置し、それを我が国周辺15海域に展開することを構想し、大量の海洋深層水の利用とCO₂の削減効果について研究しました。

OTECの原理は図-1に示したように、表層の温海



写真-1 沖縄県久米島に設置されている OTEC 実証試験機

水により蒸発したアンモニア水によってタービンを回して発電し、冷たい深層水により冷却して液体に戻すクローズドサイクルの発電方式で、表層水と深層水の温度差が20℃程度あることが望ましいとされています。世界に先駆けて沖縄の久米島で実証試験が2年前から開始され順調に進行しており(写真-1)、1万kW浮体型OTECの開発研究も動きつつあります(写真-2)。

冷却水として汲み上げられる海洋深層水取水量は、OTEC1基あたり3,600万t/日、1海域では3.6億t/日、全海域では54億t/日となります。

水深-200mより深い海域の海水を深層水といい、今回の研究では-800～1,000mから汲み上げます。この深層水には、冷温性、富栄養性、清浄性という特性があり、1989年に高知県室戸で取水し飲料水として利用されて以来、国内では北海道羅臼から沖縄久米島まで16の地域・施設で利用に供され、海外でもハワイやタヒチなどで利用されていますが、最大の汲み上げ量は久米島での1万3,000t/日です。今回の想定規模は久米島のそれを1施設では3,000倍、全体構想では40万倍上回る量です。

2. 海洋深層水のカスケード利用

深層水は、発電に供された後に海域に放流されます。そこで、冷温、清浄、富栄養という深層水の特性に着目してさまざまな用途について検討しました。

OTECで発電した電力を活用した淡水製造は水問題に悩む離島に既設の淡水装置と遜色のないコストで提供できそうです。地域冷房、水産物の保冷、飲料水、医薬品への利用はすでに実施されています。栄養塩に富んだ多量の深層水の放流によりその海域は豊饒な漁場となることが期待されます。このような上流から下流、極大使用から少量使用に向けてのカスケード(多段)利用を図-2に示しました。

	極大量	大量	中量	少量
上流段階	発電(OTEC)	水素生成		
中流段階		地域冷暖房熱源	植物工場供給	
		淡水化(植物工場供給)		
下流段階	希少金属回収	水産物養殖 藻類バイオ燃料	医薬品・食料品・サプリメント・化粧品・美容	淡水化(飲料水、生活用水)
		海域漁場造成		

※赤文字は商品化・実用化済み、あるいは実証実験中の用途

図-2 海洋深層水のカスケード利用

3. 化石燃料発電の代替効果

出力10万kWのOTECによる発電量は、我が国南岸～沖縄海域では年間約8億kWhが見込まれます。これは同規模の石炭火力発電所とほぼ同程度の水準です。そこで、化石燃料発電に代えてOTECを導入した場合のCO₂削減の代替効果を算定したのが表-1です。10万kWの石炭火力発電から排出されるCO₂量年間70万8,000tの削減が可能になります。

我が国の温室効果ガス削減目標のうち発電に係る削減量は、2020年までに380万t(当研究会試算)、2030年までに2,800万tとされていることから、2020年までにはOTEC6基、2030年までには4海域に100万kW基地を配備することにより政府公約を達成することが可能になります。なお、OTEC装置の製造、配備過程でCO₂は発生します。それらの量は今後検討しておく必要があります。

4. 光合成によるCO₂の取り込み効果

植物が大気中のCO₂を吸収して光合成すなわち無機物質から有機物を作り出す仕組みがあるように、海洋中の植物プランクトンは太陽光を受けCO₂と栄養塩を使って光合成をします。このときに植物プランクトンが取り込む炭素と窒素とリンの比率は一定

でこれをレッドフィールド比といいます。すなわち海水中の栄養塩の濃度が分かるとレッドフィールド比を使ってCO₂の量を算定することができます。

10万kWのOTECから放流される深層水3,600万t/日(120億t/年)に含有する40μmol/lの硝酸塩がすべて植物プランクトンによって消費されると仮定すると、取り込まれるCO₂量は年間約14万tと算出されます。水中のCO₂が取り込まれると大気中のCO₂が海中に入り大気中のCO₂量が減少するというわけです。

ただ、増殖した植物プランクトンは動物プランクトンや魚類等に捕食されるとCO₂は放出されるため取り込まれた量のすべてをカウントすることはできませんが、20～30%は海底に沈降・分解し数十年から数百年の間は大気環境から隔離される状態になるのでその間はCO₂を取り込んだ状態となります。その量は約3～4万t/年と推定されます。

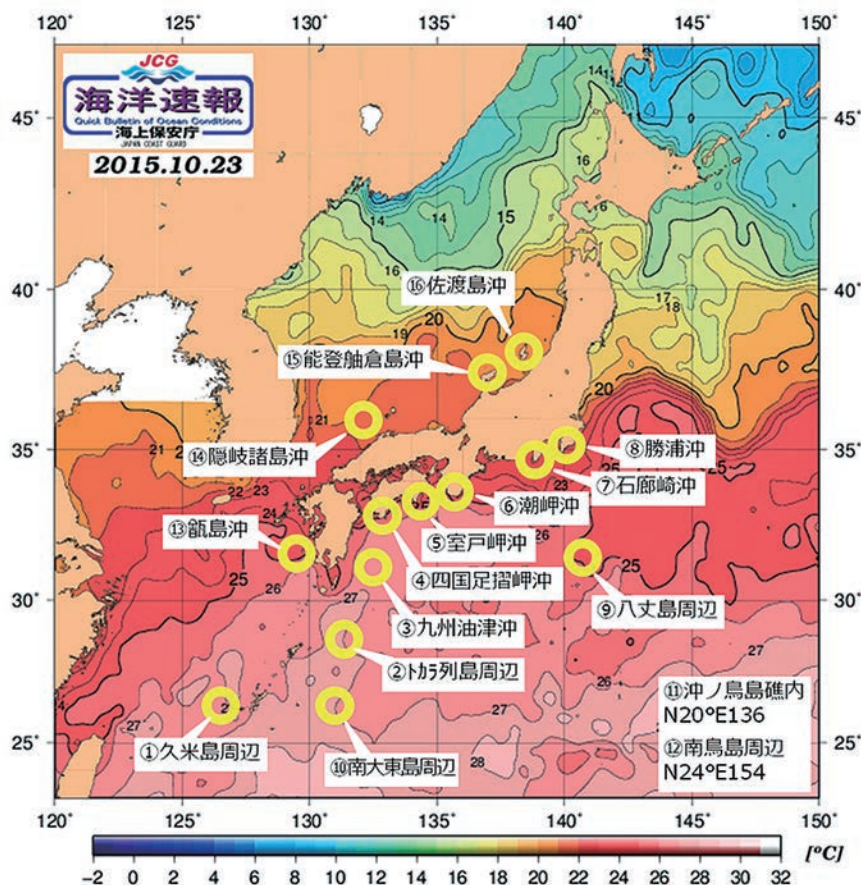
冒頭に紹介した太平洋深層水が大気中CO₂を吸収する潜在的な能力は、「海水1kgにつき170μmolある」とする故・角皆博士の説に基づいてCO₂の吸収量を算定したところ、10万kWのOTECから放流された深層水により年間約9万tのCO₂が取り込まれることが推定されました。

表-1 10万kWのOTECに代替した場合のCO₂排出削減量

	年間発電量	排出原単位	二酸化炭素削減量
	億 kWh	g-CO ₂ /kWh	t/年
石炭代替	8.2	864	708,480
石油代替	8.2	695	569,900
LNG代替	8.2	476	390,320



写真-2 浮体式没水型 OTEC(1万kW)日本海事協会より概念承認取得
提供：ジャパンマリユナイテッド株式会社



日本のEEZ内のOTEC配置候補海域(参考)

ますので今回の取水量は使用可能容量の1/10程度と見込まれます。また、日本近海における水深-800~1,000mの海水容積を算出するとその量は7万2,482km³となり、1年間の取水量は海水容積の2.5%に相当する程度であることが分かりました。取水の影響はさほど大きくはないようです。

6. 深層水の放流による表層海域への影響

1つの海域でも3.6億t/日という大量の海洋深層水を汲み上げ・放流しますので、表層海域では栄養塩類の増加、水温低下、流速の変化などに起因して少なからずその海域の生物・生態系に影響が及ぶことが予見されます。自然変動幅での低温水がサンゴの白化をもたらしたフロリダなどの事例もあります。ハワイでは深層水を直接海域に放出しない措置を講じていると聞いています。

また切り口の異なる論文も散見されます。深層水に含まれるCO₂は、海面まで上昇するとその分圧が大きくなり短時間に大気に放出される現象が明らかにされ、一方、光合成により海面付近のCO₂の分圧が時間の経過とともに低下し、CO₂が吸収され、ある期間ののちには放出・吸収がほぼ均衡、または放出量の方が勝るのではないかとこののです。

このように表層に放流される海洋深層水に含有される栄養塩やCO₂の物理的、化学的、生物学的な反応のメカニズムは複雑であり、日本周辺海域の深層水の成分や性状も一様ではありませんのでCO₂の削減効果を単純加算することには慎重でなければならず今後さらに知見を深めることが必要です。

5. 深層水の汲み上げによる深層海域への影響

日本周辺15海域のOTEC基地からは54億t/日(1兆7,700億t/年)という超大規模な量の深層水を汲み上げますので深層海域への影響の程度を検討しました。

海洋大循環流の3%程度の範囲での取水使用ならば持続的循環への影響は軽微とする研究論文では太平洋海域の深層水の利用可能量は570億t/日とされてい

我が国では今のところ沿岸海域を除いた周辺海域における生息生物種やその生態系に関する知見や情報が少なく、環境影響評価の基礎的知識が不足しているのが実情です。今後、OTECの導入に当たっては、海域に生息する生物やその生態系環境に関する知見や情報の集積を進めることが必要です。

7. 最後に

海洋深層水の特性と利用、海洋生物の挙動、海域環境への影響など幅広い分野について述べてきましたが未解明、理解不足の事柄が数多く残されているため2016年度においても引き続き知見の蓄積を図るべく研究を続けることとしています。

なお、私見ですが10万kWのOTECの製作・設置工事費用は2,000億~2,500億円、そのうち、海上設置工事費用は20%くらいと見込まれます。巨額の投資ですが発電コストは10円台/kWhと試算されており十分競争力のある再生可能エネルギーであると思います。

広大なEEZを有する我が国において、海洋深層水は極めて有望な資源・エネルギーです。その利用方策の拡大推進が期待されます。