

資源としての「海」

希少資源からエネルギーまで無限の可能性を秘める

新たな視点で海を捉える

「海」は、あらゆる生命を育んできた、文字通り母なる存在である。それを可能にしたのが、海水中に含まれる様々な成分である。塩素、ナトリウム、硫黄、マグネシウム、カルシウム、カリウム、炭素、臭素、ストロンチウム、ホウ素、フッ素、ウランなど60以上の元素が存在する。もちろん一番含まれるのは、水で約96・6%である。そして、残る3.4%の大半は塩分である。豊富な塩資源と位置付けられ、だからこそ、人間は古代より生活に欠かせない塩を海から得ていたのである。塩湖や岩塩も本を正せば、海である。

もちろん、漁業資源も重要である。海水中に含まれる豊富なミネラルを植物プランクトンが体内に摂り入れ、動物プランクトンが捕食し、イワシなどの小魚がそれを捕らえ、マグロが鯛を食うという食物連鎖により生物は生き続けてきた。人間の食料源として欠かせないのは言うまでもない。そして、21世紀に入り、海を新たな視点で捉えようとする動きが高まっている。資源不足が深刻化する希少金属（レアメタル）に止まらず、海底資源や海面の波エネルギー利用など多岐にわたる。技術革新の急速な進歩は、海資源の開発の可能性を確実に拡大した。例えば、深海の探査船によるサンプル採取や海底の観測が可能になり、人工衛星により地球規模の海流システムの解析、また、分析やシミュレーションの技術の進歩が、海の資源としての魅力の大きさを改めて明らかにしてきているのである。

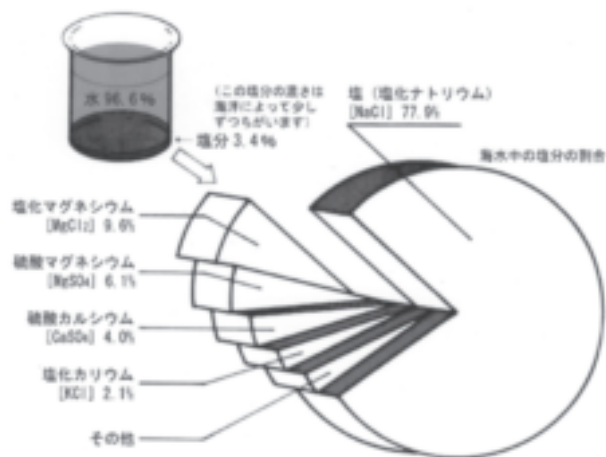
換言すれば、21世紀は資源としての宇宙、そして海の開拓時代なのである。そこで、今回、『ミュー特集では、『資源としての「海」』をテーマに取り上げることとした。

海洋中の各元素の平均濃度 (Nozaki,1996)

元素の平均濃度 (ng/kg)							
Cl	19,350,000,000	U	3,200	Re	7.8	Sn	0.5
Na	10,780,000,000	V	2,000	He	7.6	Ho	0.36
Mg	1,280,000,000	As	1,200	Ti	6.5	Lu	0.23
S	898,000,000	Ni	480	La	5.6	Be	0.21
Ca	412,000,000	Zn	350	Ge	5.5	Tm	0.2
K	399,000,000	Kr	310	Nb	<5	Eu	0.17
Br	67,000,000	Cs	306	Hf	3.4	Tb	0.17
C	27,000,000	Cr	212	Nd	3.3	Hg	0.14
N	8,720,000	Sb	200	Pb	2.7	Rh	0.08
Sr	7,800,000	Ne	160	Ta	<2.5	Te	0.07
B	4,500,000	Se	155	Ag	2.0	Pd	0.06
O	2,800,000	Cu	150	Co	1.2	Pt	0.05
Si	2,800,000	Cd	70	Ga	1.2	Bi	0.03
F	1,300,000	Xe	66	Er	1.2	Au	0.02
Ar	620,000	Fe	30	Yb	1.2	Th	0.02
Li	180,000	Al	30	Dy	1.1	In	0.01
Rb	120,000	Mn	20	Gd	0.9	Ru	<0.005
P	62,000	Y	17	Pr	0.7	Os	0.002
I	58,000	Zr	15	Ce	0.7	Ir	0.00013
Ba	15,000	Tl	13	Sc	0.7		
Mo	10,000	W	10	Sm	0.57		

マグネシアが導いた海水資源の可能性

人間が、海を資源として捉えたのは、塩や海産物を除けば、比較的歴史はそれ程古くはない。苦汁（にがり）からの酸化マグネシウム（マグネシア・ MgO ）や水酸化マグネシウム（ $Mg(OH)_2$ ）などマグネシウム化合物を回収、海中の臭素（ Br ）の抽出など海水化学工業として実用化されているが、文献によれば、最も早く海水中からマグネシウム成分を取り出したのは、イギリスとされ、大型



海水の成分（たばこと塩の博物館、資料）

工場を建設したのはアメリカで1941年とされているから、まだ、60数年程度の歴史を持つに過ぎない。エネルギー分野では、海水中の重水（ D_2O ）を回収して、カナダ型重水炉原子力発電の減速剤、冷却剤として使われている。カナダのロルン原子力発電が臨界に達したのが1962年、これも40数年前である。

その後、第一次、第二次石油危機などの時代に石油代替エネルギー開発の一環として日本で海水中のウラン回収技術研究が取り組まれるなどの動きはあったが、実用化には至らなかった。

実は、多くの資源を含有する海であるが、元素として海水中の濃度は塩素（ Cl_2 ）19・35g/kg、ナトリウム（ Na ）10・87g/kgがずば抜けて濃く、マグネシウム（ Mg ）1・28g/kg、硫黄（ S ）0・89g/kgと続く。その後ハカルシウム（ Ca ）0・41g/kgと大幅に減少し、ウランは0・00000032g/kg（32μg/kg）に過ぎない。僅かな量で多様な種類の物質が含まれているわけだが、それだけに回収技術は難しい側面を持

つ。分子量や構造が似かよっている場合の分離法、精製濃縮の技術などの確立が求められるからだ。しかも、大半の資源が鉱物として存在し、コスト面でも競争力が問われる。決して容易なことではない。

母なる海は豊穡でかつ雄大であるが故に、人間に試練を与えているようでもある。これまでの考え方の延長戦では実用化になかなか結びつかないのである。

その中で、一つの海水資源利用の方向性を指し示したのが、マグネシア（ MgO ）ではないだろうか。日本では、海水から分離した苦汁を原料とするが、中国などでは、マグネサイトと呼ばれる鉱石を原料とする。価格面では圧倒的に鉱物原料が優位であるが、不純物が多く含有される。一方、苦汁原料には不純物含有量が極めて低く、海水由来のマグネシアは高純度で品質が良い特性を持つ。これが、電熱ヒーター、耐火物から電磁鋼板に、そしてマグネシア単結晶へと結びついた。

単結晶は、2000年に入り、PDP用蒸着材料に本格的な利用が始まった。そして、今、MRAMやTMRヘッドなどの次世代デバイス技術として注目されるトンネル磁気抵抗素子（TMR）の材

料として必要不可欠となっている。常温できれいな結晶が出来る。平面性などに優れるからである。更に、ダイヤモンド電子デバイス用基板開発にやはりマグネシア単結晶は必要となる。超伝導研究の材料としても様々に使われている。

特性そして特徴のある使われ方がない限り、いかに豊富に存在しているように実用には結びつかないのであることの証左である。

枯渇する陸上の稀少資源から豊富な海水資源へ

しかし、21世紀に入って大きく情勢は変化してきた。それまで、資源問題は、先進国と資源産出国という二項対立という側面しかなかったが、中国、インド、ブラジル、ロシアのBRICsをはじめとする新興国の経済急成長により、その構図は崩れ、凄まじい資源の奪い合いが起きてきている。07年初めから08年夏までの原油や金属などあらゆる資源価格が急騰した背景の要因は、資源戦争の激化に投機的要素が加わったためである。

その中で、希少資源（レアメタル、レアアースなど）の枯渇という深刻な問題が明らかになってきたのである。独立行政法人物質・

材料研究機構が2007年4月にまとめたプロジェクト報告「希少資源・元素戦略への取り組み」の中で、物質・材料研究機構材料ラボ長の原田幸明氏の『希少資源・元素の現状』で、現状のペースで金属資源を使用続けると、2050年には、鉄、モリブデン、タンダステン、コバルト、プラチナ、パラジウムは現有埋蔵量をほぼ使い切り、ニッケル、マンガン、リチウム、インジウム、ガリウムは2050年までに現有埋蔵量の倍以上の使用量になり、銅、鉛、亜鉛、金、銀、錫は2050年までに需要が埋蔵量ベースを超えると予測する衝撃的なデータを明らかにした。仮に、完全なリサイクルが可能になっても供給不足は解消しない可能性が高いのである。原田氏はナノテクノロジー技術によって、希少資源によらない資源による代替技術を提唱しており、大変興味深い。とは言うものの、当面、新しい希少資源の開発が急がれていることも事実である。

この点で、海水中からの未利用資源の回収は大きな意味を持つ。レアメタルなどの資源問題から日本は解放されるからだ。中でも注目されているのは、リチウムである。リチウム(Li)はリチウム・イオン電池の材料として、ハイブ

リットカー、燃料電池車など自動車から太陽電池などの電力、パソコン、携帯電話などハイテク家電まで2次電池として様々な用途があり、今後もますます需要は拡大すると見られる。非常に重要な金属材料と位置付けられる。

資源としてのリチウムは、鉱石と塩湖内のかん水がある。主力のリチウム鉱石は年約2万数千t採掘され、主要産出国はチリ(約8千t)、オーストラリア(約4千t)、中国(約3千t)、ロシア(約2千t)、アルゼンチン(約2千t)である。ちなみに世界のリチウム鉱石の埋蔵量は約1350万tと推定され、最大の埋蔵量国は未開発のボリビアとされ約540万t、次にチリ約300万t、アルゼンチン約200万t、約ブラジル90万tと南米4カ国で約1130万tと8割を超える。また、塩湖のかん水に炭酸リチウム(Li₂CO₃)として存在し、これが主にリチウム・イオン電池の原料の主力材料として用いられる。この埋蔵量は5800万t、年間生産量7~8万tである。これも、鉱石同様ボリビア、チリの南米に偏在する。つまり、鉱石、塩湖を陸上資源と表すと、リチウムは極めて地域的に偏在し、埋蔵量の面でも今後の需要拡大を考えると供

給面で大きな不安があることがわかる。

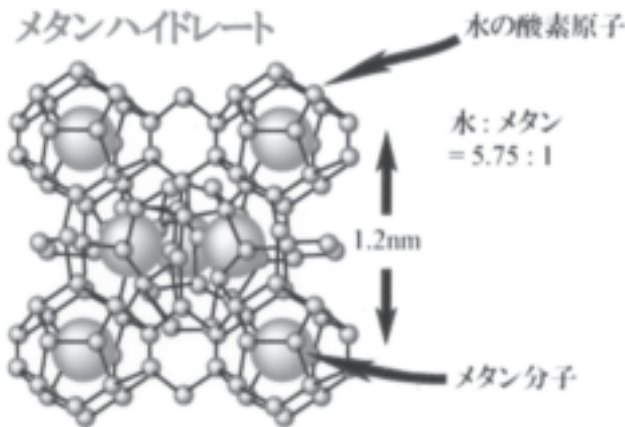
一方、海水中に含有されるリチウムは2300億tと桁違いに大きい。但し、0.1~0.2ppmという僅かさだ。ナトリウムが1万ppmと比べると本当に微量である。それだけに、分離・回収技術の開発が難しいのも事実である。しかし、地球環境対策に欠かせない技術としてリチウム・イオン電池が世界的に注目されているだけに、リチウム資源としての海が持つ魅力は大きい。既に、産総研四国センターや北九州市立大学、佐賀大学、広島大学、中国電力などが中心となって様々な取り組みを進めており、世界に先駆けて日本が実用化することが期待される。

新天然ガス資源メタンハイドレートの魅力

海底資源であるメタンハイドレートが商用化に向け、大きく踏み出した。09年4月1日、産総研は「メタンハイドレート研究所」を設立した。これは、メタンハイドレート資源から天然ガスを商業生産するために必要な技

術の研究開発を目的とするものである。国内外の企業、大学等と連携して、産総研がこれまで培った物性・分解特性評価手法、輸送・貯蔵プロセス等に関する技術の移転、人材育成、共同研究を進め、我国のエネルギー供給の多様化とその長期的な安定供給確保のために貢献するとしている。

メタンハイドレートはメタン(CH₄)と水(H₂O)からなる包接水和物と呼ばれるもので、シャープレット状である。体積の約160倍のメタンガスを含む、新しい天然ガス資源として注目されている。資源は、世界の大陸縁辺部の



メタンハイドレートの構造



図2.日本周辺海域のBSR分布と東部南海トラフ海域の原始資源量

海底下や永久凍土層の下に、高圧・低温条件下に存在する。日本周辺海域にも豊富に存在し、東部南海トラフ（静岡中部）と歌山南東部（海域）だけで1兆1400億m³と年間消費量の13年分にのぼる。商用化されれば、日本は大きなエネルギー資源を確保でき、低炭素社会の構築はもちろんだ産業構造を格段に強化することが可能になる。

同研究センターは、総合的な実験設備を有する産総研北海道センターと外部機関との連携が容易な

つくばセンター西事業所で研究開発を行うとしている。メタンハイドレードに対しては、企業の関心も高く、21世紀のエネルギー事情を根底から変化させる期待も高い。

資源としての海については、宇宙と並んで研究開発が始まったところで未知の分野も多いが、魅力に満ちている、まさに母たる存在なのである。

The sea as a resource

- Holding unlimited potential

As we move into the 21st century, a trend is strengthening to look upon the sea from a new viewpoint. Not just for rare metals, the shortage of which is becoming quite serious, but resources at the bottom of the sea and the use of wave energy are various aspects of this.

With the advancement of technology, the gathering of deep sea samples and observation of the sea bottom are now possible with deep sea research vessels. The movement and analysis of currents on a global scale based on artificial satellites while various types of simulations are also now possible. Based on all of this, the great charm of the resources of the sea is further expanding.

The use of the resources of the sea, with the exception of salt and maritime products, has a comparatively short history. Recovering magnesium compounds such as MgO and Mg(OH)₂ from brine, and Br extraction have gone into practical use in the maritime chemical industry. According to the literature on the subject, it was Great Britain which extracted magnesium from seawater, but it was the US which constructed a large plant for this in 1941, so that the history of this goes back just only 60 years. In the field of energy, it was in 1962 that Canada first recovered D2O from seawater and used it as a moderating material and coolant for the Canadian type heavy water nuclear reactors for power generation.

Seawater contains numerous resources, but because the density of these is low, and the recovery technology difficult, there is no profit to be had. Amid this, MgO is pulling things along. Its importance is shown by widespread use of MgO single crystal in the field of advanced electronics. It is assumed that recovery of rare resources such as Li from seawater will become indispensable. Regarding ore resources, just because the supply cannot be met due to expansion in demand on the part of the BRICS nations, the resources contained in the sea are increasing their charm. In the field of energy, methane hydrate, which is a resource at the bottom of the sea, is heading toward practical application as a natural gas resource. This is indeed attracting note as if this goes into commercial use, Japan would become an energy resource nation.