

資源としての「海」

日本の伝統的染色素材の吸着剤で 微量資源海水ウランを高効率に回収する。 タンニン成分が持つ大きな可能性とは何か。

財団法人電力中央研究所・環境科学研究所環境リスク評価領域
上席研究員 田中 伸幸氏



財団法人電力中央研究所 田中 先生

海には周期律表に掲載されている元素の大半が存在している。しかし、利用されているのは塩（塩化ナトリウム）、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウム、硫酸カルシウム、塩化カリウムなど塩や苦汁など含有率の高いものに限られている。リチウムなどのレアメタル、スカンジウムやイットリウムなどのレアアースあるいはウランなど国際的に取り合いになってきている貴重な資源も海水中には含まれているが、非常に微量なため

電力中央研究所 我孫子地区の沿革	
1951年	「電力技術研究所」を現在の東京都狛江市に設立
1952年	「電力中央研究所」に改称
1957年	「農電研究所」を現在の千葉県我孫子市に設置
1970年	狛江地区から土木・地質部門を我孫子地区に移転・拡充し、「技術第二研究所」を設置
1975年	「技術第二研究所」を「土木技術研究所」に、「農電研究所」を「生物環境技術研究所」に改称
1986年	「土木技術研究所」と「生物環境技術研究所」を統合し、「我孫子研究所」に改称
2004年	「我孫子研究所」ならびに「狛江研究所 大気科学部」を「地球工学研究所」と「環境科学研究所」「我孫子運営センター」に再編

に回収技術の確立が難しく実現し
てこなかった。
ところが日本の伝統的染色法によつて海水中の微量成分を回収できる技術に注目が集まっている。財団法人電力中央研究所・環境科学研究所環境リスク評価領域上席研究員の田中伸幸氏が開発を進めている、天然由来成分であるタンニン（柿渋の主成分）と担体（布）を利用する伝統的な染色法により染色吸着材を使い、海水中のウランを高効率しかも低コスト

海水ウランに私が注目した経緯は、ここ数年、世界的に原子力ルネサンスが起き、先進国、新興国を問わず、原子力発電導入の動きが活発化してきたことが大きな要因です。日本でもCO₂削減が論議される中で再生可能エネルギーの導入を積極的に進めようとしているが、発電量は少なく、コストも高いため、今のところ原子力発電が現実的な解となります。そこで日本でも新規建設が計画されました。

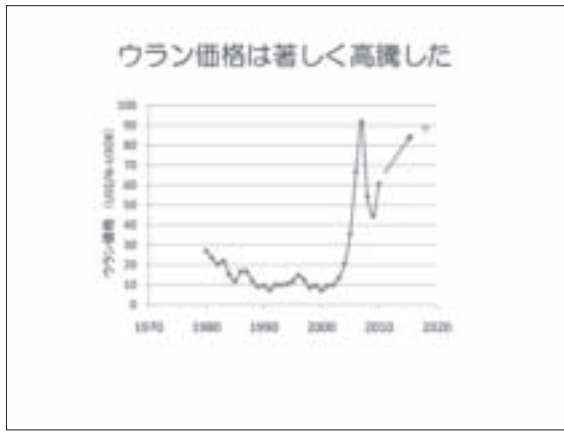
それとともに燃料であるウラン資源確保を巡って先物価格が世界的に高騰するなど投機化してきています。また、資源ナショナリズム

ウラン資源争奪の懸念が研究開発の経緯

で回収するという技術である。これを言えば世界最高の海水ウラン吸着材であるアミドキシムに匹敵する吸着能を有し、しかも吸着材作製コストは1/3までに下げられることが可能になり、大きく海水ウランの回収の実用化に踏み出せる。また、3月11日に発生した地震と津波によって損壊した福島第一原子力発電所からのウランの環境への流出防止に使える可能性も浮上しているのである。

（取材日：2011年4月15日）

ウラン価格は著しく高騰した



ム問題も浮上してきました。日本は資源の乏しい国ですから、燃料ウランをカナダ、オーストラリアなどから輸入しています。20年前の状況であれば、燃料ウランの供給や価格も長期的に安定していました。ところが状況は大きく変化したわけです。とりわけ、レアメタルなどにみられた資源ナシヨナリズムが起されれば日本は非常に厳しい状況に追い込まれる可能性が高い。

資源ナシヨナリズムは資源が偏在することで起きます。もし、ウランを海水から採取することが可能になれば資源としてどの国でも平等に配分され、資源ナシヨナリズムは起きません。しかも、世界が

海水はウランの宝庫

元素	平均濃度 (mg/L)	元素	平均濃度 (mg/L)
塩素	19000	アルミニウム	0.002
ナトリウム	10700	ケイ酸	0.18
マグネシウム	1200	鉄	0.12
硫酸	800	マンガン	0.002
カルシウム	412	銅	0.0006
カリウム	360	亜鉛	0.015
炭酸水素	27	コバルト	0.01
硝酸	27	ウラン	0.0032
亜硝酸	0.72	セシウム	0.002
硝酸ナトリウム	7.0	バリウム	0.0012
硝酸カルシウム	4.5	ストロンチウム	0.00048
硝酸ナトリウム	2.0	ヨウ素	0.00025
硝酸カルシウム	1.0	セシウム	0.00031
硝酸ナトリウム	1.3		

全海水中には45億トン(鉱山ウランの1000倍)ものウランが溶存する！

潤うことが出来るのではないかと、というのが研究に至った経緯です。東日本大震災以降、原子力見直しの傾向はありますが、経済成長を支え、かつ、CO₂削減を進めるには、原子力が有効な手段の一つであるという世界的な傾向は大きく変化していかないと思います。

全海水中には約45億tのウランが溶存している

研究の目的は、海水ウランを吸着材で採取することです。海水中の濃度は3・3ppbと微量な含有量ですが、全海水中には約45億tものウランが存在し、これは鉱山ウランの約1000倍に相当します。これは世界中の原子力発電を

数万年稼働できる量であり、事実上、未来永劫の資源として期待できます。原子力が永久的ではなく、近未来の新しいエネルギー技術開発までの繋ぎであるとしても十分な資源量であると位置づけられます。

仮に、海水中からウランを全て回収しても生態系に影響を及ぼすことはないと考えられていますので、回収による環境リスクはありません。むしろ、石油や石炭などの付加価値の高い製品を生産できる化石燃料を次世代のために温存しておくべきではないか。日本において排他的経済水域は国土の6倍あり、その活用が国益になるわけです。また、こうした取り組みが鉱山ウランのリスクヘッジ並びに事実上のコストの上限を決めることに繋がります。

1970年代から始まった海水ウラン捕集技術開発

海水ウランを捕集する試みは1970年代より世界各国で行われており、無機金属酸化物系や有機化合物系の材料を用いて研究が進められていまし

た。しかし、1980年代、海水ウラン採取には、鉱山ウラン価格の10倍以上の回収コストがかかったため多くの国が研究から撤退しました。その中であって、貧資源国である日本だけは、研究を継続していました。現在、海水ウラン吸着材として有機化合物系の人工合成化合物「アミドキシム基」、生物・植物起源の「タンニン」が研究されています。

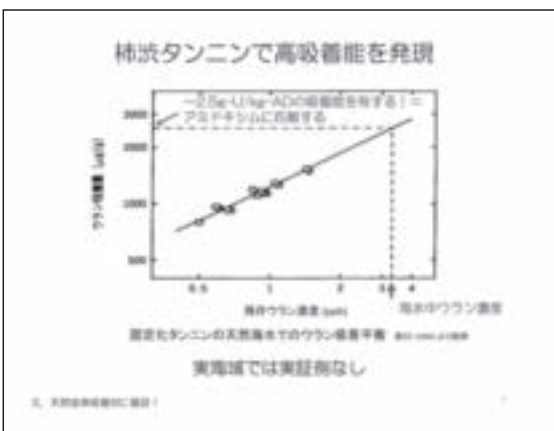


環境科学研究所

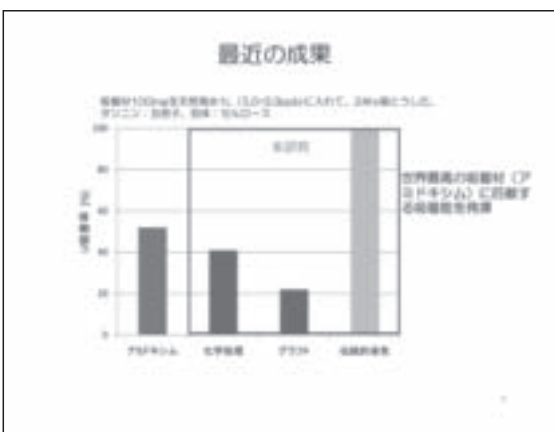


渋柿で染色した布

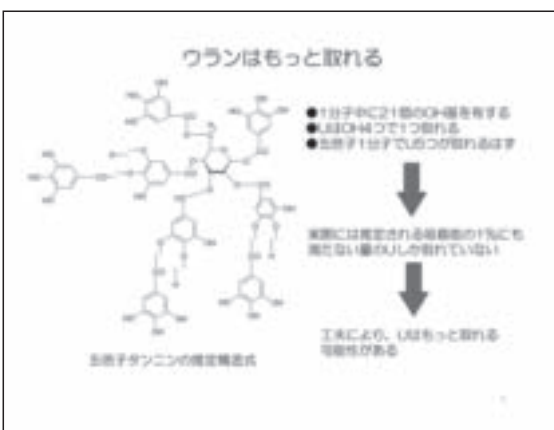
1980年代からアミドキシム樹脂を用いたウラン吸着研究は熊本大学で行われて無機金属系に比べ10〜100倍の吸着能（カラム試験で3mg・U/g ADを記録）を発現しましたが、当時の鉍山ウラン価格には太刀打ちできず、実用化できませんでした。その後、アミドキシムの性能を向上できる可能性があると、1990年代から日本原子力研究所（現・独立行政法人日本原子力研究開発機



構）が引き継ぎました。そして、電子線グラフト重合によりアミドキシムを付与する技術を開発し、無機系に比べ100倍以上の吸着能を発現した上、低コスト化の可能性も出てきました。実海域での大規模試験も実施されました。その際、当研究所の清水隆夫上席研究員が、モール状捕集材の係留システムを発明しました。海底にチェーンによって長さ60mのモール状吸着材を係留し、先端に浮きを取り付ける立ち上げ係留方式です。海中を漂わせ海水ウランを採取します。60日間、係留すると吸着材1kg当り2gのウランが得られます。



がある」とされる鉍山は、ウラン含有率が0・1%の鉍山からとされています。モール状捕集材係留システムでは60日間で0・2%のウラン鉍石が採取できる計算になります。アミドキシム同様、コスト面で難はありますが、繰り返し使うことでコスト低減が図れます。2g採取を60回繰り返し返せば鉍山ウランの2・5倍から3倍程度のコストまでになると計算されます。ただし、課題は何点かあって、例えば、60回×60日＝10年間繰り返し利用ができるのか、海水や採取に用いた化学品による劣化にどの程度耐久性があるのか、吸着材作製コスト中、原材料が全体の約6割を占めるなどの点です。特に



試薬のコストが高く、供給面でも問題があります。そこで独立行政法人日本原子力研究開発機構では吸着材を飛躍的に向上させる、吸着に要する時間を飛躍的に短くすることを目的に研究を実施しています。

天然由来吸着材が低コストでかつ高い吸着能を示した

当研究所としては、そこで新たな吸着材の探索を行うことになりました。コンセプトは、①高価な試薬を大量に使わない、②人体や環境に悪影響を及ぼさない、③アミドキシムに匹敵ないし、それ以上のウラン吸着能を有する、以上3点です。そこで我々はタンニン

を代表とする天然由来成分に注目しました。

栗や柿、ブドウ、カニ、エビなどに含まれるタンニンやカテキンなどの天然由来成分で海水ウランを回収する技術で、坂口孝司宮崎大学名誉教授が開発されたものです。これを参考にして我々は現在進行形で研究開発に取り組んでいます。例えば、ワインに含まれているポリフェノール、いわゆる渋味成分がウランを吸着する作用を利用するものです。

実海域での実証例はまだありませんが、柿渋タンニンを用いたデータでは、アミドキシム基と同等の1kg当り2・5gの吸着能が想定され、更に、10回の繰り返し使用でも吸着能が劣化しなかったという点は実海域での使用にも耐えうるのではないかと期待されています。

吸着のメカニズムは、いわゆるポリフェノールの4つの水酸基（—OH）が酸化ウラン（UO₂）に対して配位する、つまり錯体として安定が高いということだと思います。しかし、坂口先生による天然由来吸着材は高価な試薬を使いません。アミドキシムに比べてもコスト高になってしまいます。そこで、実用化のためには別の安価な作製技術を模索すべきであると考えま

した。

2009年から開始した取り組みでは、①吸着材作製技術の開発、②新たな担体・天然由来成分の探索、③コスト評価の3点で研究を進めています。その中で、当研究所独自の吸着材を開発しています。※担体とは、吸着材を吸収する素材のこと

吸着材の代表的作製法には、①化学法、②電子グラフト重合法、③伝統的染色法などがあげられますが、最近の成果では伝統的染色法が世界最高の吸着材であるアミドキシムに匹敵する吸着能を発現しました。吸着材100mg（五倍子タンニンをセルロース（担体）に天然染色したもの）を天然海水1ℓ（ウラン3・3ppb含有）に入れて24時間振とうした結果です。（※五倍子タンニンとはウルシ科の木の虫嚢を乾燥、抽出したものの）

タンニンを吸着させる伝統技術とは古来からいう「草木染め」です。この方法が、最も吸着率が高く、アミドキシムに比べ吸着材作製コストが三分の一程度に下げられると試算しています。担体となる布は古布で十分であり、安価かつ大量の供給が可能です。工業用タンニンは安価で廃バイオマスからの転用の可能性もあります。反

応試薬は特殊なものではありません。いずれも他の染色法に比べ、桁違いに低コストで作製できます。

もちろん、実際の海で使用できるのかはこれからの実験になります。また、現時点で担体は綿（セルロース）ですが、他の繊維についても試験を行っている段階です。ウランの吸着能も理論的にはもっと高められるはずです。

今後の課題ですが、民間企業などに働きかけ、共同研究を推進していきたいと考えております。また、今、問題になっております環境への放射線物質の流出に吸着材を用いて回収することも急遽検討中です。

“We are going to recover a small amounts of uranium of sea water with traditional Japanese dying material.

Central Research Institute of Electric Power Industry
Senior Research Scientist
Environmental Risk Assessment Sector
Environmental Science Research Laboratory
Nobuyuki Tanaka

Recovering minute amounts of uranium in sea water by means of a traditional Japanese dying material is attracting attention. This method employs tannin which originates in nature (the main ingredient in persimmon tannin) and cloth. It is low in cost and moreover it has been proven that it has an absorbent ability equivalent to amidoxime which is the world's leading absorbent. There is also a very good possibility that it can be reused. Only 3.3 ppb of uranium is contained in sea water. About 4.5 billion tons of uranium exists the whole sea water. Based on this recovery technology, not only Japan which is so poor in natural resources, but numerous other countries will be able to resolve their energy resource problems.