

駒場リサーチ  
キャンパス公開講演

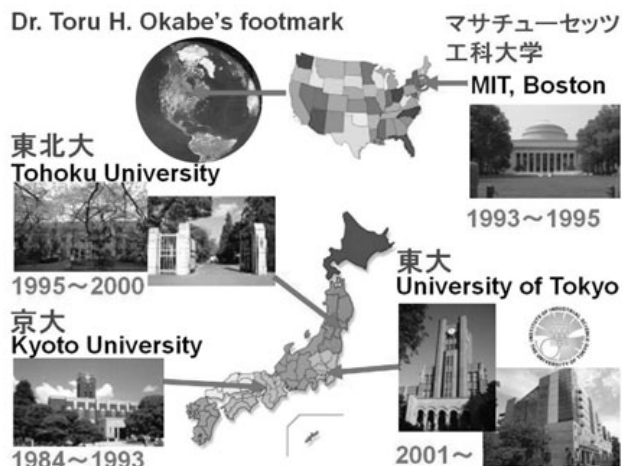
## 講演会

# 「レアアースをはじめとするレアメタルの現状と将来について」

岡部 徹 (生産技術研究所 教授)

「レアアースをはじめとするレアメタルの現状と将来について」ということで、生研公開に合わせたシンポジウムとして、司会進行及び講演を私に全部やれと言われていただきますのでやらさせていただきます。

私は、今、生研の広報委員長も務めておりまして、走り回っております。忙しくて大変なことになっているのですが、レアメタル、レアアースにご興味を湧いた方は、ぜひとも後で研究室にお越しください。  
(スライド)



自己紹介をさせていただきますと、私は京都大学で学位をとった後、MIT (マサチューセッツ工科大学) に博士研究員として移りました。京大のときはチタンやニオブ、タンタルを、MIT でもタンタルやアルミニウム製錬の研究を行いました。その後、東北大の早稲田嘉夫先生からレアメタルのリサイクルに関する研究センターの立ち上げに呼ばれ、レアアースやチタンの精製など一貫してレアメタルの製錬やリサイクルの研究をしていました。その後、2001年に東大にこないかという話がありまして、生産技術研究所で同じように「未来材料：チタン・レアメタル」というテーマを掲げ、研究を続けています。

私は、親が国際畑の銀行員だったものですから引っ越しばかりしておりまして、小学校は東京で2校、ロンドンで1校の計3校に通いました。引っ越し歴20回以上です。研究者としては珍しく引っ越しばかりしていました。大学

に入ってから、卒業研究から一貫してレアメタルの研究をしています。はっきり言ってレアメタルのオタクです。レアメタルを語らせたら、延々、何時間も話せます。大学院でも「レアメタル特論」を教えています。

(スライド)

今日は低年齢層の方が多いのではないかと思いますので、中・高生向けに「ガンダムとレアメタル、レアアースの関連」を取り上げました。機動戦士ガンダムのモビルスーツの装甲は、なんと“ルナチタン”というチタンにレアア-

## ガンダムと レアメタル、レアアース の関連は？

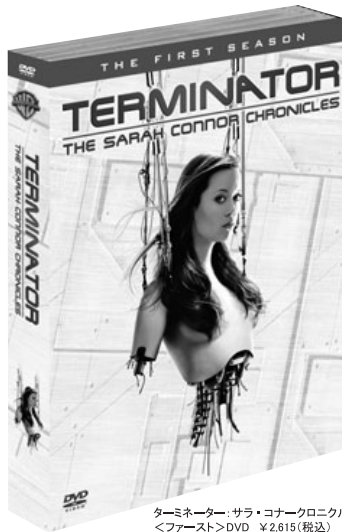
## マジンガーZと レアメタルの関連は？



スを添加し合金化した特殊合金でできています。現代の科学技術では、チタンとレアアースは混ざらないのですけれども、未来の話では混ぜる技術があるようです。

マジンガーZとレアメタルの関係を知っていますか。超合金Zとは、富士山麓で発見されたジャパニウムという元素でできているのです。僕は大学院では、ジャパニウムという架空の元素の製錬について一生懸命教えています。こうなると学生は正しい答えがないから大変です。

## ターミネータとレアメタルの関連は？



ターミネーター：サラ・コナークロニクルズ  
クファーストDVD ¥2,615(税込)  
ワーナー・ホームビデオ

## ゴルゴ13とレアメタルの関連は？



ターミネーターとレアメタルの関係を知っていますか。美少女サイボーグの骨格はタンタルでできているのです。だから、彼女は体重が重いのです。

ゴルゴ13とレアメタルの関係ですが、『コルタン狂想曲』はタンタル鉱石の争奪をめぐる作品です。

このように、レアメタルはきな臭くて大変なのです。そ

ういった話をし始めると、1時間ぐらいあつという間に経ってしまうのですが、今日は、皆さんが家に帰って話題にできる話をしましょう。

(スライド)

白金ナノコロイド  
15分  
DHC  
白金ナノコロイド  
Pt  
白金ナノコロイド ¥950

## 食べるレアメタル!?

### プラチナローラー美顔器

1 純度99.999%ゲルマニウムを採用!

2 特許を取得した半導体!

タッピング回転子に、99.999%のゲルマニウムを使用した半導体チップを装着。200ミリボルトのマイナス電位を帯電した9つの半導体は特許を取得。科学技術庁長官賞・日本鉱業協会賞受賞の半導体技術研究の第一人者、石黒三郎氏の発明・監修によるものです。

3 今話題のプラチナをコーティング!

ゲルマニウムに加え、今話題のプラチナを採用。ゲルマニウム配合半導体を優しくコーティング!!

美容レアメタル! ¥14,800

レアメタルの一般的な話から始めましょう。

これは「食べるレアメタル!？」です。こんな商品が存在しているのかと思うのですが、「白金ナノコロイド」が入っているのでしょうか。白金は鉱石1tから3gしか採れない、これは正しいです。プラチナは酸化されないので錆びない。1,700度以上の高温でないと溶けない。正しいですね。「だから食べるとあなたのお肌もピカピカ」というのです。こんなことはあり得ないのですけれども、こういうあり得ない商品が世の中にはいろいろあります。

プラチナローラー美顔器、これは「美容レアメタル!？」でしょうか。うちの奥さんもちょっと使ったらなかなかきれいになったのですが、こういう商品が妙に高いというのもおもしろい。安いと、みんな、ありがたがらないのかもしれない。

それから、「飲むレアメタル!？」もあります。どうしてこんなものがあるのかわかりませんが、「バナジウム」という言葉に飽きたら次は“スカンジウム天然水”というのでもいいかもしれません。

そのほかに、チタン製のスポーツネックレスやゲルマニ

# バナジウム天然水

## 飲むレアメタル! ?



[http://ozsk.jp/vanadium/img/vana\\_img2.png](http://ozsk.jp/vanadium/img/vana_img2.png) <http://www.officedepot.co.jp/pictu/bs/>

National イオンスチーマーナノケアプラチナオレンジEH2471-D  
イオンスチーマー ナノケア プラチナ<クール>パター付

**Panasonic**  
ideas for life

**プラチナを含んだ  
ナノサイズのスチームが、  
角質層の奥に浸透。**

¥12,000~30,000

プラチナナノ微粒子を含んだスチームが  
角質層に浸透し、肌にハリと弾力を与える  
美容機器。プラチナスチームとクール/パターを交互に  
使うことで温冷の刺激を与え、潤いのある引き締まった  
肌に導きます。目もとからデコルテまで広範囲をケアでき  
ます。

<http://ctlg.panasonic.jp/product/info.do?pg=04&hb=EH2493>

ウムネックレスなどを使っていませんか。  
あるいは、イオンスチーマーナノケアプラチナ。プラチナ微粒子を含んだスチームが角質層に浸透し、肌にハリと弾力を与える美容機器で、スイッチをONにすると、白金イオンがピュッと飛んできて、角質層の奥に浸透し、肌はウルウルよ、というものです。もし、今日、会場に来られている方の中で使われている方がいたら気の毒なのですが、もちろん加湿の効果はありますが、白金の効果はほとんど無いと考えられます。ただ、これを持つことが幸せになるのですね。  
レアメタルそのものは国境を越え、国際商品として動いています。私も東大に身を置いて世界を渡り歩いているのですが、おもしろいことに今ご紹介したグッズが流行っているのは日本だけです。そういった意味では、レアメタルはイメージ先行でいろいろなことが起こっていると言えますが、こういった健康グッズは非常にローカルだということです。  
(スライド)  
周期表を見せると皆さんは寝てしまう方がいますので手短かに説明しますが、レアメタルとは何かといいますと、銅、鉛、亜鉛、鉄などのベースメタルを除いた、要は「希少な」金属です。白金やインジウムもレアメタルであり、資源的に豊富で無尽蔵であってもチタンのように金属をつくるのが困難なものもレアメタルです。要するに、マイナーだっ

# そもそも、レアメタルとは・・・

The Periodic Table of the Elements

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIB	IB	IIA	IIIA	IVA	VA	VA	VA	VA	VA	VA																
Raw Metals																	Elements studied at Okabe lab.																
Raw Metals (Broad category)																																	
Lanthanide																	Actinide																

たり、何となくプレミアがついていそうなものがレアメタルです。

私の研究は、製錬やリサイクル技術の開発です。具体例としては、レアアース磁石のリサイクルなどが挙げられます。ハイブリッド車には強力な磁石が必要で、これにはレアアースが必要ですが、使い終わると再利用されずに廃棄されるので、それをリサイクルする、ということです。

くれぐれも誤解のないように言っておきますが、レアアースは、はっきり言って、山から掘って、製錬して、要らなくなったら捨てるほうが経済合理性は高いです。コスト的にはこのほうが圧倒的に安い。無理して戻そうとすると、かえってエネルギーとコストがかかります。「それなら捨てたほうがいいじゃないか」という人もいますが、そうもいきません。掘っているところでは深刻な環境破壊が行われていますし、中国におけるレアアースは特殊な条件でできているので貴重です。また、ウラン、トリウムが廃棄物として発生したりして、環境被害が大きいところもあります。リサイクルすべきですが、経済合理性がない。そうすると、社会システムまたは技術で解決しなければいけません。そのため、私たちはレアメタルの製錬や高付加価値のレアメタルを分離・改修できる環境調和型リサイクル技術の開発を研究しています。

ただ、こういった細かいお話をしますと皆さん寝てしまわれるので、ご興味のある方は『自動車技術ハンドブック』をご覧ください。これまで自動車業界はレアメタルにほとんど興味がなかったのですけれども、ハイブリッド車は“走るレアメタル”ということになってきましたので、レアメタルの特集が組まれています。また、最近出た本で『ネオジム磁石のすべて—レアアースで地球(アース)を守ろう—』があります。レアアース磁石の発明者の佐川真人博士が監修しているのですが、そこにもレアアースの現状が書いてあります。もっとオタッキーな内容を知りたい人には『レアメタル便覧』があります。高価なので個人で買う

ような本ではないのですが、参考にはなると思います。レアメタルの話にご興味ある方は私のホームページをご覧ください。ただとていろいろな関連文献リストも出ています。

ということで、今日は皆様方にどんな話をしようかと悩みましたが、一般公開なので、レアメタルにそれほど興味はないけれども、見学にも疲れたし、大きいホールで寛ごうかというお客様を対象に話題を考えてきました。(スライド)



これは最近起こった福島原発の激しい水素爆発です。ここにおられる多くの方は、また岡部はメタルと関係ない話を始めたと思っていますね。

原子力と私の研究は一見無関係に見えて、実は非常に密接な関係があります。水素爆発が起こる1カ月前、まさに福島第一号原発がつくられて出荷された、IHIの横浜工場の新型の圧力容器の真横にいました。その新型圧力容器は沸騰水型ではなくて加圧水型ですが、そこでいろいろな専門家からレアメタルを中心に情報収集して討議していました。

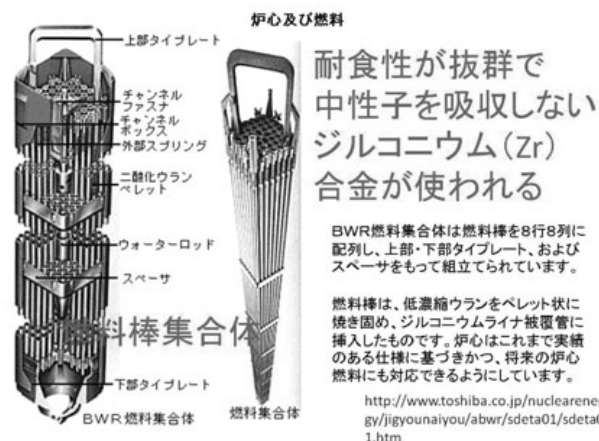
岡部は、これらの鉱石からチタンなどのメタルをつくったり、ニオブなどを還元するのが得意です。それにスクラップからレアメタルをリサイクルするのが研究対象ですから、福島原発の事故とは全く関係ないではないかと思う人が多いのですが、実はかなり関係があります。チタンの親戚にジルコニウムというレアメタルがあります。ハフニウムというレアメタルもチタンやジルコニウムの親戚のような金属です。チタン、ジルコニウム、ハフニウムは、中性子を吸収量などの物理的な性質の違いはあるものの、化学的性質はほとんど同じレアメタルです。その他、いわゆるウラン、プルトニウムもレアメタルです。あと冷却に使う配管など、原子力発電の装置類はレアメタルが多く使われています。

具体的には、核燃料を保持しているのはチタンの親戚のジルコニウムでできた被覆管です。緊急停止するために制御棒を炉内に打ち込みますが、それはハフニウムなどでできています。沸騰した水から発生する水蒸気を再び水に戻

したり、他にもいろいろ熱交換するのに銅やステンレスが使われますが、チタンも使われています。そういった意味では、原子力発電所は「レアメタルの塊」なのです。原子炉だけでなくその周辺でもレアメタルが多く使われています。蒸気を動力に変えるタービンはまさに「レアメタル合金の塊」です。

今回の水素爆発の原因は、ジルコニウムの燃料被覆管が加熱されたためです。燃料棒の損傷が大きな問題になっています。セシナ機が突っ込んでも耐え得る建屋が一瞬にして吹き飛ばすほどのエネルギーを持った水素爆発が起こりました。私のような素人でも、爆発時に反応した水素はすごい量だとわかります。その水素はどこから出ているのでしょうか。これは燃料被覆管のジルコニウムが水と反応して発生する水素以外、考えられないです。ウラン燃料そのものは酸化物ですし、放射線によって一部の水は分解しますが、高温ではすぐ再結合しますから、ジルコニウムが水と反応して水素が発生したのでしょう。要は、金属のジルコニウムが水と反応したのです。

(スライド)



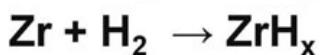
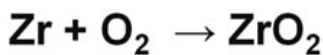
ところで、ジルコニウムでできた燃料被覆管は、核燃料を保持して圧力容器の中に入っています。したがって、圧力容器内はジルコニウム合金の塊です。通常では、ハフニウムというレアメタルの制御棒を打ち込むと、中性子の拡散が止まって原子炉は冷温停止するという構造になっていますが、いろいろなタイプがあります。

(スライド)

ここでは難しい話はしませんが、何が起きているかという、福島原子炉内ではジルコニウムと水の反応が起こったのです。ウラン燃料を保持しているジルコニウム燃料被覆管が水と反応して水素を出して、これが爆発した。この量から逆算すると、すさまじい量のジルコニウムが反応したことが読み取れます。

では、その爆発はどこで起こったのかというと、原子炉格納容器の外です。そうすると、水素はおそらく中にもたまっている、全部が漏れているとも考えられます。漏れて

## 高温では、Zrは、 H<sub>2</sub>OやO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> と反応する



いるだけであれだけの水素爆発は起こったのですから、明らかに中はぼろぼろだということです。

それ以外にも状況はもっと複雑です。ジルコニウムは水素と反応すると、水素を吸ってとても脆くなり、ぼろぼろになります。高温では窒素とも反応してぼろぼろになる。こういう反応が起こるわけですから、あの爆発が起こった瞬間、私たちのような専門家は「压力容器内はぼろぼろ」と考えるのが当たり前です。

ただ、私が一番不思議だと思ったのは、爆発直後、燃料がむき出しになってウランやプルトニウムが混入するということを言っている学者は皆無でした。やばいことを言わないというのは許されると思います。ただ、私が問題だと思ったのは、学者や専門家と称する人たちが「压力容器内は大丈夫です」というコメントばかりしていましたが、私はこの報道はあり得ないと思いました。これに関して3月中に、私は文章を作って信用できるメディアに送ったのですが、黙殺されました。

このようなことはおかしいことは、いわゆる“原子力村”という不思議な村ができてからこのようなことが起こるのです。さらに不思議なのは、こんな状況になるのは日本くらいです。要は、何も知らされず、「大丈夫だから信じる」という大本営発表があって、みんな落ち着いて行動する。ある意味では日本人の美徳です。戦時中もおそらく似たような状況だったのではないかと思います。とんでもないことが起こっていても、誰も論理的にものを言わない。

私は、学者や専門家は、「真実を一般にわかりやすく説明する」というミッションがあると思います。そういった意味で、レアアースについても、今日は大半が漫談になりますが、この場を借りて話題提供したいと思います。

(スライド)

私の専門は製錬です。鉱石からメタルを作る、スクラップからメタルを抽出することが主な研究対象ですが、その話をすると皆さん寝てしまいますので、4月に行ってきたところの話をします。

丸1日かけて日本からチリのサンチアゴまで移動しまし



た。飛行機に乗っているだけで24時間かかります。さらに乗り継いで、チリの北部の世界最大の銅鉱山のチキカマタ銅・モリブデン鉱山に行きました。その後、チリ硝石の採掘地、アタカマ塩湖、サンクリストバル亜鉛・鉛・銀・鉱山、ウユニ塩湖、ポトシの銀山、ここら辺を陸路で延々移動していました。

(スライド)



私はアウトドアが大好きでして、こういった山岳地帯の鉱山及び製錬所を陸路移動して訪ね歩きました。製錬所には私の友達がたくさんいるので、そこへ行くと鉱山や製錬

設備だけでなく色々なものを見せてくれます。

これは銅とモリブデンの鉱山ですが、横幅が5 km × 3 km × 深さ1 kmです。スライドの中にシミのようなサイズのトラックがありますが、このサイズを覚えておいてください。

そのスライドを拡大してみますと、トラックはこんなサイズです。望遠で撮っても鉱山は大きい。見ているところから1 km以上先で重機が動いています。その重機はどのぐらいのサイズかといいますと、このスライドのとおりです。私は日本人では小さいほうではないのですけれども、私がこのサイズです。こういった大きさの採掘機械が動き回って掘っているという状況です。

(スライド)

銅・モリブデン鉱山を見た後、いろいろなところへ行きました。アタカマ沙漠もその一つです。

(スライド)

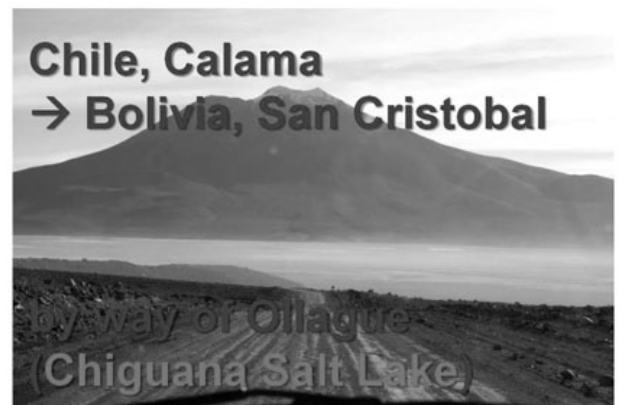
いよいよこの話は岡部の仕事と関係ないだろう、と皆さん思っていないですか。アタカマ沙漠にはアタカマ湖があります。そうなると、湖にいるフラミンゴに挨拶してこなければいけないですね。行ってみると、フラミンゴや鳥がたくさんいます。ここで、「ははあ、なるほど」と思う方はレアメタルの専門家ですね。

### 塩の池には生物が沢山いる



何と、これは塩ばかりで、湖は塩で飽和しています。池も塩水です。一番驚いたのは、塩が多いところは植物が育たないと昔私は教わったのですが、ここでは特殊な植物がたくさん育っています。ミジンコのようなプランクトンもいますし、意外と動植物が結構いるのです。そして、フラミンゴの保護区になっています。人は一人も住んでいません。すさまじく乾燥しているので、人は住めません。しかし、特殊な鳥や特殊な動物が棲める、こういったところが南米にあるということをお覚えておいてください。

(スライド)



### アタカマ湖には多くの種類のフラミンゴがいる



こういったところを訪ねた後、私はさらにボリビアの山中に入っていました。大変でした。2週間旅行していたのですが、約1週間はこのようなアスファルトのない道ばかりでした。久々にアスファルトの道路を見たときは、うれしかったですね。日本はすごい国です。北海道の僻地でもアスファルトで舗装された道路がありますが、この地帯はアスファルトで舗装された道路がほとんどありません。標高4,000 mの山地を通ってチリ・ボリビア間の国境越えをしました。

(スライド)

延々と標高3,000～4,000 mの高地を移動しましたが、空の青さは格段に美しいです。

そして、至るところに塩の湖があります。場所によって



は、干からびた塩の湖の上を車で時速 80 km で飛ばすこともありました。急ブレーキを踏んだら一発でスピンするか横転する状況でした。しかし人もいないので横から何も出てこない。基本的に視界には人工物が入らない。人がつくったものがあまりないのです。こういった大自然の中を延々と旅行しました。

いよいよ岡部は遊んでいるなど、皆さん、思っていますね。実際楽しんでいるのですが、ボリビアの国境を越えるとともに大変な環境になりつつあります。山賊に遭う可能性がありますし、もう一つ、国境付近ではよからぬ役人や人に金品を巻き上げられる可能性もあります。そういったことに対処すべく、いろいろ準備しておくのですが、そういった裏話は今回やめておきます。

ボリビアは、面積は日本の3倍、人口は10.4百万人(2010年)、一人当たりGDPが1,900 US\$というとても貧しい国です。ただ、このスライドに示すようにすばらしい景色のところ。人工物がほとんどない。こんな景色が続きます。

美しい風景のスライドを見て、中にはうらやましいと思われる人がいるかもしれませんが、行っている本人は、実を言うと大変です。空気はスパードライですし、粉っぽいし、塩っぽいし、その中を車で1~2週間走り続けるのは大変です。たまに大型の動物にも巡り会いましたが、人工物がほとんど無い世界を移動しました。

(スライド)

そうこうしているうちに、標高4,000 mのところサンクリストバルという日本の商社が保有している世界最新鋭の亜鉛・鉛・銀鉱山に辿り着きました。これはボリビアの大きな産業の一つで、亜鉛で世界6位、銀で第3位の生産量を誇る鉱山です。亜鉛の多くは、皆さんの車に、また銀は太陽電池の電極材のペーストなどに使われています。このような標高の高い未開の地に日本の企業が一千数百億円も投資して開発を行っています。リスクも大きいですが、ものの何年間かで投資した元が取れるような、今は非常に利益率の高いビジネスです。

## San Cristobal open pit mine

標高4000mの亜鉛・鉛・銀鉱山



(スライド)

4000mの高地ということ忘れて、  
この上に一気に上がったら息が切れた



Everything is Huge!

ここでも大きい工作機械や重機が動き回っています。これも普通のトラックのように見えるのですが、巨大なトラックです。「重機に上がってもいいよ」といわれて上がってみたら、4,000 mだったので息が切れて大変でした。

なぜかという、実際にはこのような大きさです。これが重機に対する私のサイズです。こういうところから鉱石が掘り出され、最終的に私たちが使っているのです。

陸路をサンクリストバルまで行った後、また延々と悪路を走りました。相変わらずアスファルトで舗装した道路はありませんでした。リヤマがいたり、ビクーニャが歩いて

いる、こういう大自然の中を移動しました。  
(スライド)



### 塩の乾燥と採掘風景



山岳地帯を越えてボリビア内部に延々と進むと、有名なウユニ塩湖に辿り着きます。ちょうど雨が降った後で、これから乾季に入るのですが、乾燥している途中の塩湖です。このようなすばらしい景色ばかりで、世界最大の塩の湖です。

生産物はやはり塩です。塩を水抜きするために、掘った塩を三角錐の山のように積み上げているのですが、手作業で掘り出して山をいくつも作っています。

(スライド)



アウトドア派の私は、高性能のランクルを手配して、湖じゅうを走り回りました。これは全部塩水ですから車には

非常によくはないのですが、こういうところに延々と移動しました。

皆さん、いよいよ岡部は遊んでいるなと思っていますね。実際、楽しんではいらっしゃるのですが、延々とこういうところを訪れているのは、実は私の研究と強く関係しているからです。

(スライド)



今日は専門的な写真は省きましたが、誤解を生むといけないので補足説明しておきます。私は、アウトドア派のレアメタル研究者ですので、今回紹介したような鉱山へ行くと製錬施設を訪れて現場の技師や研究者と討議をしたりします。私は、鉱石からメタルを抽出する精錬技術開発などの研究しているのですが、ここら辺からがいよいよ私の専門です。

鉱石の濃縮したものを高温プロセスで製錬する場所へは、普通は一般の人たちは入れません。私がなぜ入れるかということ、お客として招かれただけでなく、いわゆる世界の生き残りレアメタル研究者なので、「おお、よく来た。俺たちの持っているものを全部見せてやろう」ということで結構危ないところも見せてくれますし、写真も撮らせてくれます。

(スライド)

私はボリビアやチリの山奥の悪路を延々と走って製錬所を見てきたのですが、そんな人は他にはいません。在ボリビア多民族国日本国大使から「ラパス大使公邸にボリビア国





ボリビア政府の鉱山運営に対する行政方針は極めて流動的であり、国有化の可能性やそのデメリット等について話し合われた。

の元大臣や鉱業界のトップ3人を呼ぶから、ボリビア鉱業の現状と将来性について議論したい」と言われ、鉱山運営などについて意見交換を行いました。ボリビア政府の鉱山運営に対する行政方針は極めて流動的なため、国有化の可能性やそのデメリットについても話し合われました。このために、塩と砂のアウトドアを2週間旅行するのに大使公邸での会合用にスーツを持っていかなければいけないという苦労もありました。

ここからが本題です。  
(スライド)

実際はどうかというのを現地へ行って見てきたのですが、リチウムは資源的な問題はありません。ただし、アタカマ湖から掘り出されるリチウムは ppm オーダーという、パーセントよりはるかに低い品位のものです。それを濃縮してリチウム化合物として日本に持ってこようとする、とんでもないゴミが現地に出ていることになります。この現場を見たかったのです。  
(スライド)



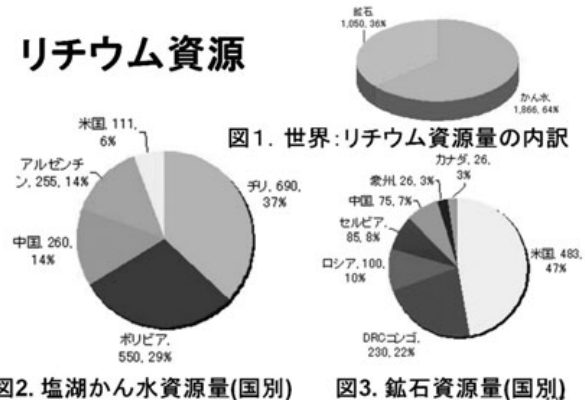
では、リチウムを生産するサイトはどこなところか。実際は時間がなくて中まで行けなかったのですが、カメラで撮って場所さえ覚えておけば、あとはグーグルアースを使うという便利な方法があります。例えば、私が行ったアタカマ塩湖を見ると、リチウムやカリウムを生産しているサイトがすぐに探せます。幅が 5 km 以上は優にあるような塩田や、さらに濃縮して乾燥させて得た製品までグーグルの地図を使って見ることができます。

写真からもわかりますように、資源があるのだから塩田を大きくしていけば、いくらでもリチウムは生産できます。ただ問題なのは、ppm オーダーの塩水の中のリチウムを6%まで濃縮するために1年かかります。これがリチウムの一番の問題なのです。資源がいくらあってもすぐに増産できない。6%の濃縮物を得てから、タンクローリーで運んで、海辺の近くに行行って炭酸ナトリウムと反応させて炭酸リチウムにして製品にするというプロセスが必要

です。  
ここで紹介したチリのリチウムの生産企業は、もともとはチリ硝石を使った硝酸塩、硝酸カリウム、硝酸ナトリウムを肥料として売ってました。これらを濃縮・分離している過程でリチウムも得られるので、副産物です。日本ではあまり肥料の需要がありませんが、今は「リチウムが欲しい」と言い出しているというのが現状です。

細かい話は省略しますが、このリチウム濃度は1%をはるかに下回る濃度だということをお見せしたかったです。では、どんどん掘って誰か困るかという、実を言うと誰も困らないのです。なぜかという、人が住んでいないからです。困るのは、この場合はさっきのフラミンゴたちです。フラミンゴの飛来地や保護区にリチウムが濃い湖がある、ということです。ボリビアのウユニ湖は雨が降

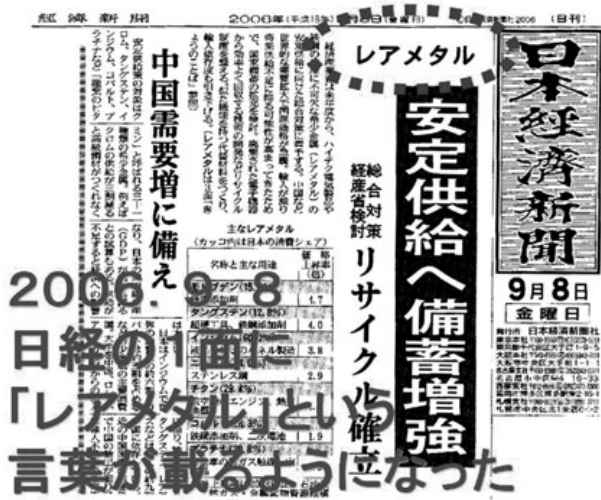
## リチウム資源



リチウム資源は塩湖のかん水（地下の塩水）と鉱石から採れるものがありますが、チリは、塩湖のかん水から採れるリチウムの世界最大の生産国です。先ほどお見せしたアタカマ塩湖は、リチウム資源供給能力がナンバーワンとも言われています。ボリビアは今未開発ですが、資源的にはかなりの量のリチウムがあります。皆さんもご存知のとおり、最近では携帯電話、パソコンなど幅広い電子・電気機器をはじめ、自動車用バッテリーなど、多くの工業製品がリチウムを使うようになってきているため、そのおおもとはどうなっているのかということを見に行ってきたわけです。

供給障害の可能性があるとみんな騒いでいるけれども、

るので水分の蒸発・濃縮に時間がかかるため不利なのですが、資源の開発が行われる方向で動いているようです。(スライド)



ここから少し大人向けの話をしようと思います。2006年あたりからレアメタルが急に話題になりました。私がテレビに引っ張り出されるようになりました。私は昔から「走るレアメタルは大事だよ。今までは自動車は鉄とかアルミとか銅の塊だったけれども、これからはレアメタルだよ」と言ってきましたし、「走るレアメタル」という言葉も私がつくったと思っていたのですが、実際は、なんと、「走るレアメタル」は実在していました。「レアメタル」という馬が走っていたのです。詳細は省きますが、中央競馬では全然勝てず、地方競馬に行ってボロ勝ちするという、波瀾万丈の馬です。(スライド)

レアメタルの用途別の分類

- ① 電子材料レアメタル
    - 半導体 (Si, Ge, GaAs)
    - 各種電子材料 (In, Ta, Li, Ba, Sr, ...)
  - ② 合金用レアメタル
    - 工具用特殊合金 (W, Co, Ta, ...)
    - 鉄鋼添加用 (V, Cr, Mo, Nb, ...)
  - ③ 航空・宇宙材料用レアメタル (空飛ぶレアメタル)
    - 航空機材料 (Ti, Ni, 難熔合金, Al-SiC合金, ...)
  - ④ 自動車用レアメタル (走るレアメタル)
    - 合金添加元素 (Mo, V, Nb, Ti, ...)
    - 磁石材料 (Nd, Dy, Sm, Co)
    - 触媒 (Pt, Pd, Rh, ...)
  - ⑤ 原子力レアメタル
    - 原子炉用材料 (Zr, Hf, 特殊合金, ...)
    - 放射性廃棄物 (PGMs, ...)
  - ⑥ 医療・生体用レアメタル
    - 生体材料 (Ti, Nb, Ta, ...)
    - 医薬品・健康食品
- ↓  
今後、一層発展するレアメタル



もう一つの「走るレアメタル」ですが、ハイブリッド自動車はまさに「走るレアメタル」です。車は、振動や高温、湿度に10年間耐え得るような安定した部品を使うために高い信頼性が要求されますから、良いレアメタルを潤沢に使います。未来の車は高出力モータや触媒材料の需要が大

幅に拡大するでしょうから、多くのレアメタルが使われることになります。

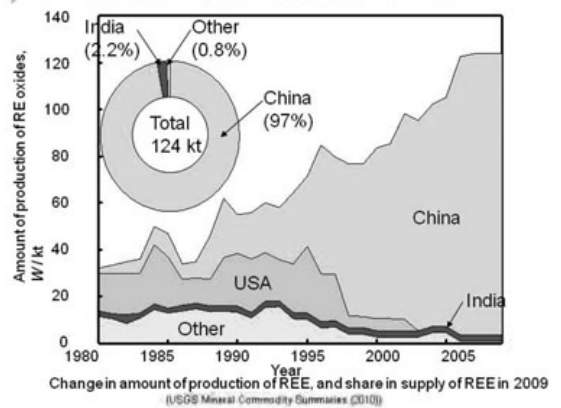
最近では太陽電池を初めとするエネルギー関係のレアメタルも注目を集めています。今後、省エネが進むと未来の太陽光発電システムにはさらに多くのレアメタルが使われます。太陽電池は、発電、蓄電、送電しなければいけませんし、場合によっては直流から交流に変換しなければいけない。これらの機器の基幹部の素子にまさにレアメタルの塊を使わなければいけないし、電流が増えれば増えるほどレアメタルを多く使うことになります。

これまでレアメタルには小型家電製品やコンピュータ、高級計測機器などの製品中の素材として利用されてきましたが、今後、太陽光発電やプラグインハイブリッドまたは電気自動車普及すると膨大な量のレアメタルが必要となります。皆さんが豊かになって、いい車を使えば使うほど、レアメタルの需要が増えるのです。(スライド)

希土類元素の供給上の課題

中国の優良な鉱床・安価な労働力・緩慢な環境規制

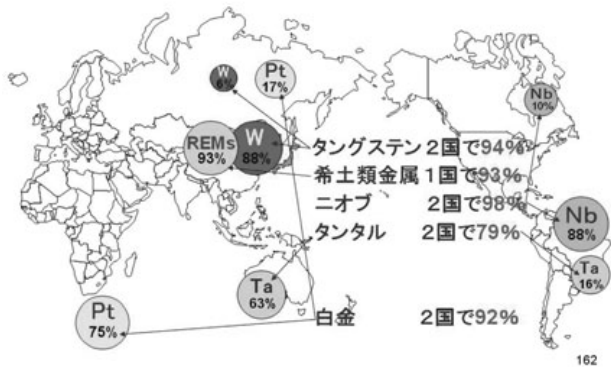
→ 希土類生産が中国に独占されている



最近話題になっているのがレアアース (希土類) です。レアアースは、名前のように「レア」なわけでも、枯渇したわけでもなく、資源的には十分な埋蔵量があり、20年前はアメリカでも採掘していたのですが、中国の安売り競争に負けて閉山に追い込まれました。安売り競争に負けた理由は、主にウラン、トリウムなどの放射性廃棄物の処理の問題です。レアアースを採掘すると放射性元素のウランやトリウムが一緒に出てくることが多いため、環境問題を引き起こします。その処理コストが高くてアメリカは払えない。一方、中国はおかまいなしに採掘します。今はレアアースの生産量の93%以上を中国が占めていますが、実はオーストラリアにも良質なレアアース鉱山がありますし、今でもアメリカにも良質なレアアース鉱山があります。ただ、環境コストを払わずに製錬できるのは中国だけということです。実は、中国はレアアースと同じようなことを

タングステンでもやっているために、タングステンもまた供給障害が起こるのではないかという可能性があります。レアアースやタングステンが中国ですが、白金は、南アフリカやロシアにしかないとか、レアメタルの資源供給に関する問題はいろいろあります。(スライド)

レアメタルの生産地域の偏在



ただ、レアアースを一言でまとめて議論できません。もともとレアアースの価格は非常に安いものなのですが、ジスプロシウムについては中国が急に輸出規制をしたため値段が3倍になりました。50ドルできていたものが同じ製造コストでいきなり150ドルになったわけです。さらに輸出規制をして、値段がまたさらに10倍以上に上がりました。ですから、レアメタル、レアアースというのは一部の人のにとっては儲かってしょうがないのです。

状況によっては中国は輸出を止めますよという話を私がテレビに出てしているうちに、尖閣諸島の領有問題が起こり、だ捕された漁船の中国人漁師の逮捕が外交問題に発展し、尖閣諸島とレアアースは関係ないのにいきなり絡めて輸出を止めました。そうしたら日本はパニックになりました。

実は、高性能磁石に不可欠なジスプロシウムを使っている業者の人たちは、あらかじめ調達して貯えていたのですが、安く多量に手に入るランタンやセリウムなどのガラス研磨剤を使っているところは、このような事態を想定しておらずほとんど備蓄がなかったものですから困ったわけです。

このようにレアアースと一言に言っても、価格の高いテルビウムなど、種類、用途、生産量が違います。誤解を恐れず、ざっくりした言い方をしますと、レアアースの鉱石を掘りますとほとんどがランタン、セリウムなどの安価なレアアースしか出てきません。磁石に使うネオジムやジスプロシウムはみんなが欲しがりますが、これを採ろうとすると不要あるいは有害なゴミが非常に沢山出てきます。(スライド)

例えば、今、中国で掘り出されているジスプロシウムは、高品位で採りやすいのですけれども0.00335 - 0.0134 wt%という濃度で、ppmのオーダーです。中国では採掘すると

### 主な鉱石中のNd、Dy品位

鉱石 採掘場所	イオン鉱	バストネサイト		モナサイト
	電南 (中国)	バイユンオボ (中国)	マウンテンパス (アメリカ)	マウントウェルド (オーストラリア)
鉱石中のREO品位(wt%)	0.05~0.2	6.00	8.90	11.20
REO中の品位(wt%)	Nd	3.00	18.50	12.00
	Dy	6.70	0.10	trace
鉱石中の品位(wt%)	Nd	0.0015~0.006	1.11	1.068
	Dy	0.00335~0.0134	0.006	trace
			1.68	0.0224

### 主な鉱石中のDyの絶対品位は極めて低い

引用元: 村上隆雄「レアアース資源の現状と今後の見通し」(2004年、18-24頁) (2008)  
ES&S Mineral Commodity Summary 2009

きにレアアースの山に硫酸アンモニウムを鉱山に直接打ち込みます。そうすると、ジスプロシウムが溶け出てきます。それを回収して製品として出荷するため、手取り早く、安く生産することができます。生産コストとしては、1kgのジスプロシウムが50ドルのできるのです。レアアースのマーケットを世界制覇できたのです。

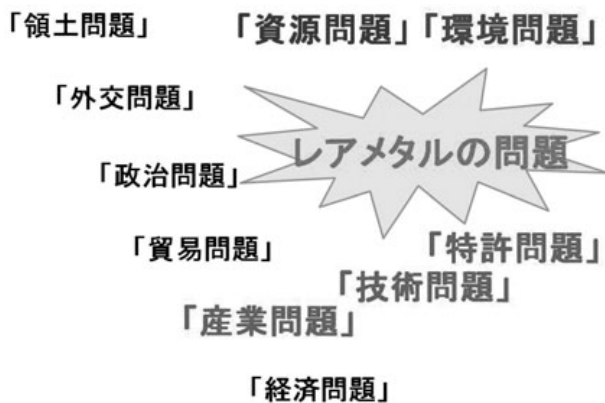
皆さんがハイブリッド車を使うと、ハイブリッド車の高性能・高出力モータには1.3kgぐらいのレアアース合金磁石が必要です。その中には約10%のジスプロシウムが含まれますから130gぐらいです。ただ、おおととの鉱石は4tぐらいあります。皆さん、ハイブリッド車を持って「エコだ、エコだ」と言っていますが、実は「Not In My Back Yard」。すなわち自分の知らないところ、見えないところで、車体の自重の数倍の鉱石が採掘され、場合によっては有害なゴミとしてすてられているのです。リチウムもppmオーダーですから同様のことが起こっていますし、白金も同じです。皆さんの車の排ガスをきれいにする触媒に白金が1-2g使われているのですが、そのために1t以上の鉱石が必要になっています。

皆さんは、製品を作って、使ったら捨てた後のリサイクルが大事だと言われますが、実を言うとつくり出すまでにすでに多大な環境破壊が起こっています。皆さんの見えないところで、とんでもない量のゴミが出ているのです。今の中国は、そのコストを払わないので安くできるのです。

日本にもレアアースをつくるためのすばらしい技術があります。昔は日本でもレアアースの製錬をしていましたが、今、日本でレアアースの製錬やリサイクルしようと思っても、廃液や廃棄物の処理などの環境コストがかなり高くなります。結局、コストを考えると日本の会社は海外でやらざるを得ない、これが現状です。そういったことを皆さんに知っていただきたくて、今日、このようなスライドを持ってきました。(スライド)

次にレアメタルの問題について話します。

時間も限られているのでどこまで話そうか悩むのですが、日本で一番問題になっているのは、日本の国力の源泉



となる富を生み出している特許、技術、産業のところですが、しかし、本当に考えなければいけないのは掘り出すところ、つまり環境問題が一番重要なのです。

ところが不思議なことにレアメタルの問題がクローズアップされるのは、環境問題とは全く無関係な尖閣諸島の政治問題や外交問題からです。本質とは無関係なことが、あたかも直接事象のように議論される。これがレアメタルのみならずいろいろな工業生産物の縮図です。

今日は細かい話はかなり割愛してしまったので、いきなりポイントだけ申し上げるのもちょっと問題なのですが、くれぐれも誤解のないようにしてください。

昔はレアメタルは「希少金属→枯渇」ということで語られていましたが、レアメタルで枯渇するものがあつたら私は見てみたいです。今、金属資源で一番枯渇しそうなのは、実はレアメタル以外の銅、鉛、亜鉛などのベースメタルです。それらのどれかのベースメタルが枯渇した後にレアメタルの枯渇を考えればいいでしょう。

レアメタルは、当分は枯渇しませんし、特に白金族金属は資源的にはあまり問題はあります。資源の「ピークアウト」といって生産量が落ちたメタルがあるか調べてみたら、水銀と、メタルではないのですが、硫黄がありました。これらは昔は掘っていましたが、硫黄は石油の副産物で出てくるし、水銀は銅や鉛の副産物なので、もう積極的に掘っていないためピークアウトしたということです。

では、なぜ、みんなは「枯渇する」と騒ぐのでしょうか。それは、情報が極めて限られていることと、多くのレアメタルが1-3カ国の少ない国から供給できるからです。

レアメタルに関する懸念材料は供給障害です。例えばリチウムをみんなが急に欲しくなっても、急激な増産はできません。まさにアタカマ塩湖で数カ月かけて乾燥しなければならないからです。もう一つは、中国のように尖閣諸島の領土問題や外交問題を理由に、いきなり輸出を止めるといった類のこともおこります。その他には、買い占めなどの投機、事故や環境問題が引き金に資源ナショナリズムが台頭などがあります。先ほどボリビアで紹介した鉱山で

も、ボリビアで掘った鉱石や脈石のほとんどのものが現地ではゴミとして捨てられ、精鉱などのおいしい濃縮物だけを日本に持って行って製錬して工業製品になります。これが世界じゅうにばらまかれ、日本などの先進国だけが豊かになるといった現状は許せないという考え方などが、資源ナショナリズムの主な理由になります。

(スライド)

## レアメタル対策

### 海外資源の確保

→ 供給先の多様化

### 備蓄(と市場の安定化機構の整備)

→ 十分な量の備蓄(現状は論外)

### リサイクル

→ 日本が世界に貢献できる分野

### 代替材料の開発、使用量削減技術の開発

→ 日本が世界に貢献できる技術分野

### 人的資源の育成

→ もっとも重要。特に技術開発分野では。。。

→ 多角的、長期的な取り組みが必要

では、日本は今後どうしていくべきでしょうか。

こういった現状を踏まえつつ、日本が1番目に考えなければいけないのは、海外資源の確保、つまり供給先の多様化です。例えばリチウムに関してはアタカマ湖だけに頼らない、レアアースは中国だけに頼らないことも重要です。自動車に不可欠な排ガスをきれいにする白金触媒は南アフリカとロシアだけに頼らないと言いたいのですけれども、残念ながら今は南アフリカやロシアにしかないのです。そういった特殊なものについては、別の対策を考えなくてはなりません。

2番目は、備蓄です。レアメタルの十分な量の備蓄は大事だと昔から私は言い続けているのですけれども、最近、ようやく世の中がその重要性を認識するようになりました。

3番目ですが、リサイクルです。日本はリサイクル技術が圧倒的に強いのですから、世界に貢献できる分野だと思います。

4番目は、代替材料の開発、使用量削減技術の開発です。これも日本が世界に貢献できる技術分野です。

3番、4番については、日本は今世界でもトップランナーです。“もったいない”精神に立脚するところが日本は得意です。なぜ、リサイクルや代替材料の開発が得意なのかと考えると、日本では、銅・鉛・亜鉛を中心とする非鉄金属産業が異常に強く、世界に冠たる技術力を持っていたのですが、それらの関連の技術者がレアメタルの製錬やリサイクルに流れているのです。この人たちが日本の工業製品の需要に応じて、いいレアメタルをつくったり、回収プロセスをつくったりしてくれる、これが世界のレアメタル産業において、日本がつねに世界の2-3割の富を常に叩き出している要因だと思います。

日本には資源はほとんどありませんし、人件費は高い。ゴミを捨てようとする、とんでもなく高いコストがかかる。環境条件は厳しく、エネルギーコストも高いという二重苦、三重苦、四重苦の日本ですが、レアメタルに関しては圧倒的な（技術・生産）大国です。（スライド）

#### 岡部の個人的な提言：

白金、タンタル、ニオブなどは、  
記念コインを発行して国内に備蓄する

外資のパワーと知見を、日本の行政に積極的に導入する  
あらゆる手を使って、日本にレアメタルを流し込む方策を考える  
軍事タブーなどの解消とレアメタルの積極利用

#### 岡部の個人的な夢：

生研にオールチタン製のクリスマスツリーを作って、  
冬の夜の観光名所にする  
今度建設される新東京タワーも、  
オールチタン製（メンテナンスフリー）にする  
将来的には、  
金閣寺と銀閣寺の間に、チタン閣寺を建立する



ただ、残念ながら、学生に人気がありません。私がなぜこの分野に携わっているかということ、成績が悪くて研究室を選ぶ権利がなくレアメタルの研究室に配属されたのですが、結果においてそれがラッキーだったのです。そこに身を置くと、すばらしい産業と技術力に支えられた研究領域があった。この場を借りて申し上げたいのは、こういった人的資源で日本は食べているということです。

最後に、私の夢を申し上げたいのですが、金閣と銀閣寺の間にチタン閣寺を建立するプロジェクトを皆さん一緒にやりませんか。

これを言うと、皆さんは冗談だと思われるかもしれませんが、私は本気です。

まず日本は、チタンにおいても世界の生産大国です。一番エネルギーを使う、高級な金属の一つなのですけれども、日本は世界の2-3割をつくって、しかも一番いい品質のチタンなので、航空機用に使われ、主にアメリカへ輸出しています。

チタンは抜群の耐久性を有するため一度つくと1000年メンテナンスフリーです。足利氏が金閣寺や銀閣寺をつくったときも、品がないとか、金に物を言わせてとかいろいろ言われましたが、今では皆さんのお子さんやお孫さんを連れて足繁く通うところになっています。だから、チタン閣寺も今つくっておけば、500年後には世界遺産に登録されるのは間違いありません。

皆さんはご存知ないかもしれませんが、浅草寺の雷門を通り抜けた宝蔵門の上に瓦が載っていますが、あれは実を言うと重たい焼き物の瓦のふりをしてしている金属チタンです。ちなみに金閣寺の茶室の屋根の緑青っぽいのがありますが、あれも銅板が載っていると思いきや、実を言うとチタンの板なのです。それは、軽くて性能が良いからです。

私はこと前から東京スカイツリーをチタン製にしようと言っていたのですけれども、採用されませんでした。チタンのみならず多くのレアメタルは将来、非常に発展しますので、今後、皆さんもぜひとも応援してください。

ただ、こういう研究をやろうという学生がいません。それは見かけ業績主義にみんな走るからです。こういう研究をやっていたら、なかなか論文が書けない。そういったところも問題ですので、この場を借りてお願い申し上げる次第です。ご清聴ありがとうございました。