

# 成熟社会に欠かせないレアメタル



東京大学 生産技術研究所  
岡部 徹

依頼講演:

10月11日(土)

「成熟社会に欠かせないレアメタル」(50分)

講演会:第109回平成20年秋季

東京大学 公開講座 4 社会の環境と成熟

日時:平成20年10月11日(土)14:40~15:30

場所:東京大学 安田講堂(文京区・本郷キャンパス)

# Dr. Toru H. Okabe's footmark

マサチューセッツ  
工科大学



MIT, Boston



1993~1995

東北大

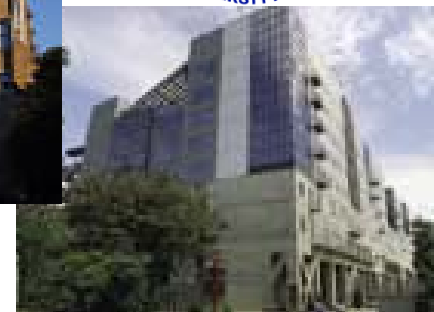
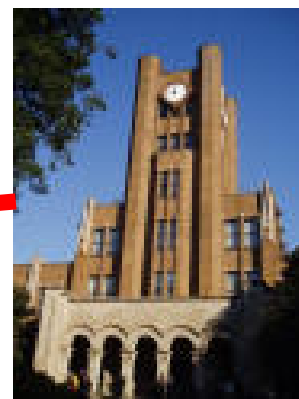
Tohoku University



1995~2000

東大

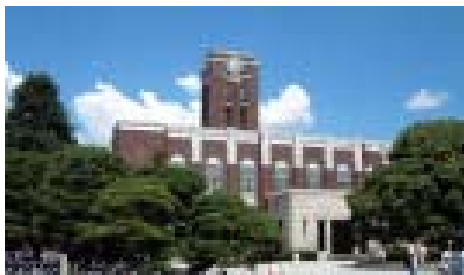
University of Tokyo



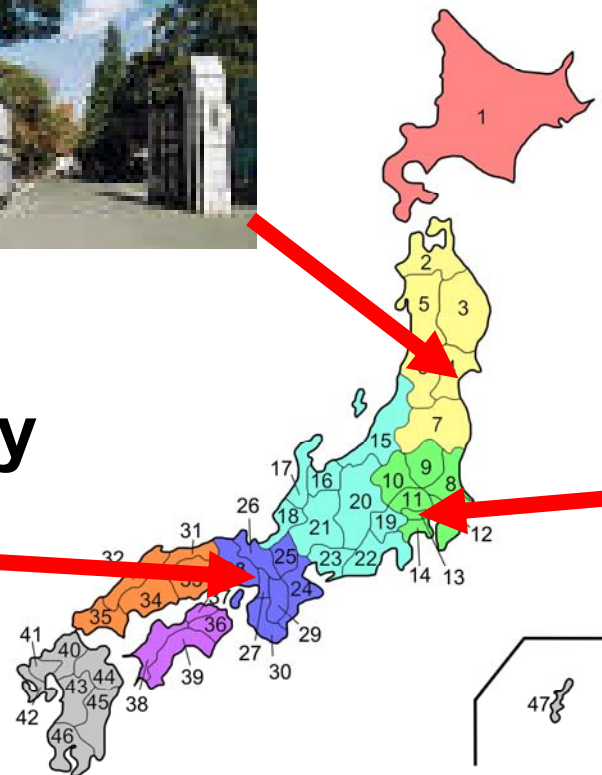
2001~

京大

Kyoto University



1984~1993



**1984~1993** 京大 (学生) 20年以上、ひたすら  
B: Ti レアメタルの研究を  
M: Ti 地道に行ってきた  
D: Nb, Ta, (Ti, Y, ...) (レアメタル オタク)。

**1993~1995** マサチューセッツ工科大学 (ポスドク)  
Ta, (Al, ...)

**1995~2000** 東北大 (助手)  
早稲田研: Ti, Nb, Ta, REMs (La, Pr, Dy, Tb...)  
梅津研: Mo, Re, Ag, Cu, Ti, REMs (Nd),

**2001~** 東大 (助教授・准教授)  
初期: Nb, Ta, PGMs (Pt, Rh)  
現在: Ti, Sc, V, PGMs (Pt, Rh, Ru, Ir, ...)  
Nb, Ta, REMs (Nd, Dy, ...)

研究機関を転々としながら、  
どこに行っても、20年間、  
チタンやニオブ、タンタルなどの  
レアメタルに関する  
研究を地味に続けて来た。

大学院生の頃は、レアメタルは、  
ほとんど注目されることがなく、  
新聞に、たまに、「チタン」や  
「レアメタル」の文字が載ると、  
嬉しくて、切り取っていた。



# 東京大学 生産技術研究所



岡部研究室 (循環資源・材料プロセス工学、 2001年～)

# 未来材料：チタン・レアメタル

夢とロマンに満ちた  
新素材プロセスの研究  
を行っている



画像出典

「しんかい6500」提供：海洋研究  
開発機構

[http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/img/shinkai6500\\_img\\_01.jpg](http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/img/shinkai6500_img_01.jpg)

スペースシャトル：Wikipedia

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/KSC-95EC-0911\\_cropped.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/KSC-95EC-0911_cropped.jpg)

ここに挿入されていた画像  
は著作権処理の都合上、削  
除いたします

<http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp>

# 岡部研究室

(循環資源・材料プロセス工学)

高付加価値無機素材の高効率回収プロセスの開発

チタンの製造プロセスの開発

電子材料用レアメタル粉末(Nb, Ta)の製造

貴金属などの高価なレアメタルの新規

リサイクル技術の開発



<http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/>

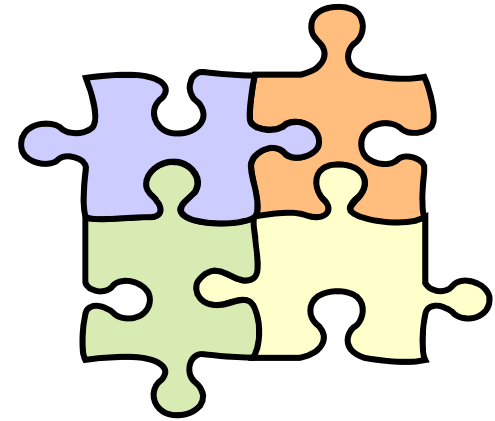
# 高度循環社会の確立を 目指した材料工学



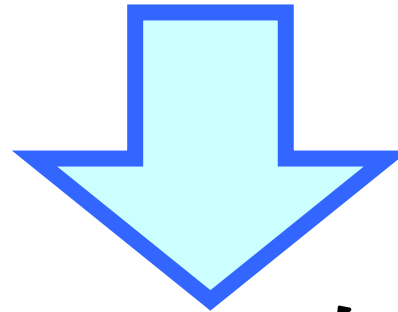
レアメタルの環境調和型  
リサイクル技術の開発



# 廃棄物の規組み合わせによる 新リサイクル技術の開発



廃棄物1 + 廃棄物2



有価物1 + 有価物2  
(あるいは無害物)

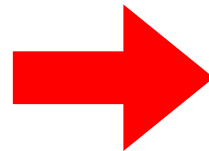
# New production process of less-common metals



## 岡部研究室 (循環資源・材料プロセス工学)

- 高付加価値無機素材の高効率回収プロセスの開発
- チタンの製造プロセスの開発
- 電子材料用レアメタル粉末(Nb, Ta)の製造
- 貴金属などの高価なレアメタルの新規リサイクル技術の開発

### Ti ore



### Ti metal



鉍石から直接チタンを製造する研究

# 最近、岡部研で取り組んでいる研究

- Tiの低級塩化物を利用するTiの新製造法の開発
- 磁石スクラップからのNdやDyの新規回収技術の開発
- 金属熱還元反応を利用するVやV合金の製造法
- プリフォーム還元法によるNb粉末の製造
- Rh, Ru, IrなどのPGMの新規リサイクル技術の開発
- Si塩化物の金属熱還元反応による太陽電池用Siの製造
  
- ScおよびSc-Al合金の新製造法の開発
- Ta粉末の製造技術
- 貴金属化合物の熱力学データの測定

やりたいテーマは、沢山あるのですが

# レアメタルの環境調和型 リサイクル技術の開発

岡部研究室では、**国内に蓄積されているレアメタル**を新しいリサイクル技術により有効利用し、資源セキュリティの安定性の向上を目指した基礎的な研究を展開している。

具体的には、PGMs (Pt, Rh)、REMs、Ta、In、W、Li、Ti、Siなどのレアメタルの**環境調和型リサイクル技術の開発**を行っている。



さらに、本研究分野の**国際連携を推進**し、本所がレアメタルのプロセス技術の**世界の研究コア**として発展し、世界をリードすることを目指している。

# レアメタルについて



東京大学 生産技術研究所  
岡部 徹

レアメタルって何だと思いますか？

あとで、説明しますが……

レアメタルの代表格って何でしょう？

食べるレアメタル！？

白金(プラチナ)ナノコロイド



# 美容レアメタル！？

## プラチナローラー美顔器 <http://corocoro.ya-man.jp>

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！！

4. ランニングコスト0(ゼロ)！

電気代や美容液いらず。  
エステに行けば数万円かかるトリートメントが、半永久的にあなたのもの♪

飲むレアメタル！？

バナジウム天然水

スポーツ用  
レアメタル！？

チタン、  
ゲルマニウム  
ネックレス

コラントツテ新ネックレス！  
ゲルマニウム＋ピュアチタン。  
スポーツやファッションにおすすめ！

コラントツテアクティブ ワックルネック

# 成熟社会に欠かせないレアメタル

今日の一つの結論:

社会が成熟すると、  
不思議(無意味?)な商品が  
沢山作られる。

→ レアメタルは、  
食べ物や美容品、  
スポーツ用品になる。

# レアメタルは、 豊かな生活に不可欠なメタルである

**希土類金属 (REMs: Nd, Dy, Sm, ...):**

ハードディスク、携帯電話のバイブレータ  
ハイブリッドカー・電気自動車のモータ

**白金族金属 (PGMs: Pt, Rh, Pd, ...):**

自動車排ガスの触媒、  
燃料電池の触媒

**インジウム (In):** 液晶、プラズマの透明電極

**ガリウム (Ga):** 青色発行ダイオード

**タンタル (Ta):** 小型・高性能コンデンサ

---

レアメタル→稀少金属→枯渇

最近の報道をみていると、  
レアメタルは枯渇するのでは？  
と心配になってくる。。。

---

“レアメタルの枯渇”

その誤解と報道について

レアメタル→稀少金属→枯渇

レアメタルは本当に枯渇するのか？

プラチナ(Pt)などの

白金族金属は大丈夫か？

# レアメタルは、 豊かな生活に不可欠なメタルである

**希土類金属 (REMs: Nd, Dy, Sm, ...):**  
ハードディスク、携帯電話のバイブレータ  
ハイブリッドカー・電気自動車のモータ

**白金族金属 (PGMs: Pt, Rh, Pd, ...):**  
自動車排ガスの触媒、  
燃料電池の触媒

**インジウム (In):** 液晶、プラズマの透明電極  
**ガリウム (Ga):** 青色発行ダイオード  
**タンタル (Ta):** 小型・高性能コンデンサ



# レアメタルとは

- ①資源的に、稀少な金属（賦存量が少ない元素）
  - 白金族金属（PGMs）、インジウム（In）、  
ガリウム（Ga）、タンタル（Ta）、  
ジスプロシウム（Dy）、...
- ②資源的に豊富でも、メタルを得るのが困難な金属
  - チタン（Ti）、シリコン（Si）、  
マグネシウム（Mg）、...
- ③資源的に豊富でも、鉱床の品位が低い金属
  - スカンジウム（Sc）、バナジウム（V）、...

前述の定義以外にも、  
以下の定義を加える場合もある。

- ④ 高純度等、特異な形態で優れた機能を発揮する元素  
→ 超高純度鉄 (Fe), 高純度非鉄金属, ...
- ⑤ 少量、微量で特異な機能を発揮する元素  
(高付加価値を実現できる元素)
- ⑥ これまで用途が少なく、工業的には未開発である元素  
→ オスミウム (Os), アクチノイド, 超高純度金属, ...

# そもそも、レアメタルとは・・・

## The Periodic Table of the Elements

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B				I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A			
Hydrogen <b>1 H</b> 1.008	Rare Metals																Elements studied at Okabe lab.				Helium <b>2 He</b> 4.003
Lithium <b>3 Li</b> 6.941	Beryllium <b>4 Be</b> 9.012	Rare Metals (Broad category)										Boron <b>5 B</b> 10.81	Carbon <b>6 C</b> 12.01	Nitrogen <b>7 N</b> 14.01	Oxygen <b>8 O</b> 16.00	Fluorine <b>9 F</b> 19.00	Neon <b>10 Ne</b> 20.18				
Sodium <b>11 Na</b> 22.99	Magnesium <b>12 Mg</b> 24.31											Aluminium <b>13 Al</b> 26.98	Silicon <b>14 Si</b> 28.09	Phosphorus <b>15 P</b> 30.97	Sulfur <b>16 S</b> 32.07	Chlorine <b>17 Cl</b> 35.45	Argon <b>18 Ar</b> 39.95				
Potassium <b>19 K</b> 39.10	Calcium <b>20 Ca</b> 40.08	Scandium <b>21 Sc</b> 44.96	Titanium <b>22 Ti</b> 47.87	Vanadium <b>23 V</b> 50.94	Chromium <b>24 Cr</b> 52.00	Manganese <b>25 Mn</b> 54.94	Iron <b>26 Fe</b> 55.85	Cobalt <b>27 Co</b> 58.93	Nickel <b>28 Ni</b> 58.69	Copper <b>29 Cu</b> 63.54	Zinc <b>30 Zn</b> 65.39	Gallium <b>31 Ga</b> 69.72	Germanium <b>32 Ge</b> 72.61	Arsenic <b>33 As</b> 74.92	Selenium <b>34 Se</b> 78.96	Bromine <b>35 Br</b> 79.90	Krypton <b>36 Kr</b> 83.80				
Rubidium <b>37 Rb</b> 85.47	Strontium <b>38 Sr</b> 87.62	Yttrium <b>39 Y</b> 88.91	Zirconium <b>40 Zr</b> 91.22	Niobium <b>41 Nb</b> 92.91	Molybdenum <b>42 Mo</b> 95.94	Technetium <b>43 Tc</b> (99)	Ruthenium <b>44 Ru</b> 101.1	Rhodium <b>45 Rh</b> 102.9	Palladium <b>46 Pd</b> 106.4	Silver <b>47 Ag</b> 107.9	Cadmium <b>48 Cd</b> 112.4	Indium <b>49 In</b> 114.8	Tin <b>50 Sn</b> 118.7	Antimony <b>51 Sb</b> 121.8	Tellurium <b>52 Te</b> 127.6	Iodine <b>53 I</b> 126.9	Xenon <b>54 Xe</b> 131.3				
Caesium <b>55 Cs</b> 132.9	Barium <b>56 Ba</b> 137.3	Lutetium <b>71 Lu</b> 175	Hafnium <b>72 Hf</b> 178.5	Tantalum <b>73 Ta</b> 180.9	Tungsten <b>74 W</b> 183.8	Rhenium <b>75 Re</b> 186.2	Osmium <b>76 Os</b> 190.2	Iridium <b>77 Ir</b> 192.2	Platinum <b>78 Pt</b> 195.1	Gold <b>79 Au</b> 197.0	Mercury <b>80 Hg</b> 200.6	Thallium <b>81 Tl</b> 204.4	Lead <b>82 Pb</b> 207.2	Bismuth <b>83 Bi</b> 209.0	Polonium <b>84 Po</b> (210)	Astatine <b>85 At</b> (210)	Radon <b>86 Rn</b> (222)				
Francium <b>87 Fr</b> (223)	Radium <b>88 Ra</b> (226)	Lawrencium <b>103 Lr</b> (262)	Rutherfordium <b>104 Rf</b> (261)	Dubnium <b>105 Db</b> (262)	Seaborgium <b>106 Sg</b> (263)	Bohrium <b>107 Bh</b> (262)	Hassium <b>108 Hs</b> (265)	Mitnerium <b>109 Mt</b> (266)													

Lanthanide	Lanthanum <b>57 La</b> 138.9	Cerium <b>58 Ce</b> 140.1	Praseodymium <b>59 Pr</b> 140.9	Neodymium <b>60 Nd</b> 144.2	Promethium <b>61 Pm</b> (145)	Samarium <b>62 Sm</b> 150.4	Europium <b>63 Eu</b> 152.0	Gadolinium <b>64 Gd</b> 157.3	Terbium <b>65 Tb</b> 158.9	Dysprosium <b>66 Dy</b> 162.5	Holmium <b>67 Ho</b> 164.9	Erbium <b>68 Er</b> 167.3	Thulium <b>69 Tm</b> 168.9	Ytterbium <b>70 Yb</b> 173.0
	Actinide	Actinium <b>89 Ac</b> (227)	Thorium <b>90 Th</b> 232.0	Protactinium <b>91 Pa</b> 231.0	Uranium <b>92 U</b> 238.0	Neptunium <b>93 Np</b> (237)	Plutonium <b>94 Pu</b> (239)	Americium <b>95 Am</b> (243)	Curium <b>96 Cm</b> (247)	Berkelium <b>97 Bk</b> (247)	Californium <b>98 Cf</b> (252)	Einsteinium <b>99 Es</b> (252)	Fermium <b>100 Fm</b> (257)	Mendelevium <b>101 Md</b> (258)

レアメタルの定義は多様であるが、  
マイナーな定義として、

ベースメタル (Fe, Al, Cu, ...) 以外のメタル  
主要鉱山が特定地域に偏在しているメタル  
価格変動が大きいメタル  
需要が少ないメタル  
入手が困難なメタル

定義は、さまざま。人それぞれ。

要は、いろいろな意味で、  
レア(稀)と思えたらレアメタル

# 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基超合金, Al-Sc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

大きな、誤解を生んでいる  
レアメタルの定義  
もあります

# レアメタルって何ですか？

レアメタル(希少金属)とは、地球上にもともとの存在量が少ない金属や、量は多くても経済的・技術的に純粋なものを取り出すのが難しい金属を総称するもので、**一般的にレアメタルと呼ばれている元素は31種類あり**、他の元素と合金を作って、これまでにない性能や機能を持つようにできることに特徴があります。

元素の周期表

レアメタル31鉱種 (レアアースは17元素で1鉱種)

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	アルカリ族	アルカリ土族	希土族	チタン族	バナジウム族	クロム族	マンガン族	鉄族(4周期) 白金族(5・6周期)		銅族	亜鉛族	アルミニウム族	炭素族	窒素族	酸素族	ハロゲン族	不活性ガス族	
1	1 H 水素																	2 He ヘリウム
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S イオウ	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57~71 ランタノイド レアアース(RE)	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オステル	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89~103 アクтиноイド															

出典: 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル対策部会「今後のレアメタルの安定供給対策について」(2007年7月)

**メディアや素人は、この定義を信じ、レアメタルは31種類と思いこんでいる。。。**

# レアメタルって何ですか？

一般的にレアメタルと呼ばれている元素は31種類あり。。。。

→論外な定義： そもそも“種類”とはなにか？

元素の周期表

レアメタル31鉱種  
(レアースは17元素で1鉱種)

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	アルカリ族	アルカリ土族	希土族	チタン族	バナジウム族	クロム族	マンガン族	鉄族(4周期) 白金族(5-6周期)	銅族	亜鉛族	アルミニウム族	炭素族	窒素族	酸素族	ハロゲン族	不活性ガス族		
1	1 H 水素																	2 He ヘリウム
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57-71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89-103 アクチノイド															

出典：総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル対策部会「今後のレアメタルの安定供給対策について」(2007年7月)

Sc(軽金属)とNd(軽希土)とDy(重希土)を  
“一種類”とするには、あまりに無理がある。

なぜか、白金族元素(Ru、Rh、Irなど)の一部がレアメタルから抜けている→白金族金属は“一種類”とカウントしないらしい。

ウランやトリウムなどもレアメタルではないらしい。

「ニッケルはレアメタル」とするのは微妙。

Mg、Na、Ca、Kがレアメタルでないとするのも微妙。



# 最近話題の副産物のレアメタル

- インジウム(In) ←亜鉛(Zn)の副産物
- ガリウム(Ga) ←アルミニウム(Al)の副産物
- スカンジウム(Sc) ←ウラン(U)、  
タングステン(W)の副産物
- ルテニウム(Ru) ←白金(Pt)の副産物

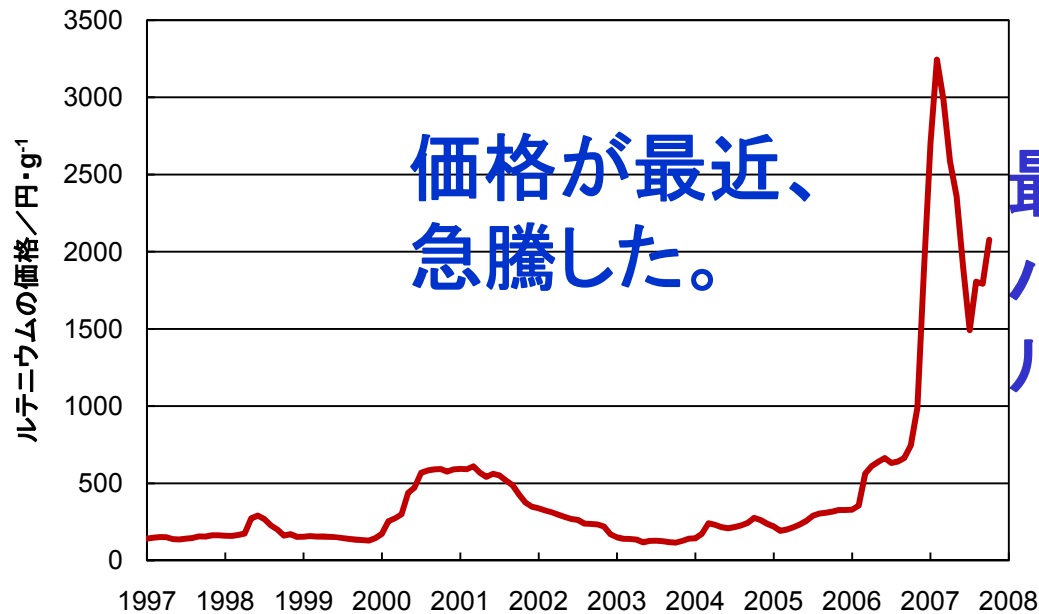
## かつて副産物だったレアメタル

- 白金(Pt) ←ニッケル(Ni)の副産物
- タンタル(Ta) ←錫(Sn)の副産物

今は、PtやTaは、副産物ではなく

専用鉱山から採掘され主産物として生産されている

# ルテニウム (Ru) の用途と価格変化



価格が最近、急騰した。

最近、パソコンやDVDなどのハードディスクの記録層にも、ルテニウムが使われる

ルテニウムは、プラチナの副産物であり、年間40トン程度しか生産できない。

## 【主な用途】

電子材料(68%、電極、チップ抵抗など)、  
磁性材料(ハードディスクの記録層)、  
触媒材料(チタン電極などに塗布)、  
めっき材料、合金元素...

# ポイント: その1

インジウム (In)  
ガリウム (Ga)  
ルテニウム (Ru)

副産物のレアメタルは、  
主産物が生産される限り生産される

枯渇の心配は少ない

ただし、主産物の製造量に依存するので  
急激な増産も困難

需要の変動により価格が大きく変化する

## ポイント:その2

レアメタルは本当に枯渇するのか？

当分はしない。

とくに白金族金属は資源的にはまったく心配はない。

レアメタル→稀少金属→枯渇  
の構図は、偏見あるいは誤解、  
情報操作によるものが多い。

# ポイント: その3

レアメタルに関する懸念事項は、供給障害

供給障害の主な要因:

投機(買占めなど)

事故(鉱山や製錬所の事故・物流障害)

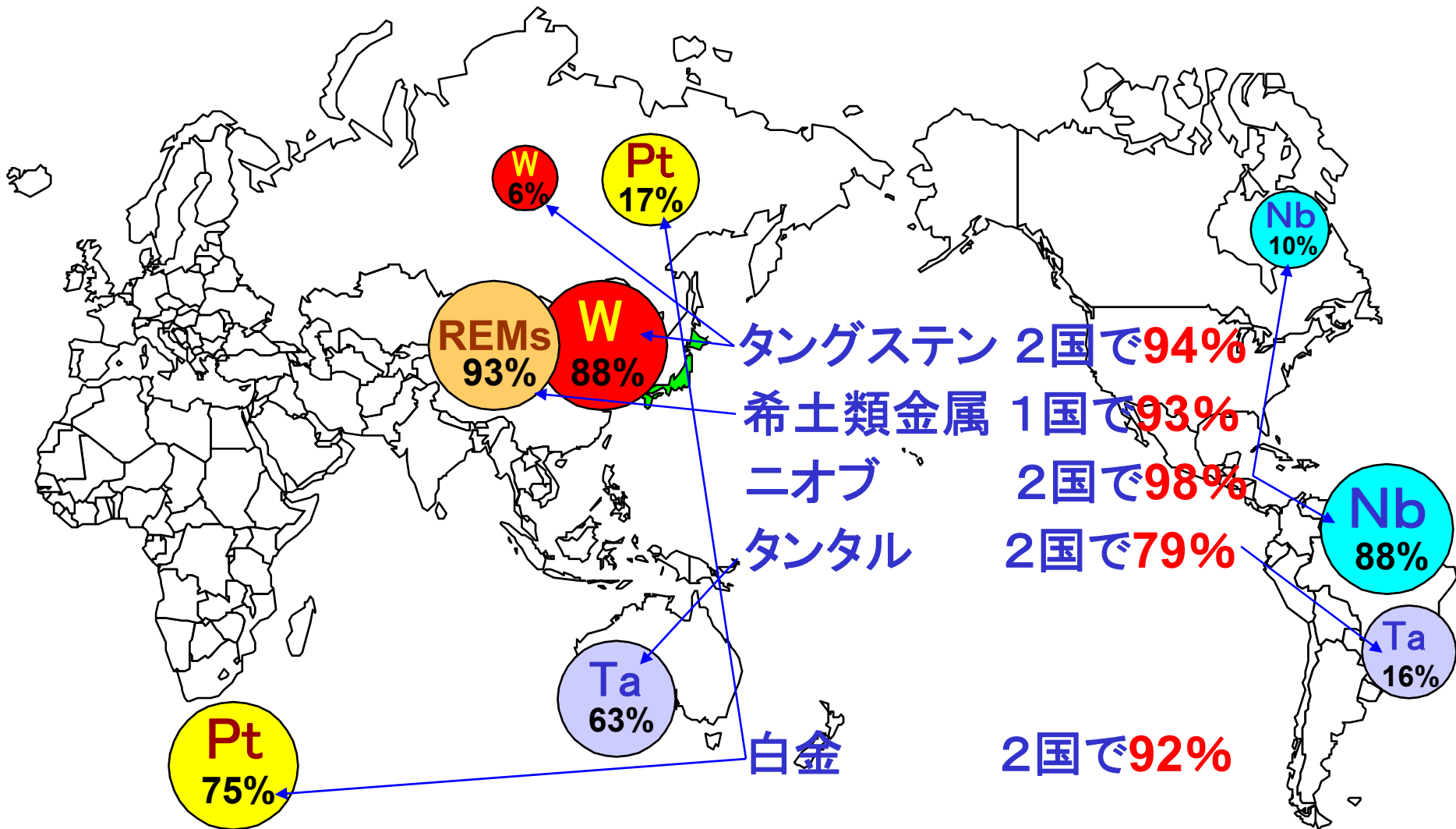
政策(資源ナショナリズムの台頭)

枯渇(優良鉱山の枯渇)

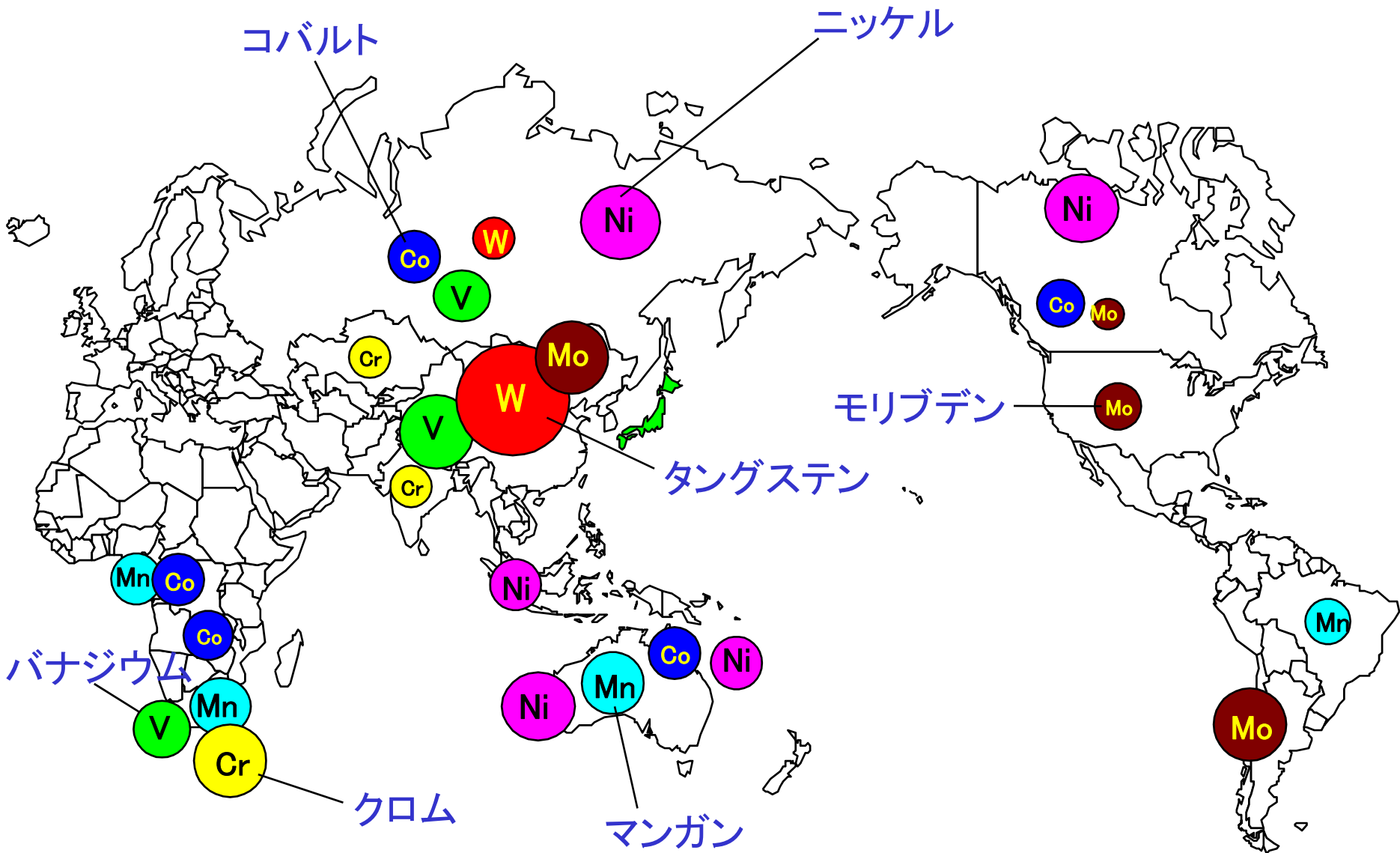
その他

供給障害の“懸念”は、  
レアメタルの価格を激しく変動させる

# レアメタルの生産地域の偏在



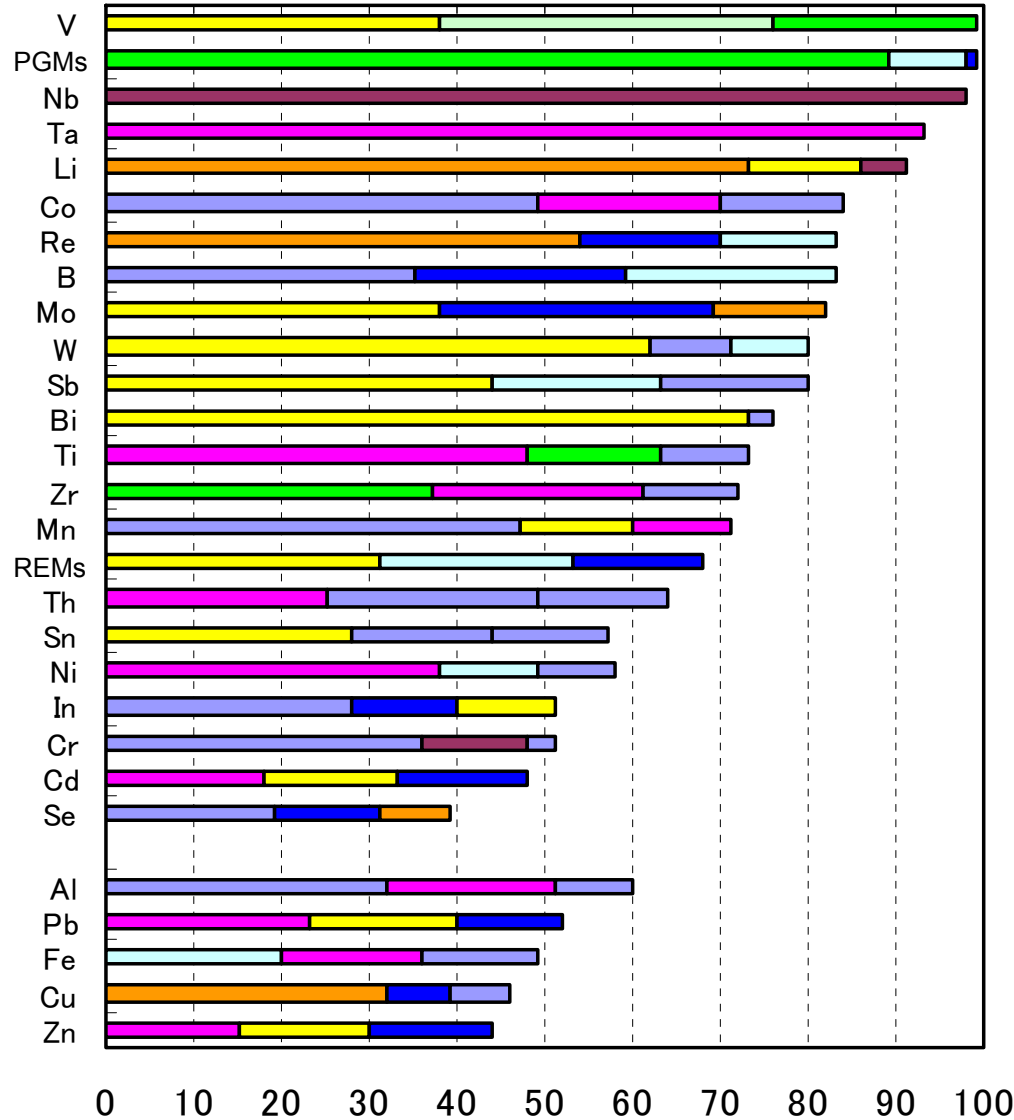
# レアメタルの生産地域の偏在



※経済産業省非鉄金属課資料より

# 世界の金属・埋蔵量の地域的偏向 (上位3位の累積%)

金属元素-地域偏向の大きい順-



多くのレアメタルは  
地域的に  
偏在している

■ China    ■ Russia    ■ South Africa  
■ Brasile    ■ U.S.A.    ■ Australia  
■ Chile    (埋蔵量割合は図より読む)  
■ その他    (左図に対応, 数字は埋蔵量割合)

**Congo**;Co:49%. **Cuba**;Co:14%,Ni:9%.  
**Turkey**;B:35%. **Bolivia**;Sb:17%.  
**Canada**;W:9%,In:28%,Se:8%. **Peru**;Bi:3%  
**Norway**;Ti:10%,Th:14%.  
**Ukraine**;Zr:11%,Mn:47%,Fe:13%.  
**India**;Th:24%,Cr:3%.  
**Malaysia**;Sn:16%. **Indonesia**;Sn:13%,Cu:7%.  
**Kazakhstan** ;Cr:36%. **Guinea**;Al:32%.  
**Jamica**;Al:9%.

世界の割合 %

出典: 西山孝; 資源と素材 Vol121, No10, 11, p.474-475の図より作成



# レアメタルの現状

まとめ:

**レアメタルの鉱山は偏在している**

→南アや中国など特定国から産出される  
メタルが多い

**日本には資源がない**

→資源セキュリティ上深刻な問題がある

**日本はレアメタルの生産大国、技術“超”大国である**

→研究においてもレアメタルのプロセスについては、  
世界を(圧倒的に)リードしている

# レアメタルの現状と課題

代替材料の開発や使用量の削減は論を待たないが、

スクラップや今使われているハイテク機器は  
レアメタル資源の山

→レアメタルのリサイクル技術の開発は今後、  
ますます重要になる

現代の錬金術

日本は、レアメタル研究・開発の  
(世界の)先端研究拠点として展開するべきである  
→資源輸入超大国の使命

# レアメタルの”最近の話題”について



東京大学 生産技術研究所  
岡部 徹

2006. 9. 8  
日経の1面に  
「レアメタル」という  
言葉が載るようになった

ここ挿入されていた図表は著作権処理の都合上、削除いたします。

2007. 12. 21

国家予算の重点配分に  
「レアメタル 確保を推進」  
がリストされた

ここ挿入されていた図表は著作権処理の都合上、削除いたします。

2007年2月13日(火)  
午後10:00～11:00放送

ここに挿入されていた図表は著作権  
処理の都合上、削除いたします。

テレビ東京 日経スペシャル  
「ガイアの夜明け」

「“ゴミ”の電器がカネになる  
～テレビ・パソコン...潜む“金脈”～」  
→家電に含まれているレアメタルと  
その現状についてコメント

日経スペシャル「ガイアの夜明け」 2月13日放送  
第250回

「“ゴミ”の電器がカネになる  
～テレビ・パソコン...潜む“金脈”～」

お茶の間にも“レアメタル”

NHKの番組「視点・論点」に出演  
(2007年5月23日(水)放送内容):

# レアメタルの実情と日本の課題



1回のみでの収録だったので、とても緊張しました。

# NHK総合テレビ クローズアップ現代 「“レアメタル”ショック ～激化する資源争奪戦～」

2007年 7月2日(月) 午後7:30～放送



生放送だったので、とても緊張しました。



NHKの番組「視点・論点」に出演  
(2007年12月18日(火)放送):

# 全世界が狙う 南アフリカのレアメタル

公衆の面前では、  
本音と言えず。。。。  
当たり障りのない  
まともなことしか言えない。



# 南アフリカ共和国



①

鉱物生産ランキング 埋蔵量  
世界シェア

鉱石生産  
世界シェア

プラチナ(白金): 1位 (88%)  
ロジウム: 1位 (88%)  
クロム: 2位 (35%)  
マンガン: 1位 (77%)  
金: 1位 (40%)

チタン鉱物: 2位 (19%)  
バナジウム: 2位 (32%)  
石炭: 6位 (5%)  
ダイヤモンド: 4位 (12%)

プラチナ鉱山  
の所在地

39%  
20%  
12%

画像出典

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Sf-map.png>



日本(東京)ー南アフリカ(ケープタウン)の距離: 14751km

# 白金族金属の生産量と用途

プラチナ(白金) 【年間生産量:240トン(リサイクル分を含む)】

→自動車排ガス浄化触媒(55%)、宝飾品、電極材料...

パラジウム 【年間生産量:275トン(リサイクル分を含む)】 自動車には白金族金属は欠かせない  
→自動車排ガス浄化触媒(54%)、電子材料、歯科材料...

ロジウム 【年間生産量:31トン(リサイクル分を含む)】  
→自動車排ガス浄化触媒(86%)、ガラス製造用合金材料...

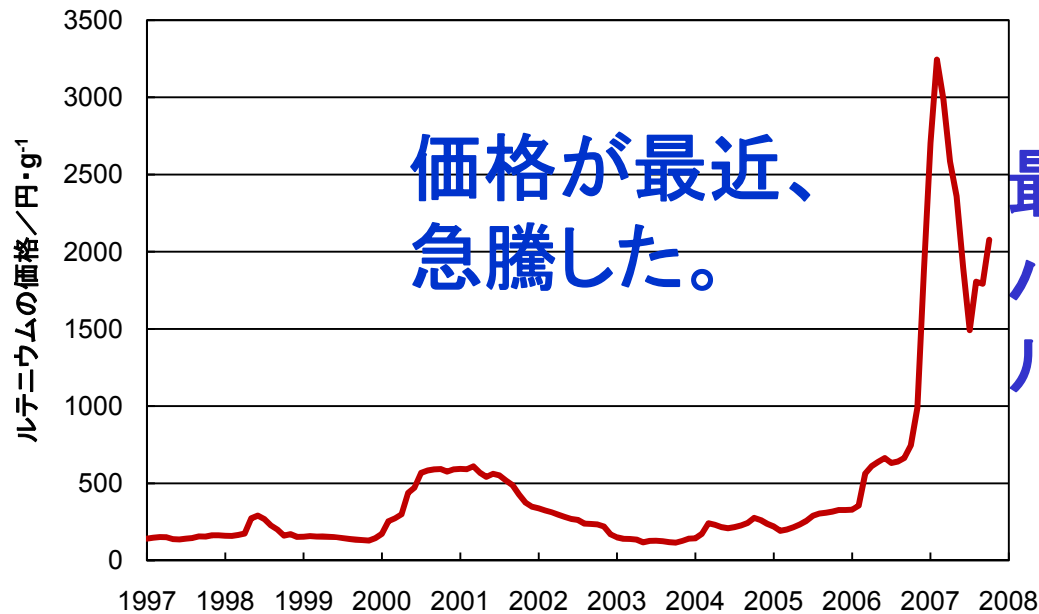
ルテニウム 【年間生産量:39トン(推測値)】  
→電子材料(68%)、触媒、めっき材料...

イリジウム 【年間生産量:5トン(推測値)】  
→電極材料(26%)、ガラス製造用合金材料...

最近、パソコンなどのハードディスクには、ルテニウムが使われる

オスミウム 【年間生産量:4トン(推測値)】  
→合金元素 (毒性と揮発性が高いため用途は少ない)

# ルテニウム (Ru) の用途と価格変化



価格が最近、急騰した。

最近、パソコンやDVDなどのハードディスクの記録層にも、ルテニウムが使われる

ルテニウムは、プラチナの副産物であり、年間40トン程度しか生産できない。

## 【主な用途】

電子材料(68%、電極、チップ抵抗など)、  
磁性材料(ハードディスクの記録層)、  
触媒材料(チタン電極などに塗布)、  
めっき材料、合金元素...

これからは、  
中国や南アフリカ共和国  
だけでなく、  
アフリカ諸国、さらには、  
オーストラリア、ブラジルの  
レアメタル資源が話題となる

# 金属資源と生産量

まずは、PGMsと他の金属の比較から。。。。

# 地殻に存在する元素を多い順に並べたリスト

多さの順	元素	クラーク数	多さの順	元素	クラーク数
1	<sup>8</sup> O	49.5	29	<sup>27</sup> Co	4 × 10 <sup>-3</sup>
2	<sup>14</sup> Si	25.8	30	<sup>50</sup> Sn	4 × 10 <sup>-3</sup>
3	<sup>13</sup> Al	7.56	31	<sup>30</sup> Zn	4 × 10 <sup>-3</sup>
4	<sup>26</sup> Fe	4.70	32	<sup>39</sup> Y	3 × 10 <sup>-3</sup>
5	<sup>20</sup> Ca	3.39	33	<sup>60</sup> Nd	2.2 × 10 <sup>-3</sup>
6	<sup>11</sup> Na	2.63	34	<sup>41</sup> Nb	2 × 10 <sup>-3</sup>
7	<sup>19</sup> K	2.40	35	<sup>57</sup> La	1.8 × 10 <sup>-3</sup>
8	<sup>12</sup> Mg	1.93	36	<sup>82</sup> Pb	1.5 × 10 <sup>-3</sup>
9	<sup>1</sup> H	0.87	...	...	...
10	<sup>22</sup> Ti	0.46	40	<sup>73</sup> Ta	1 × 10 <sup>-3</sup>
11	<sup>17</sup> Cl	0.19	...	...	...
12	<sup>25</sup> Mn	0.09	44	<sup>62</sup> Sm	6 × 10 <sup>-4</sup>
13	<sup>15</sup> P	0.08	...	...	...
14	<sup>6</sup> C	0.08	65	<sup>80</sup> Hg	2 × 10 <sup>-4</sup>
15	<sup>16</sup> S	0.03	...	...	...
16	<sup>7</sup> N	0.03	69	<sup>47</sup> Ag	1 × 10 <sup>-5</sup>
...	...	...	...	...	...
21	<sup>24</sup> Cr	0.02	71	<sup>46</sup> Pd	1 × 10 <sup>-6</sup>
...	...	...	...	...	...
24	<sup>28</sup> Ni	0.01	74	<sup>78</sup> Pt	5 × 10 <sup>-7</sup>
25	<sup>29</sup> Cu	0.01	75	<sup>79</sup> Au	5 × 10 <sup>-7</sup>
...	...	...	...	...	...

レアメタルである  
MgとTi  
は資源は  
多い

コモンメタルである  
Cu, Zn, Pb  
は資源は  
少ない

74 <sup>78</sup>Pt 5 × 10<sup>-7</sup>  
75 <sup>79</sup>Au 5 × 10<sup>-7</sup>

## 金属あるいは合金として生産される金属の生産量

金属	世界生産量 (t / y・world)	国内消費量 (t / y)	価格(概数) (yen / t)*	世界市場規模 (10 <sup>6</sup> yen / y・world)*	リサイクル率 (%) *
Fe	800,000,000	100,000,000	35,000	28,000,000	38
Al	23,000,000	4,000,000	190,000	4,400,000	55
Cu	14,000,000	1,300,000	180,000	2,700,000	36
Ti	54,000	15,000	1,500,000	81,000	50
Ag	29,000	4,000	17,000,000	500,000	12
Au	1,100	360	1,100,000,000	4,500,000	23
Pt	150	44	1,700,000,000	260,000	10
Rh	26	5	4,000,000,000	100,000	17

PGMの生産量は量産金属と5~6桁異なる

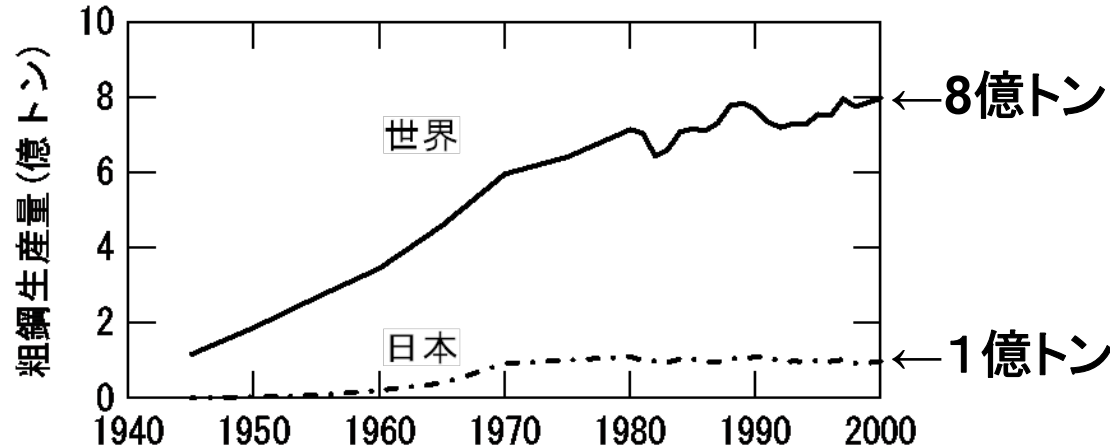
↑現在はもっと高い

※ 参考値

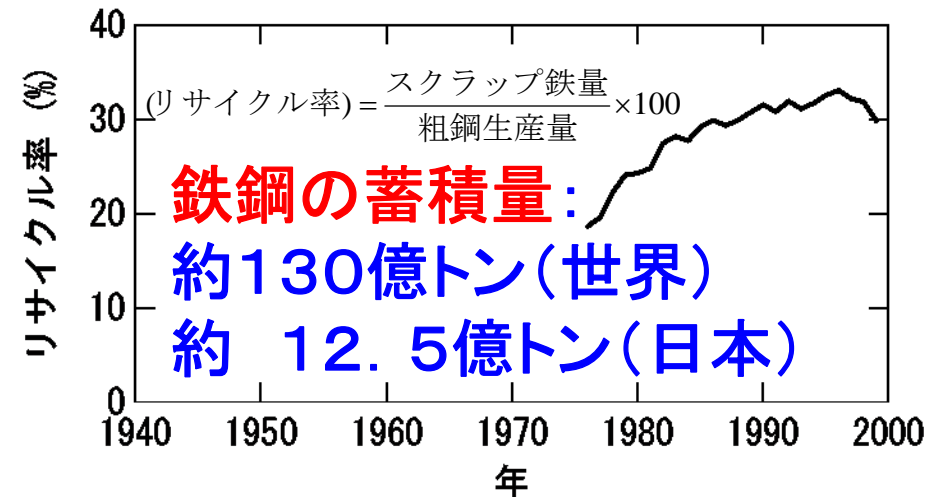
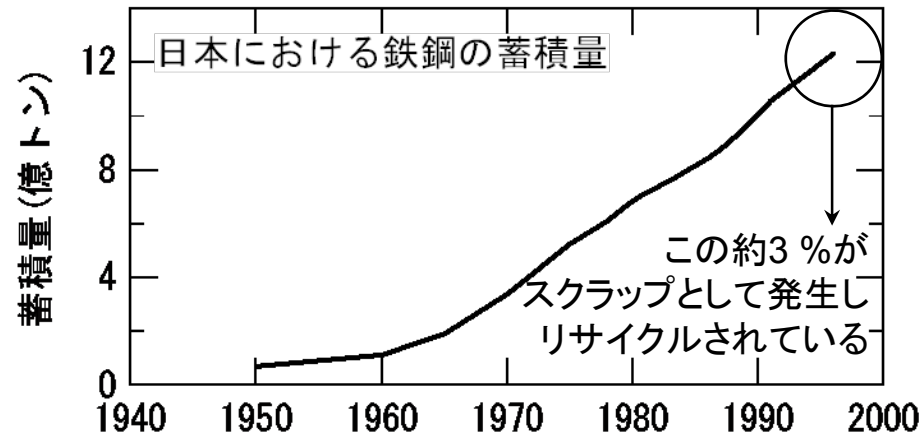


# 鉄鋼の生産量とリサイクル率

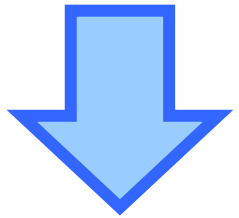
# Fe



最近是中国などのBRICs諸国の生産が増えたため年**10億トン**以上生産されている。



主要金属の  
生産量の推移



鉄鋼の生産量  
と考えるとよい

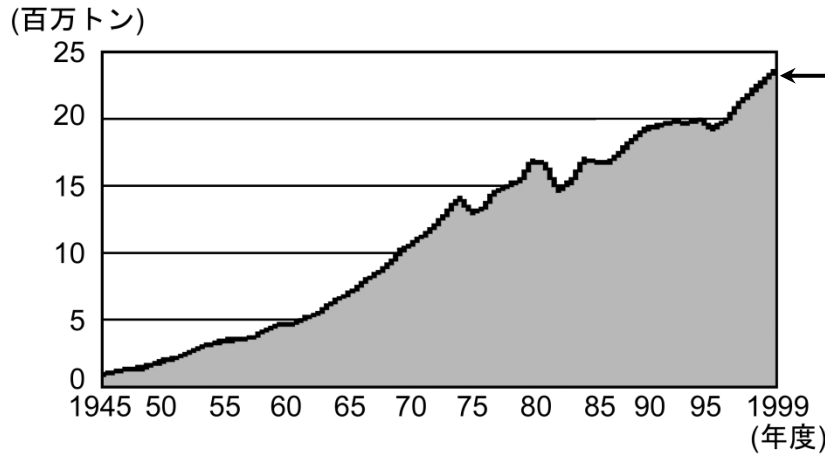
最近は、  
年間約10億トン  
の鉄鋼が  
生産されている

期間	生産量(億トン)
文明の夜明け～1750	0.25
1751～1800	0.1
1801～1850	1
1851～1900	9
1901～1950	40
1951～1960	27
1961～1970	46
1971～1980	64
1981～1990	72
1991～2000	75
合計	<b>鉄鋼の累積生産量 : 約330億トン</b>

# アルミニウムの生産量と用途

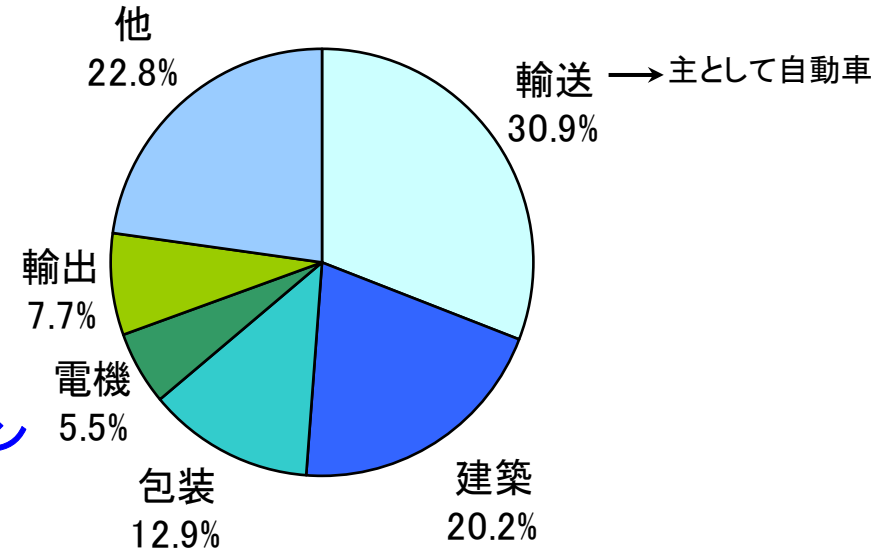
Al

(a) 世界のアルミ生産量の推移(新地金の生産)



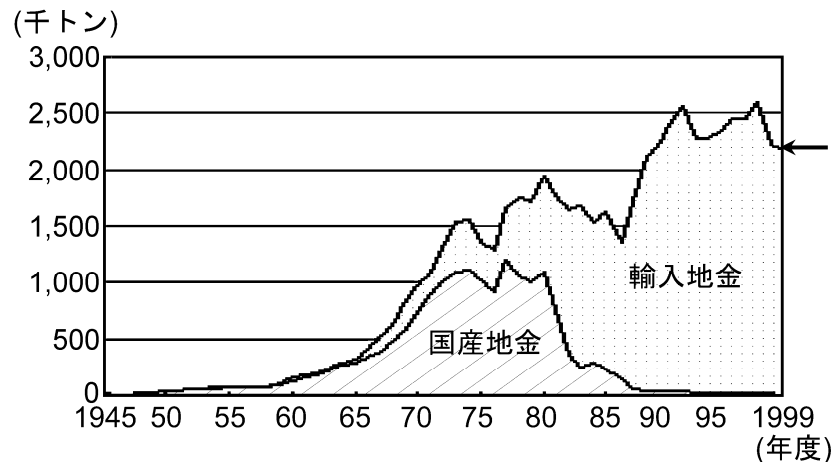
← **2,300万トン**...実際の消費量は  
**3,000万トン以上**

(c) 日本のアルミ用途別構成(1999年度)



消費量は年間400~500万トン  
(約200万トンがリサイクルされている)

(b) 日本の新地金供給の変遷



← **220万トン**

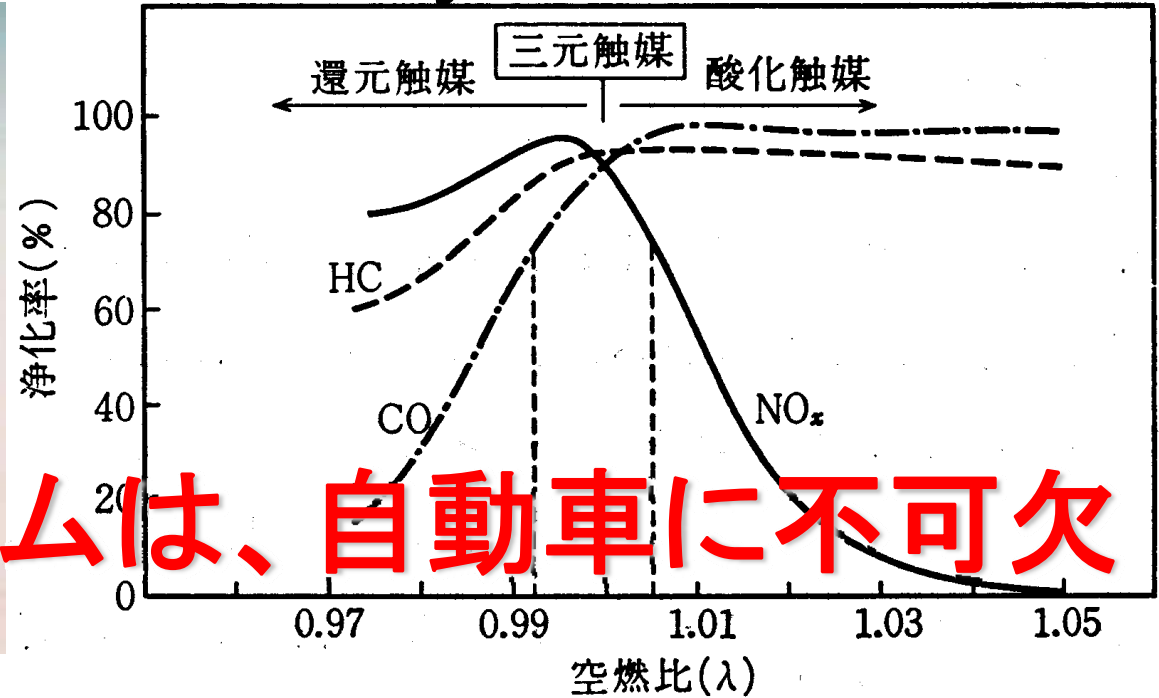
レアメタルといっても、  
年間、  
10万トン生産されているチタン(Ti)から、  
200トンしか生産されていない白金(Pt)、  
さらに、  
40トンしか生産できない  
ロジウム(Rh)やルテニウム(Ru)などの  
白金の副産物など、  
多種多様であるが、ここでは、  
最近、需要が増加し、注目が集まっている  
白金族金属(PGM)について紹介する



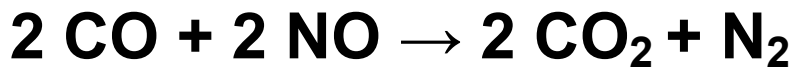
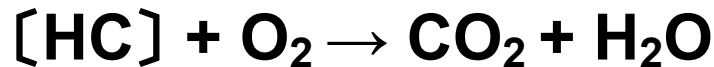
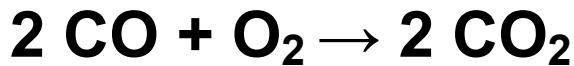
# 触媒用レアメタルの資源、製錬、リサイクル

## 自動車触媒外観

## Component of Automotive Catalyst



白金やロジウムは、自動車に不可欠



Pt, Rh, Pd are essential  
for automotive catalyst

貴金属の科学 応用編、田中 清一郎監修、  
田中貴金属工業(株)発行、(1985), p263、264.

/Platinum Metals Review, 1981, 25, (1)

18, ©Johnson Mttthey

# 金属の価格

→今は全ての金属が高騰している。

白金	Pt	3560円/g
金	Au	1760円/g

貴金属、  
とくにPtの価格は、  
他の金属に比して  
桁違いに高い

パラジウム	Pd	900円/g
銀	Ag	30円/g

---

銅	Cu	520円/kg
アルミニウム	Al	280円/kg
亜鉛	Zn	220円/kg
鉛	Pb	160円/kg
鋼材	Fe	60~80円/kg

Ptの価格は  
鉄鋼の60,000倍！

2005. 11  
日本経済新聞より

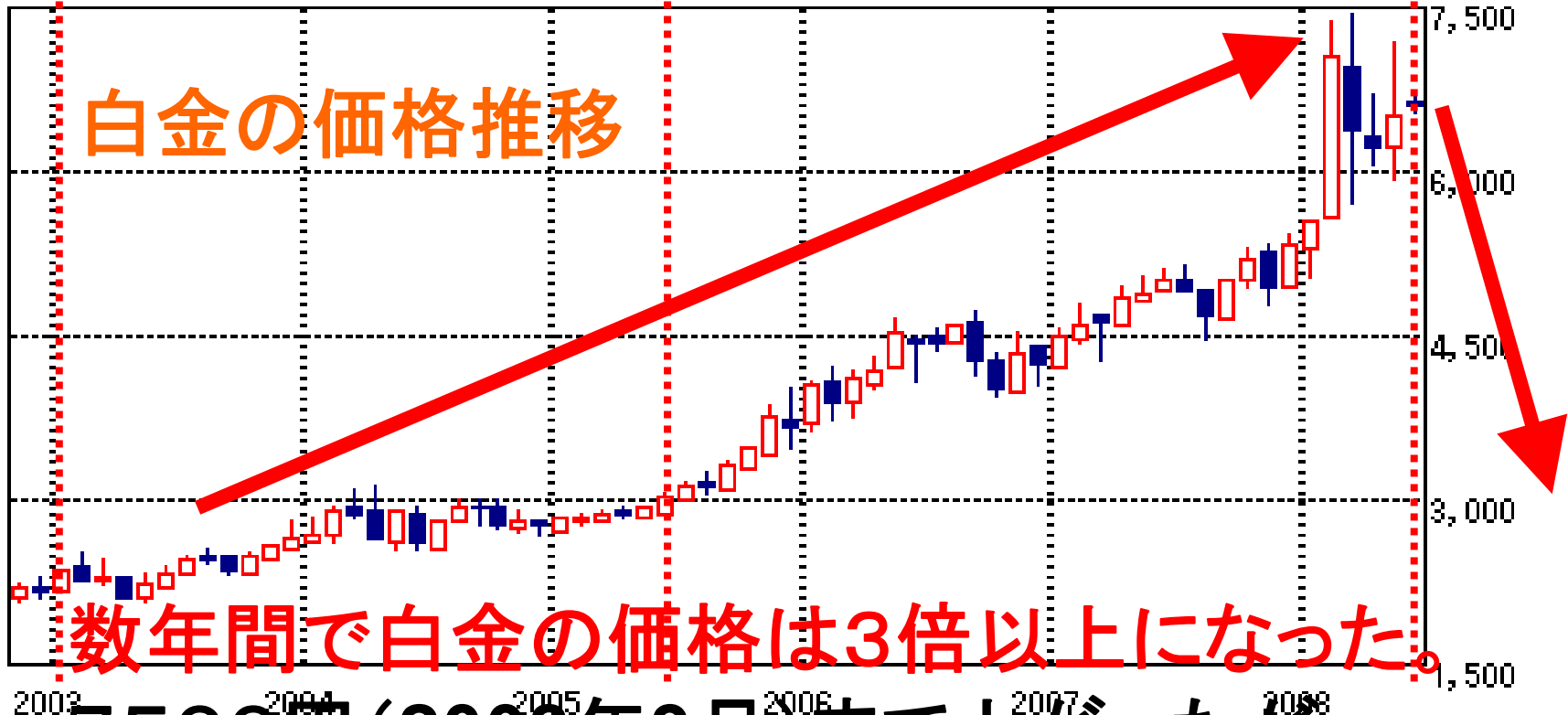
# 価格が大きく変動するのもレアメタルの特徴：

2000円／g

3000円／g

>6000円／g

東京白金 month (2002/11/01～2008/06/01)



7500円(2008年3月)まで上がったが、  
最近は、3000円台に急落した。

画像は岡地株式会社HPより引用

<http://www.okachi.co.jp/market/commodity/domestic/platinum/index.html>



ロジウム(Rh)  
や  
ルテニウム(Ru)  
は  
白金  
(プラチナ:Pt)の  
鉱石から  
副産物として  
生産される

### 供給

### 用途別需要

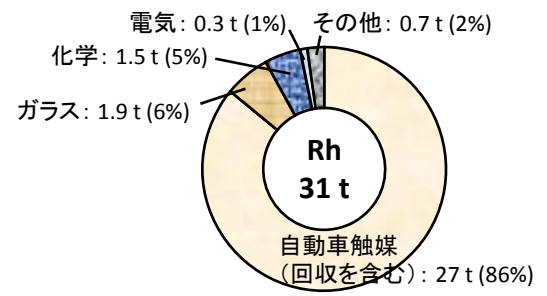
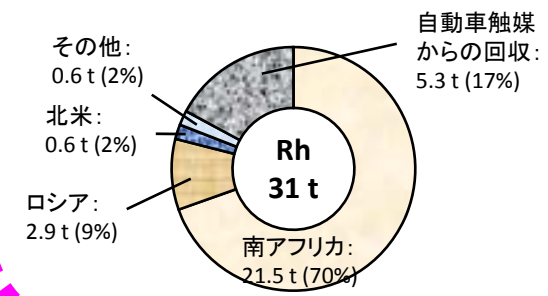
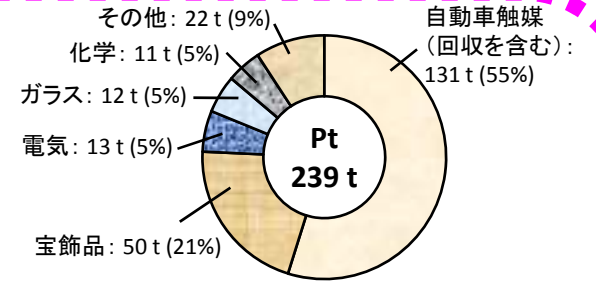
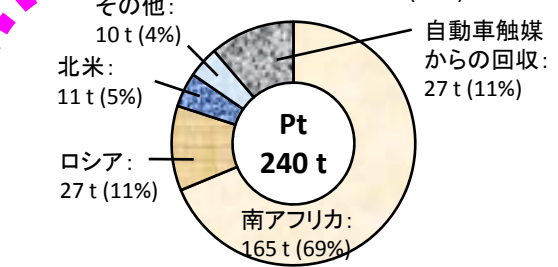
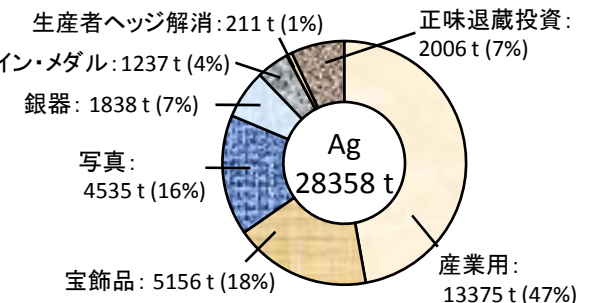
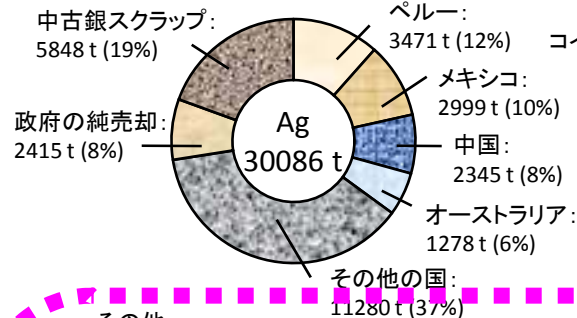
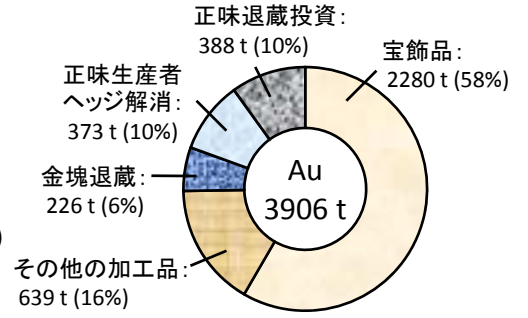
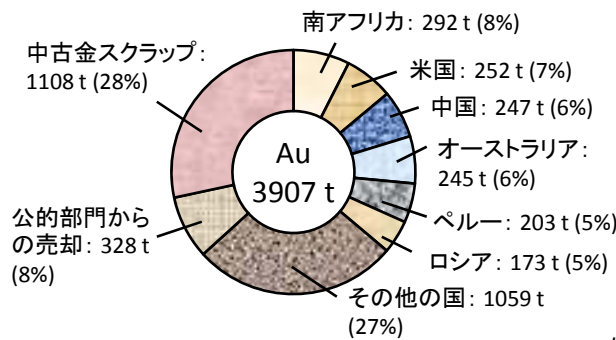
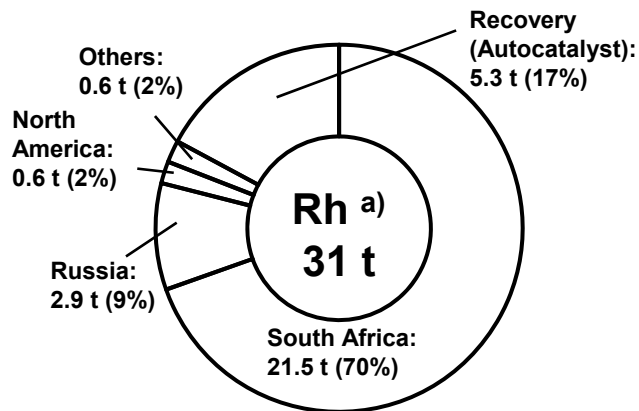


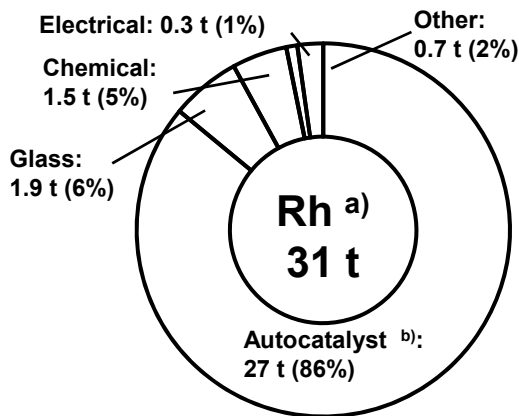
図1 貴金属の需要と供給 (Au, Ag, Pt, Rh) (参考値 2006年)

Johnson Matthey Plc. : Platinum 2007 (2007)  
Gold Fields Mineral Services Ltd. : Gold Survey 2007 (2007)  
Gold Fields Mineral Services Ltd. : World Silver Survey 2007 (2007)

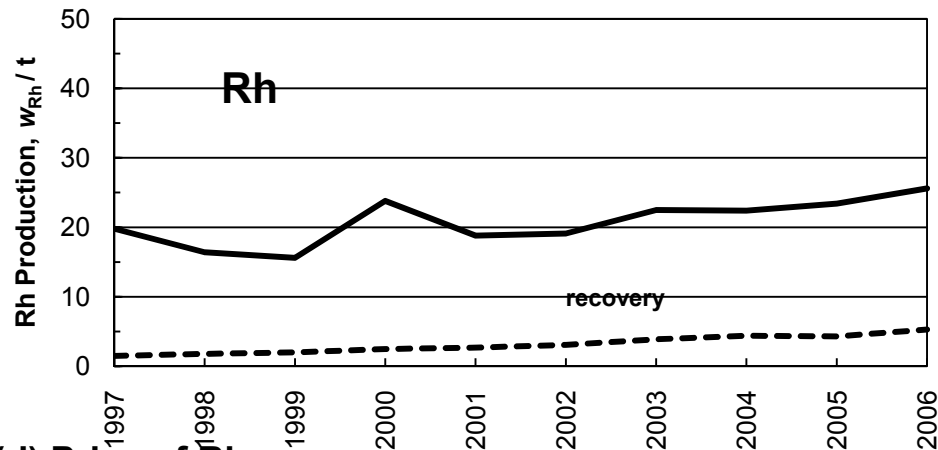
### (a) Supply source of Rh



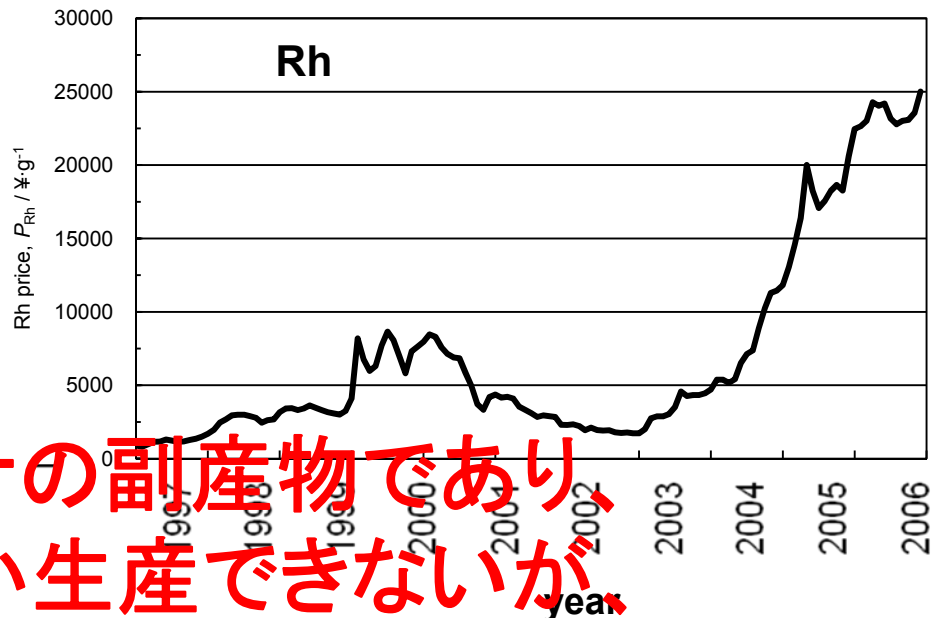
### (b) Demand of Rh (application)



### (c) Production amount of Rh



### (d) Price of Rh



**ロジウム(Rh)は、プラチナの副産物であり、年間30~40トン程度しか生産できないが、自動車産業に不可欠であるため、1g数万円もする**

a) Data for the year 2006 (reported value)

b) Data including recovery

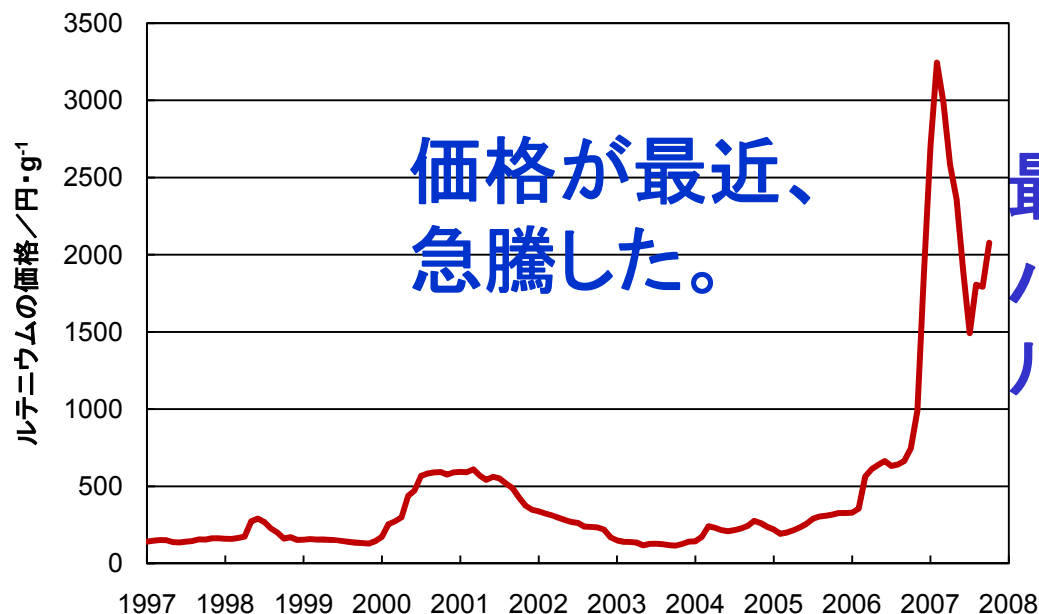
reference:

Johnson Matthey Plc. : *Platinum 2007* (2007)

岡部 徹, 中田 英子: '触媒', Vol.50, pp.350-357

Fig. Current status of rhodium (Rh).

# ルテニウム (Ru) の用途と価格変化



価格が最近、急騰した。

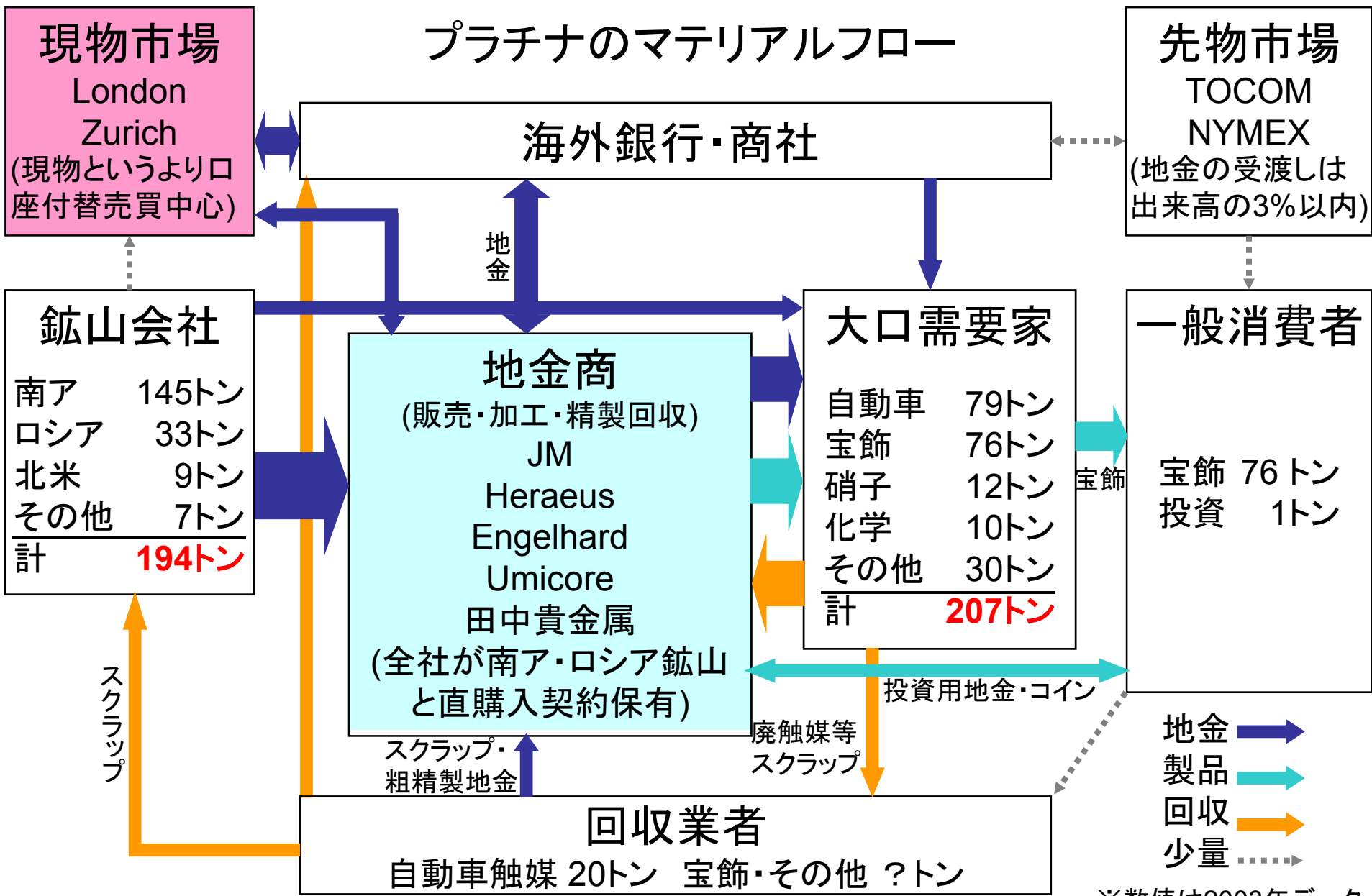
最近、パソコンやDVDなどのハードディスクの記録層にも、ルテニウムが使われる

ルテニウム (Ru) は、プラチナの副産物であり、年間40トン程度しか生産できない。

## 【主な用途】

電子材料 (68%、電極、チップ抵抗など)、  
磁性材料 (ハードディスクの記録層)、  
触媒材料 (チタン電極などに塗布)、

# プラチナのマテリアルフロー



※数値は2003年データ

図2-42 プラチナのマテリアルフロー

触媒や電極として重要な  
PtをはじめとするPGMsは  
枯渇するののか？  
資源はどうなっているののか？

(価格はもっと上がるののか？)

リサイクルは出来るののか？

## Transition and prediction of Pt demand

Pt

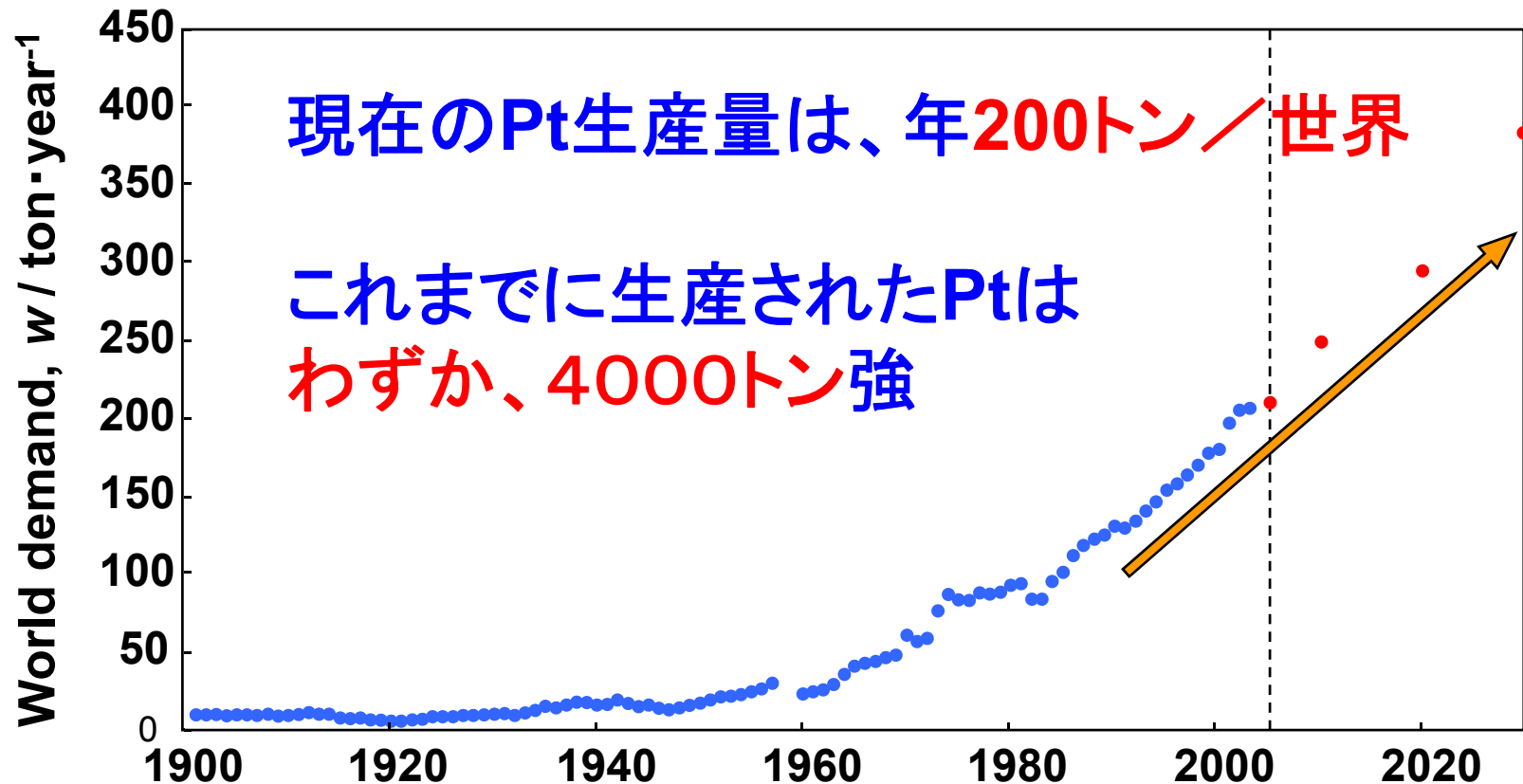


Fig. Transition and prediction of world demand of platinum from 1900 to 2030.

The demand for Pt is increasing because of tightening environmental regulations.  
The development of fuel cells may also increase the Pt demand.

\*Johnson Matthey PLC: *Platinum 2004* (2004).

\*\*U.S. Bureau of Mines: *Minerals yearbook*. etc...

# 貴金属の生産量と価格(2004)

	世界生産量(t/year)	価格(¥/g)
Ag	18,700	33
Au	3,851	1,900
Pt	202	3,685
Pd	237	760
Rh	23	10,508
Ru	16	317
Ir	3	690
Os	No Data	No Data

白金族金属

今は、さらに倍以上に価格が高騰しているものが多い！

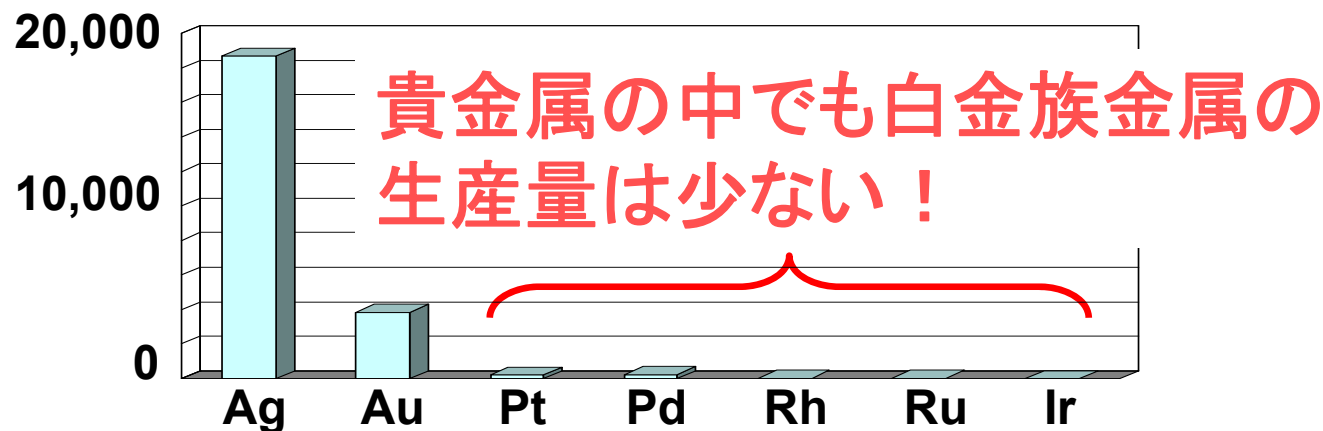


Fig. Production of precious metals in the world.

\*Johnson Matthey PLC: *Platinum 2004* (2004).

\*\*Gold Fields Mineral Services Ltd.: *Gold Survey 2005* (2005).

\*\*\*U.S. Bureau of Mines: *Minerals yearbook* (2003).

# 鉄と白金の既採掘量の比較(金属ベース)

# Pt

Pt既採掘量:  
約4,200トン

→ 約200m<sup>3</sup>



25mプールの約半分

# Fe

Fe蓄積量(世界):  
約130億トン

→ 約17億m<sup>3</sup>

注:  
鉄鋼の累積生産量:  
約330億トン  
=約41億m<sup>3</sup>  
(世界:2000年まで)

東京ドーム約1300杯分

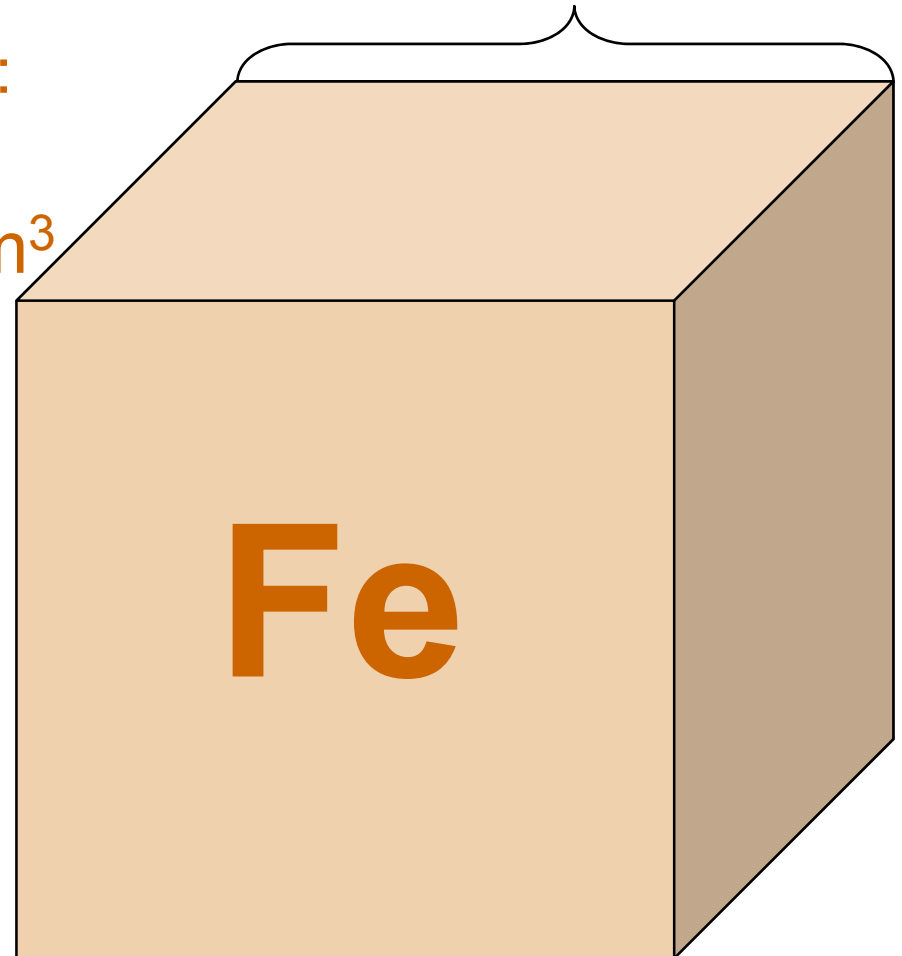


# 鉄と白金の既採掘量の比較(金属ベース)

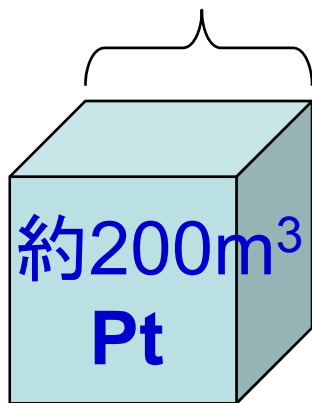
Pt  
 既採掘量:  
 約4,200トン  
 → 約200m<sup>3</sup>

Fe  
 蓄積量(世界):  
 約130億トン  
 → 約17億m<sup>3</sup>

1.1 “km”角の立方体



6 “m”角の立方体



# 鉄と白金の既採掘量の比較(鉍石ベース)

Pt

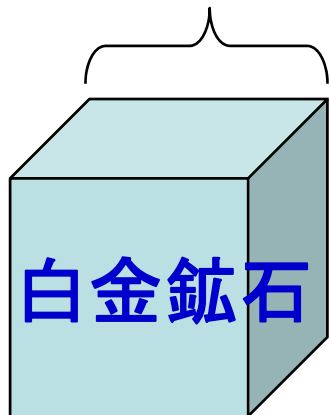
既採掘量：約4,200トン

白金鉍石の品位：**5ppm**

掘り出した鉍石の体積

→ 約4億 $m^3$

約**0.7km**角の立方体



白金鉍石は  
露天掘りではないので  
実際の**岩石の**  
**採掘量はもっと多い**

Fe

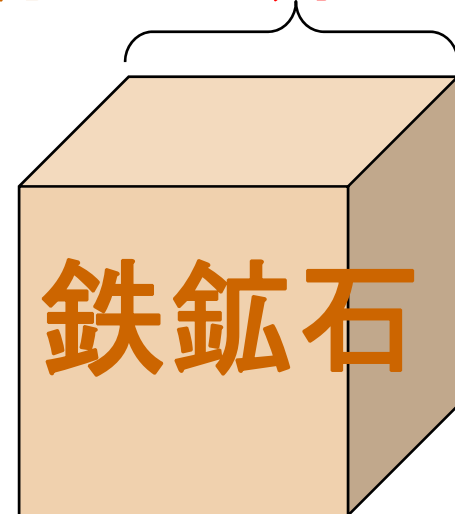
蓄積量：約130億トン

鉄鉍石の品位：**60%**

掘り出した鉍石の体積

→ 約100億 $m^3$

約**2.1km**角の立方体



希少なレアメタルの代表格である  
白金 (Pt) の生産量や  
価格の高騰や変動を考えると  
枯渇するのでは？

と思う人が多い

Q.

PGMsは枯渇するの  
か？  
資源はどうな  
っているの  
か？

A.

当分、枯渇の心配はない

南アフリカに35,500トン  
全世界で 47,570トン の白金資源が確認されている

注：現在の世界生産量は200トン

Q.

PGMsは枯渇するののか？

資源はどうなっているののか？

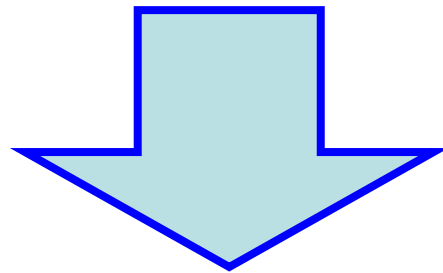
A.

当分、枯渇の心配はない。しかし、

採掘や製錬は、環境負荷が大きく、

また多量のエネルギーを消費する

Ptの生産は、年200トン程度であるが、  
採掘や製錬には、その**何百万倍の物量**が  
移動し、エネルギーを消費する



貴金属の生産は、地球環境に対する負荷は  
大きい → リサイクルは極めて重要

# PGMの需要と生産量 と リサイクルの現状

# Precious metals

## Chemical industry

(Pt, Pd, Ru, Au, etc.)

- Textile industry



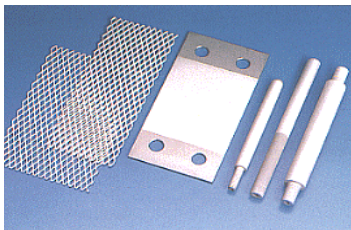
[http://www.nippon-nz.com/japanese/jigyo/pdct\\_220.html](http://www.nippon-nz.com/japanese/jigyo/pdct_220.html)

- Thermocouples



<http://www.ishifuku.co.jp/Products/Industrial/intro7.htm>

- Infusible electrodes



<http://www.ishifuku.co.jp/Products/Industrial/intro7.htm>

## Catalysts (Pt, Pd, Rh, etc.)

- Automotive exhaust catalyst

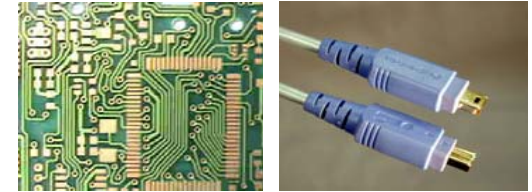


- Petrochemical industry



<http://www.ne-chemcat.co.jp/kagaku/noblemetal/index.html>

## Semiconductors, electronic components (Au, Ag, Pd, Ru, etc.)



<http://www.kkmisuzu.co.jp/>

<http://www.users-side.co.jp/catalog/>

## Laboratory instruments

(Pt, Ir, Au, etc.)



<http://www.inter-g7.or.jp/tanaka/products/products.html>

## Dental alloys (Au, Pt, Pd, etc.)



<http://www.tokuriki-kanda.co.jp/shika/index.html>

## Jewelry (Au, Pt, Ag, Rh, etc.)



<http://www.ishifuku.co.jp/Jewelry/>

## Assets, investments (Au, Pt, etc.)



<http://www.mki.co.jp/mitsuiPR/memberlist/kinzoku/kinzoku3.htm>

著作権処理の都合上、削除いたします

<http://www.tanaka.co.jp/eagle/eagle02.html>



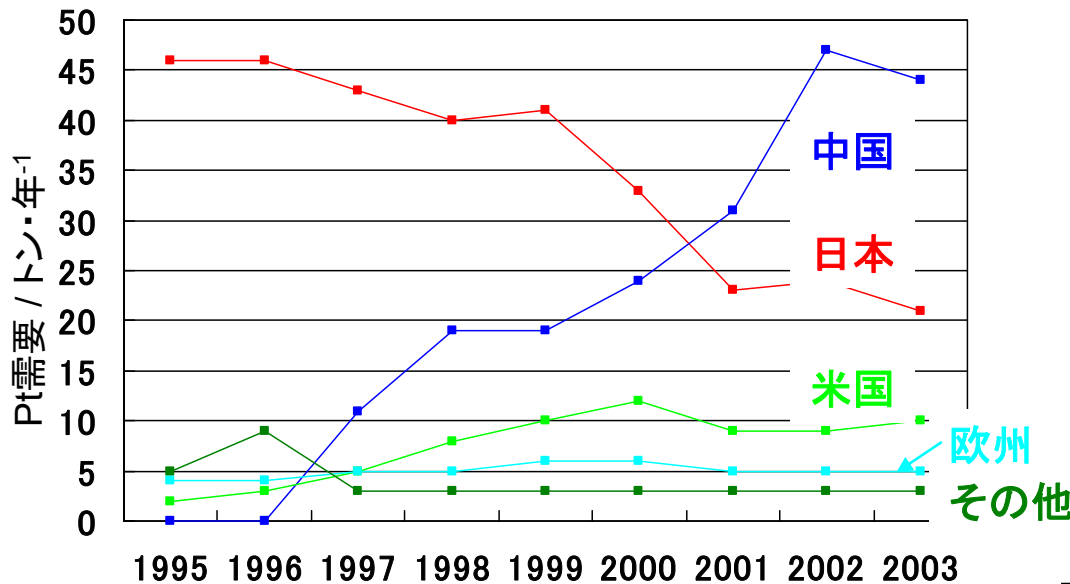
# 一人あたりのPt需要

Pt

	人口(2003年)	Pt需要(2003年)	Pt需要/人
世界	63億 100万人	202.7トン	0.03g/人・年
日本	1億2614万人	41.0トン	0.33g/人・年

約10倍

## 宝飾品需要動向



画像提供: 田中貴金属ジュエリー株式会社

結婚指輪の平均  
Ptグラム数 3g

→ メンスキーリーフ約1トン分

# Pt&Pd

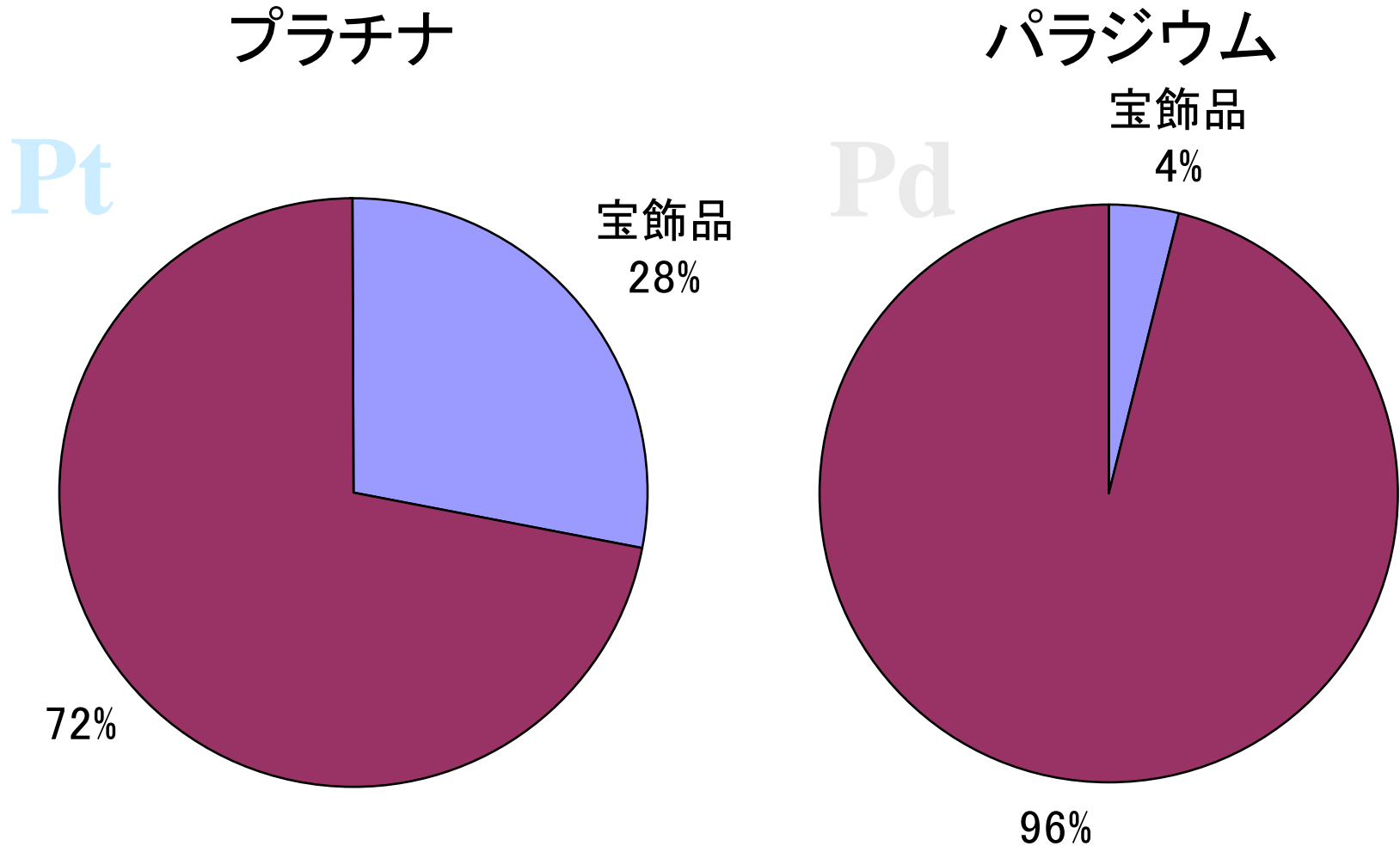
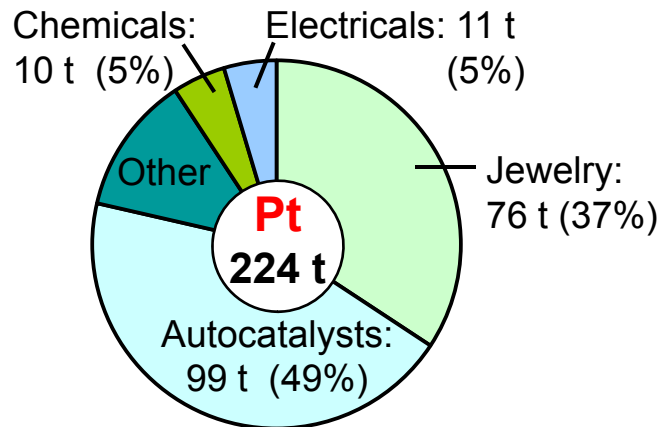


図2-13 プラチナ、パラジウム世界需要に占める宝飾品分野比率(2003年実績)

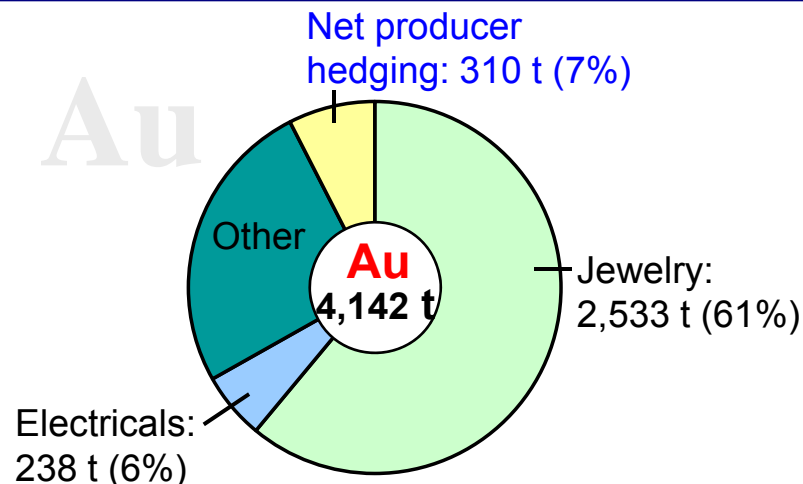
# 世界と日本のPGM需要比較 Pt&Au

## 世界

Pt

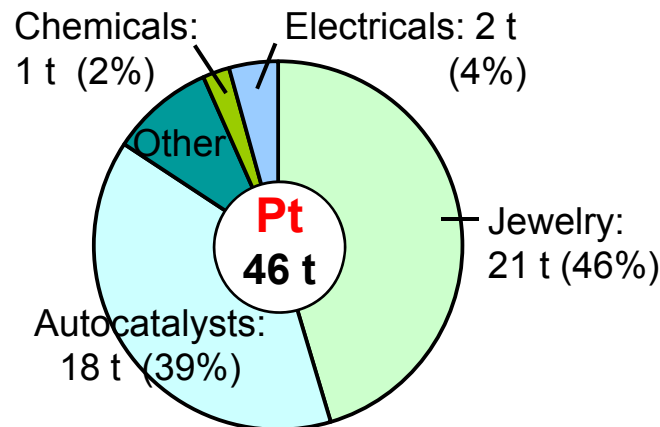


Au

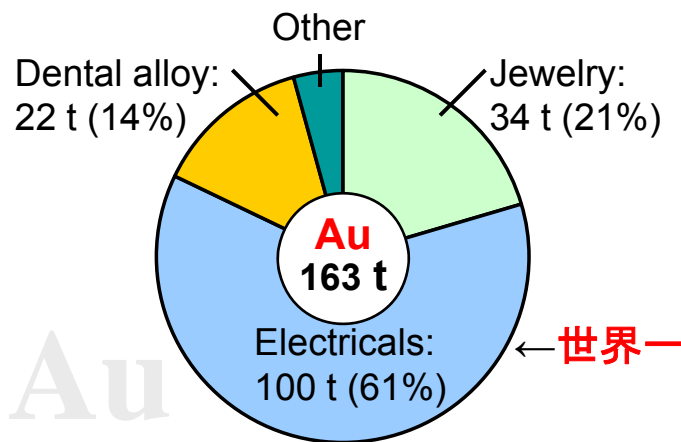


## 日本

Pt



Au



日本人の貴金属の使い方は世界とは異なる

\*Johnson Matthey PLC: *Platinum 2004* (2004).

\*\*Gold Fields Mineral Services Ltd.: *Gold Survey 2004* (2004).

廃車から回収される廃触媒の比率が約60% (世界)  
→ 日本の廃触媒回収率は70% (推算値)

回収工程でのPGM採取率が90%とすると、

PGMのリサイクル率は55% (世界:  $60\% \times 90\%$ )  
63% (日本:  $70\% \times 90\%$ )

と推定される。

※リサイクル率を耐用年数前の自動車排ガス触媒製造に使われたプラチナに対し、耐用年数後に自動車外ガス用の廃触媒から回収されたプラチナ量の比率として定義

自動車の現在の耐用年数: 13年

## Pt associated with automotive catalysts

→白金の(みかけの)リサイクル率は低いが、これは白金の需要と生産が急激に増大しているためである。

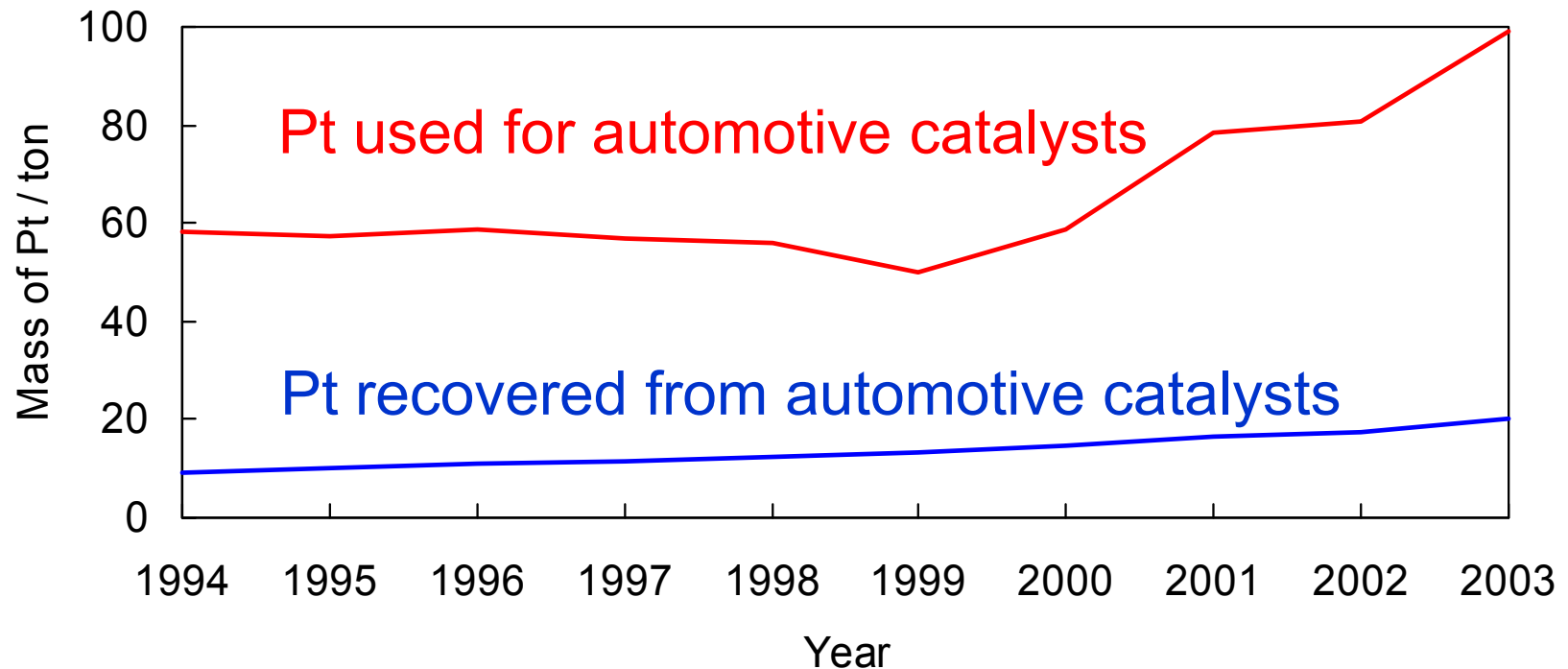


Fig. The demand for Pt for automotive catalysts and the amount of recovered Pt from automotive catalyst scrap in Japan from 1994 to 2003.

## Transition and prediction of Pt demand

Pt

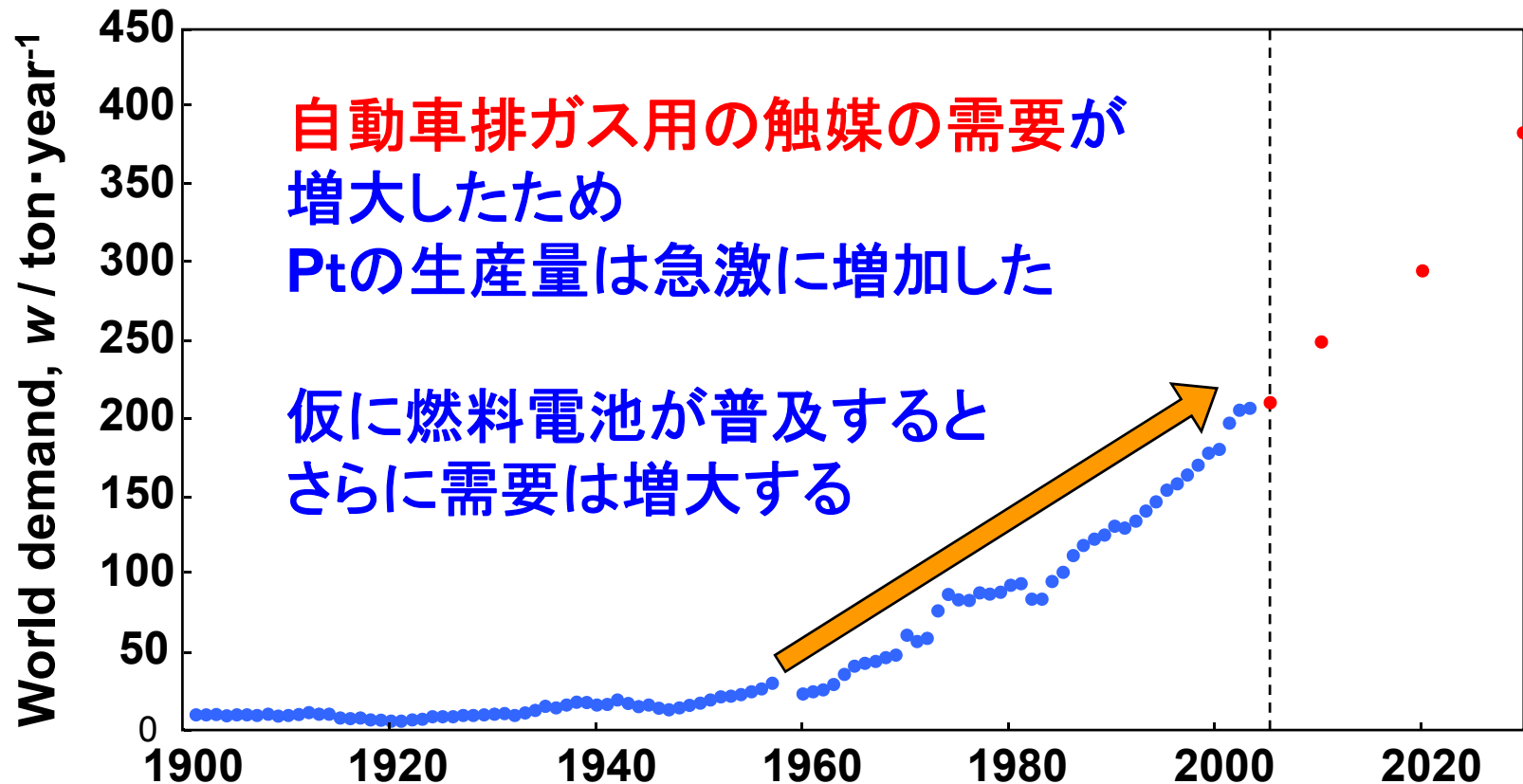


Fig. Transition and prediction of world demand of platinum from 1900 to 2030.

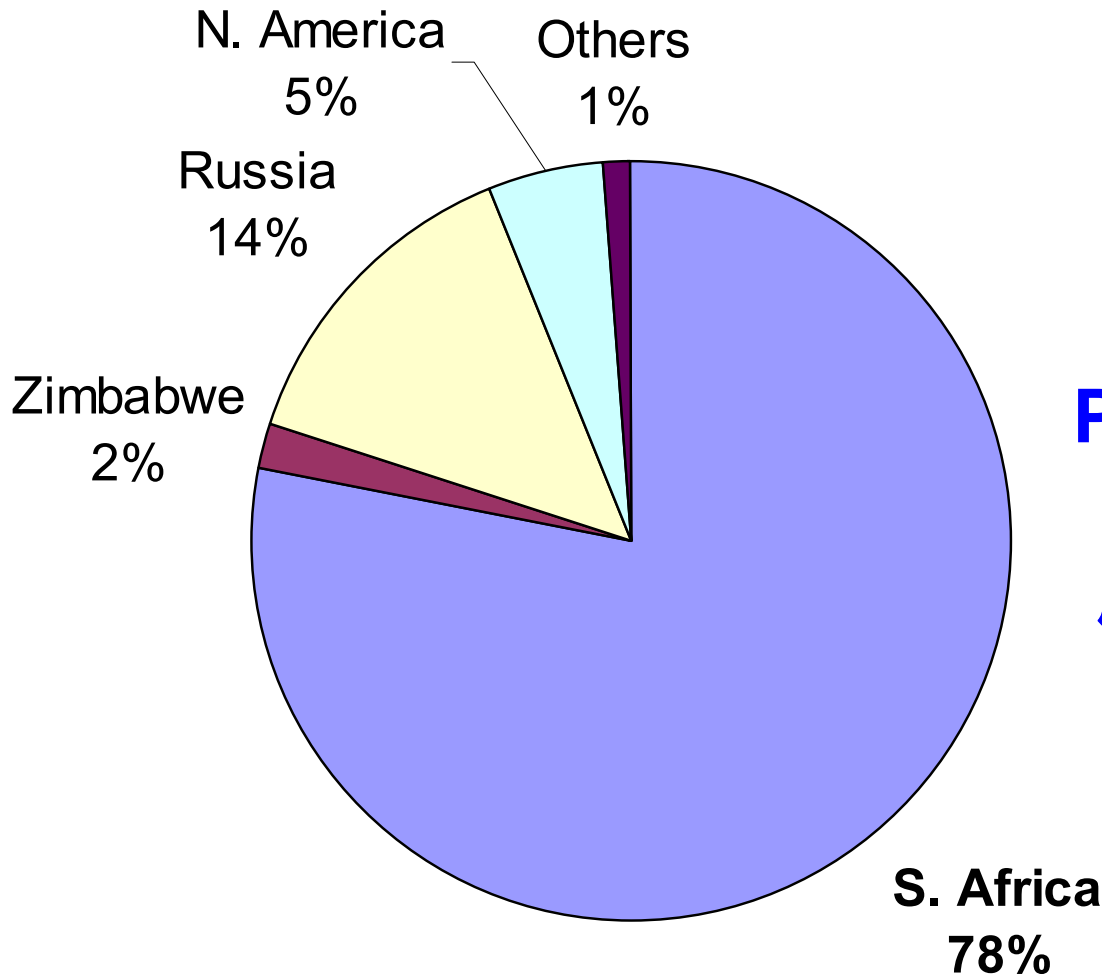
The demand for Pt is increasing because of tightening environmental regulations.  
The development of fuel cells may also increase the Pt demand.

\*Johnson Matthey PLC: *Platinum 2004* (2004).

\*\*U.S. Bureau of Mines: *Minerals yearbook*. etc...

# PGMの資源と製錬

Pt



鉑山からの  
PGMの生産は  
南アフリカが  
圧倒的である

図1-30 2003年プラチナ生産量地域別分布



## 貴金属の資源は 南アフリカ、ロシア、北アメリカに 偏在している

### Supply

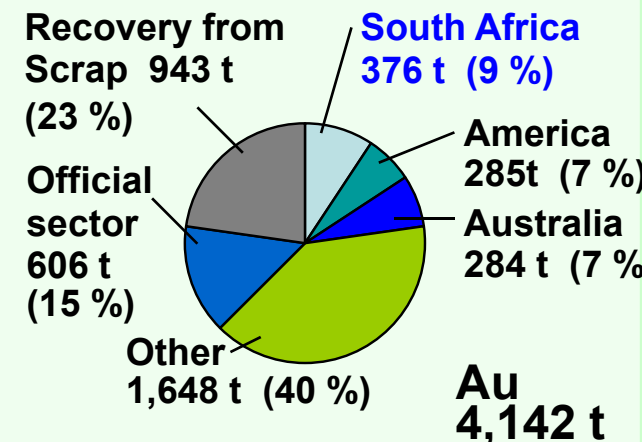
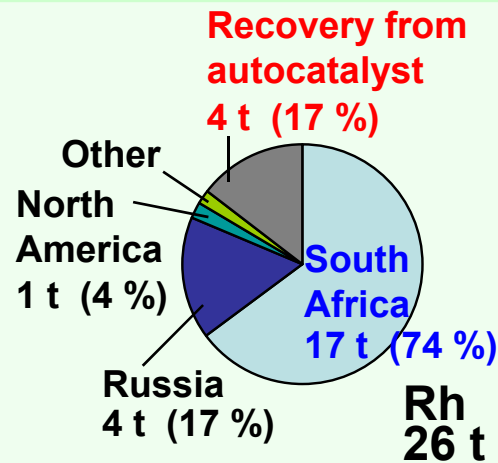
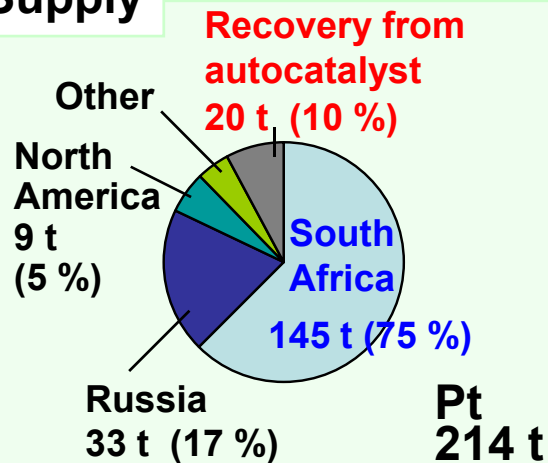


Fig. Supply and demand of precious metals in the world (2003).

# Precious metals

PGMの鉱山は世界中に存在するが、  
品位が高く採掘が容易な鉱山は  
南アフリカおよびロシアに存在する

ここに挿入されていた図表は著作権処理の  
都合上、削除いたします。

# 白金族金属の 資源や製錬・リサイクル + 南ア旅行記



東京大学 生産技術研究所  
岡部 徹

# Nile Crocodile



# White Rhinoceros





# 南アフリカ共和国



①

鉱物生産ランキング 埋蔵量  
世界シェア

鉱石生産  
世界シェア

プラチナ(白金): 1位 (88%)  
ロジウム: 1位 (88%)  
クロム: 2位 (35%)  
マンガン: 1位 (77%)  
金: 1位 (40%)

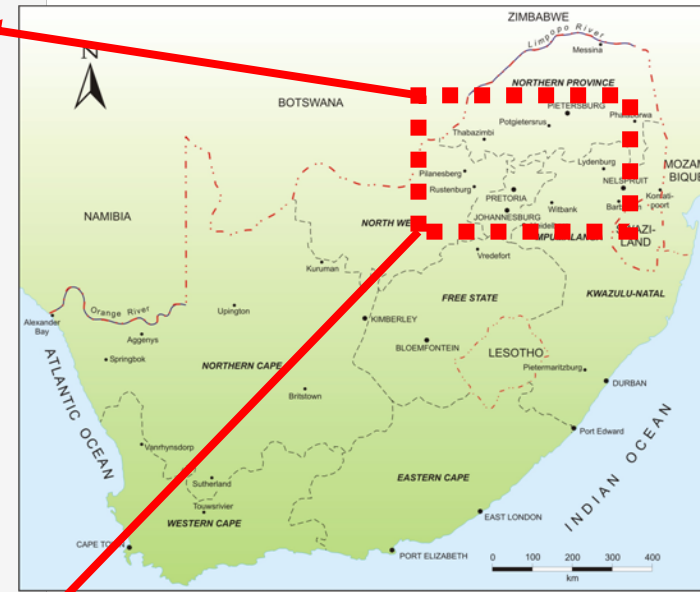
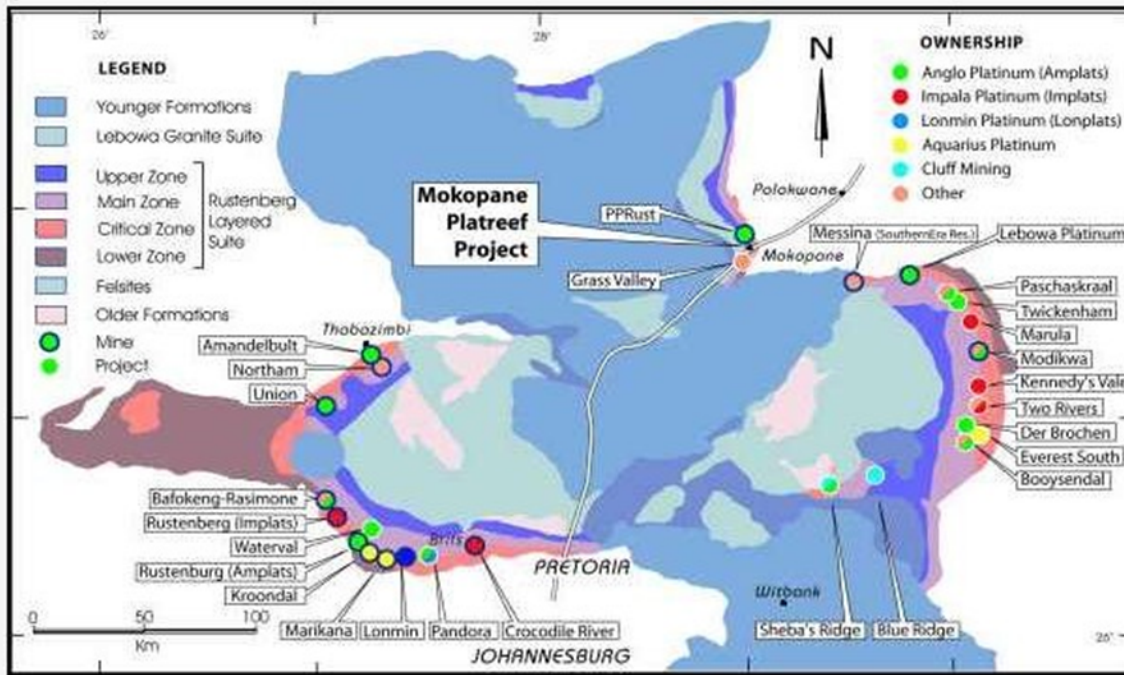
78% プラチナ鉱山  
84% の所在地  
39%  
20%  
12%

チタン鉱物: 2位 (19%)  
バナジウム: 2位 (32%)  
石炭: 6位 (5%)  
ダイヤモンド: 4位 (12%)



日本(東京)ー南アフリカ(ケープタウン)の距離: 14751km

# Mineral resources in South Africa



商業的に生産されている  
貴金属資源は南アフリカのさらに  
直径、約300kmのごく一部の  
地域に偏在している

## Minerals Industry:

Gold, PGM

Uranium

Titanium

Chrome

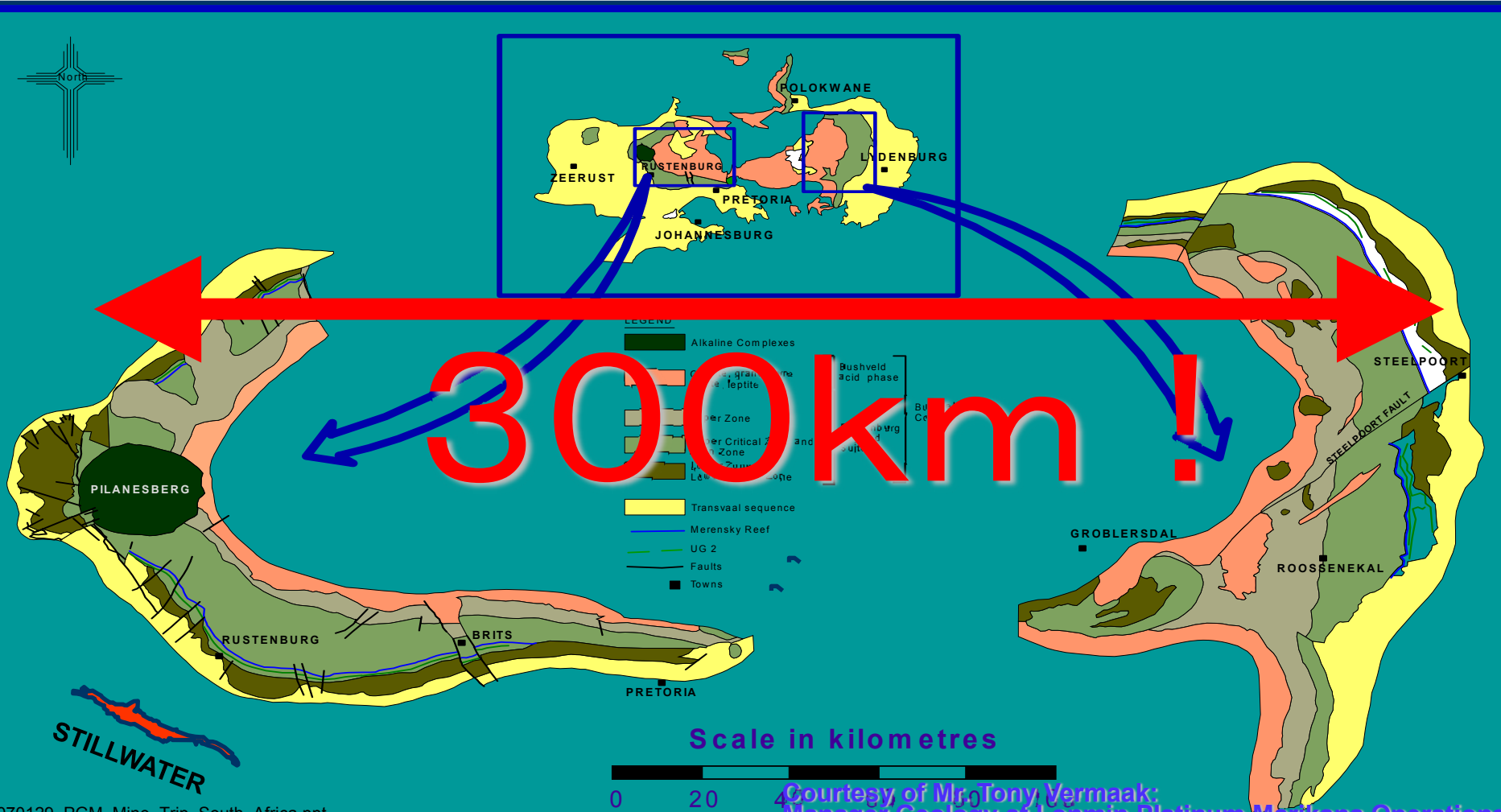
Vanadium

Fe-ore

Coal, Diamond



# 南アフリカの白金鉱山は巨大で まだまだ採掘できる



# Lonmin Platinum

## A Geological Overview of Marikana Operations

ここに挿入されていた図表は著作権処理の都合上、削除いたします。

# 2006 Monthly Production Figures

## Tons mined:

- Tons mined : Merensky - 317 000
- : UG2               - 870 000

## Head Grade:

- Merensky - 3.60 g/t
- UG2       - 5.13 g/t

- Kilograms produced - 5 500 kg**

年間60トン以上の  
PGMが生産される



Courtesy of Mr. Tony Vermaak:  
Manager Geology at Lonmin Platinum Marikana Operations  
January, 2007

# 一部の白金鉱石は 露天掘りにより採掘される

## Economic Reefs



2004 / 05 / 10

Courtesy of Mr. Tony Vermaak:  
Manager Geology at Lonmin Platinum Marikana Operations  
January, 2007

# 白金の鉱石の採掘は 地中に**垂直シャフト**や **斜坑**を掘り、採鉱している。

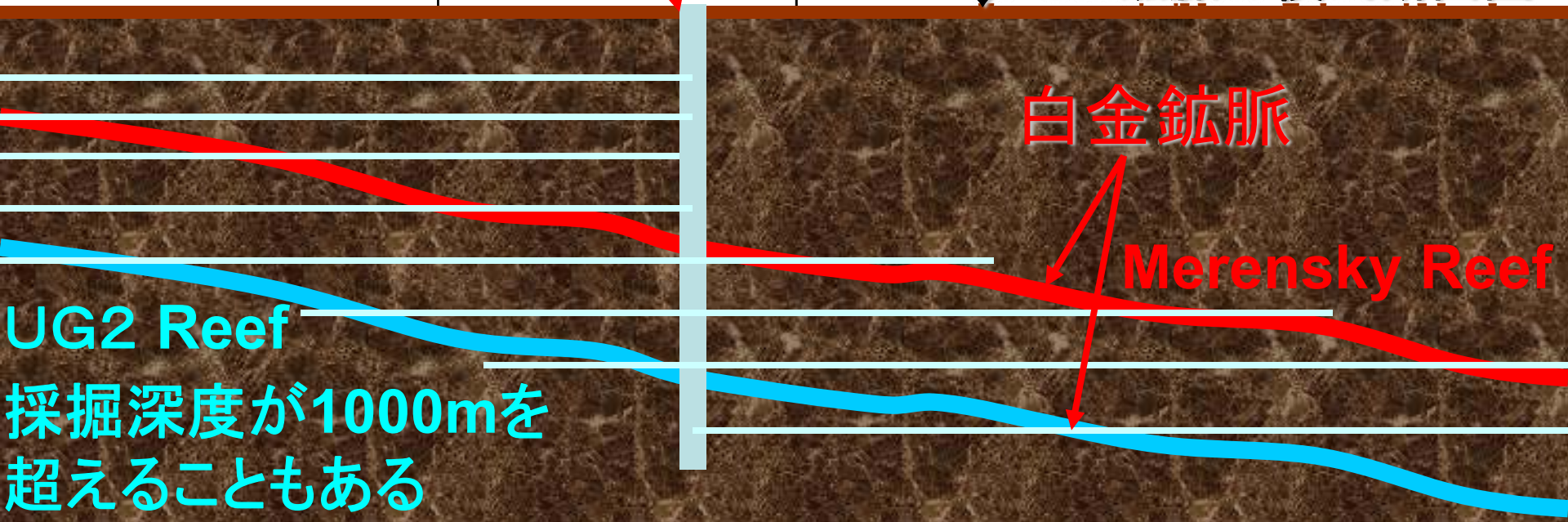
Platinum Mine

ここに挿入され  
ていた図表は著  
作権処理の都  
合上、削除いた  
します。

ここに挿入されていた図表は  
著作権処理の都合上、削除  
いたします。

↑ PGM鉱脈の断面写真

↓ PGM鉱脈の模式断面図

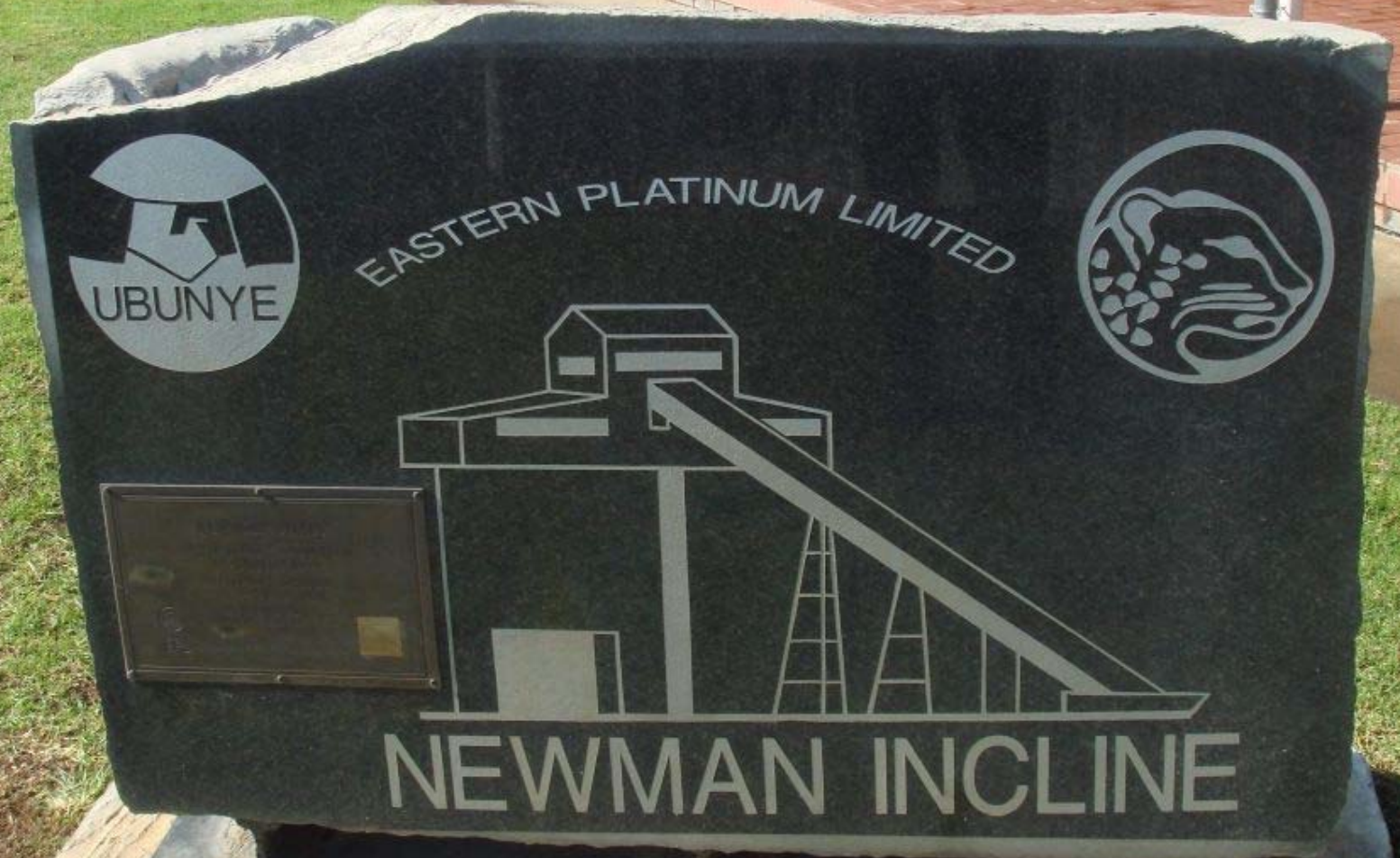


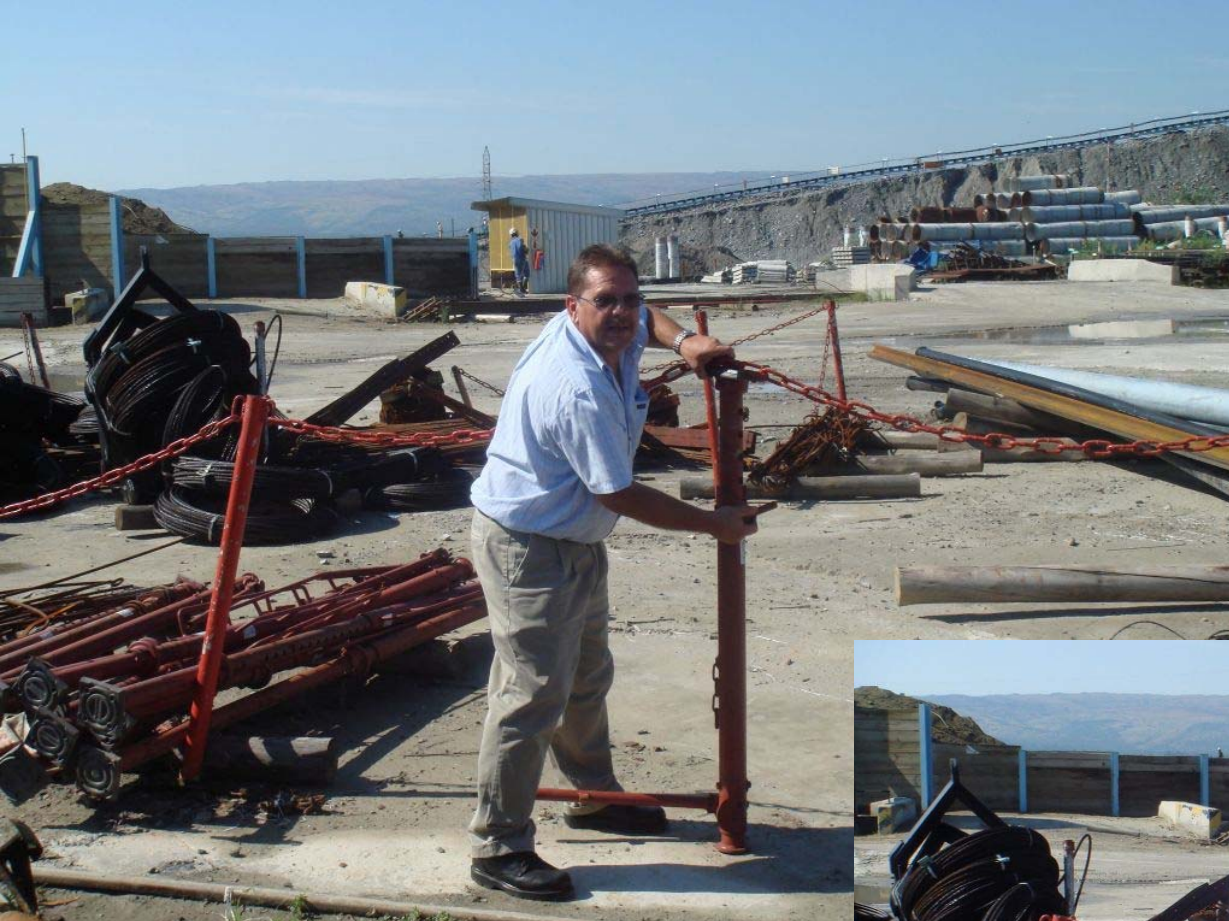
白金の鉍脈は2層（メレンスキーとUG2）  
あるので、同じ土地から個別に採鉍する

## Typical Up-dip Mining Layout

ここに挿入されていた図表は著作権処理の都合上、削除いたします。

# 白金鉱山の斜坑に突撃！





# 各種 採掘設備の 説明



普段は  
あまり人に見せない  
モノだそうです



完全装備で  
突撃準備完了



延々と続きます。




ドンドン地下へ。。。。



白金鉍石を採掘した跡です。。。



# 鉍石の採掘現場 (地下800m)



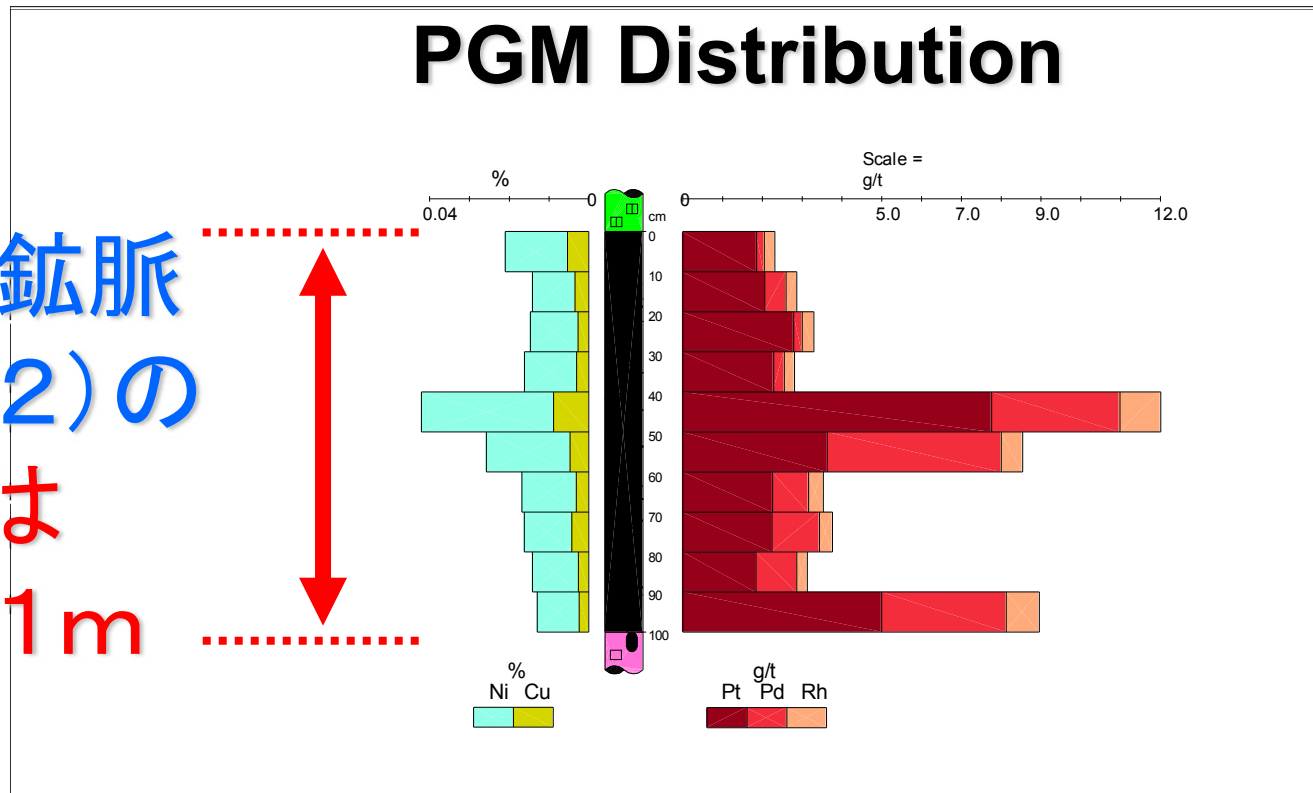
発破のためにダイナマイトを  
装填するドリル穴

プラチナの鉱脈

# 一つの層（高さ約1m）でも 垂直方向でPGM品位が大きく異なる

## UG2 Chromitite PGM Distribution

白金鉍脈  
(UG2)の  
高さは  
僅か1m



Characteristic distribution of Platinum Group Metals (PGM's)  
Ni and Cu in the middle and base of the reef

Courtesy of Mr. Tony Vermaak:  
Manager Geology at Lonmin Platinum Marikana Operations  
January, 2007

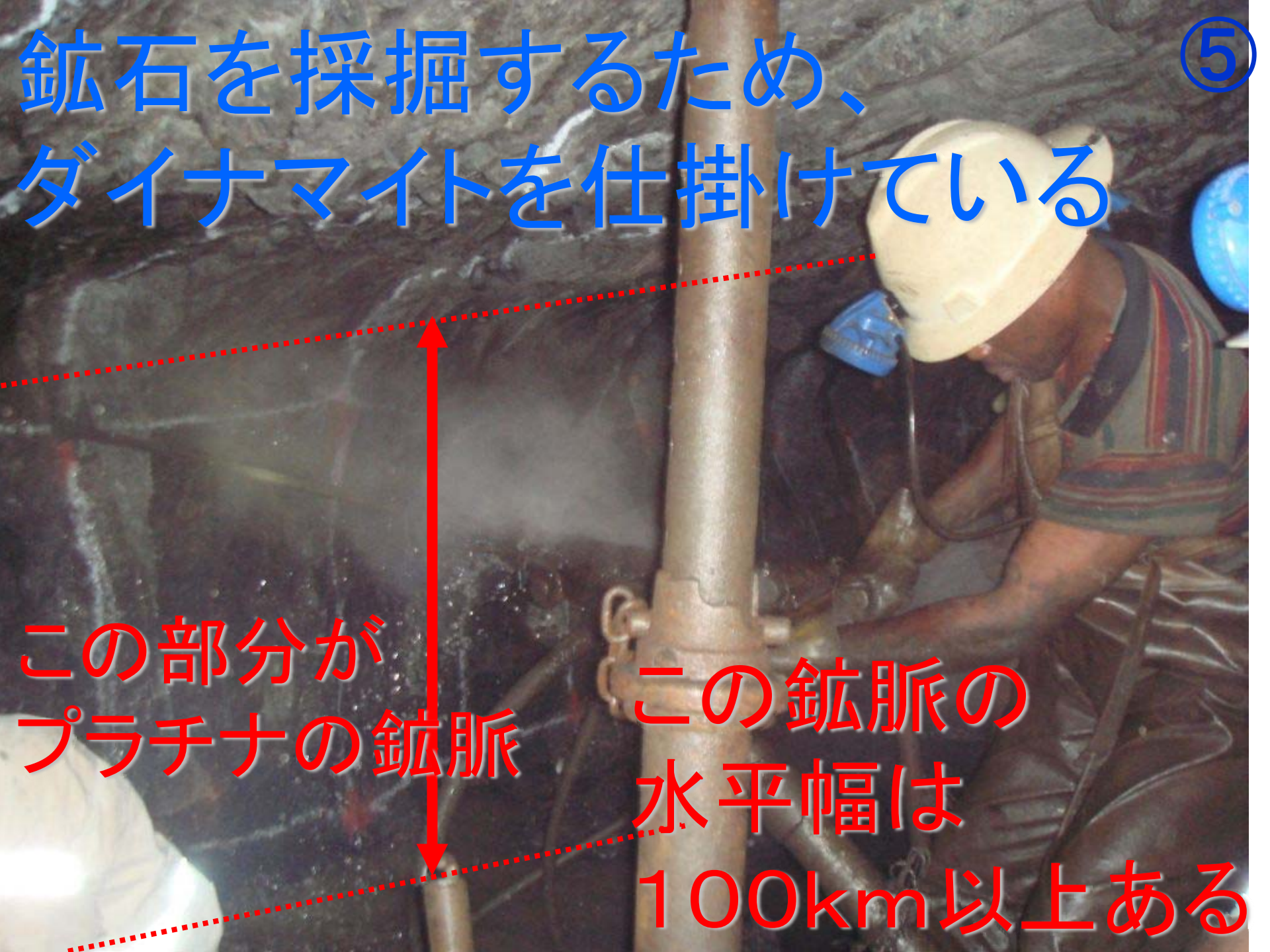




鉍石を採掘するため、  
ダイナマイトを仕掛けています

この部分が  
プラチナの鉍脈

この鉍脈の  
水平幅は  
100km以上ある



# 鉍石の採掘現場 (地下800m)

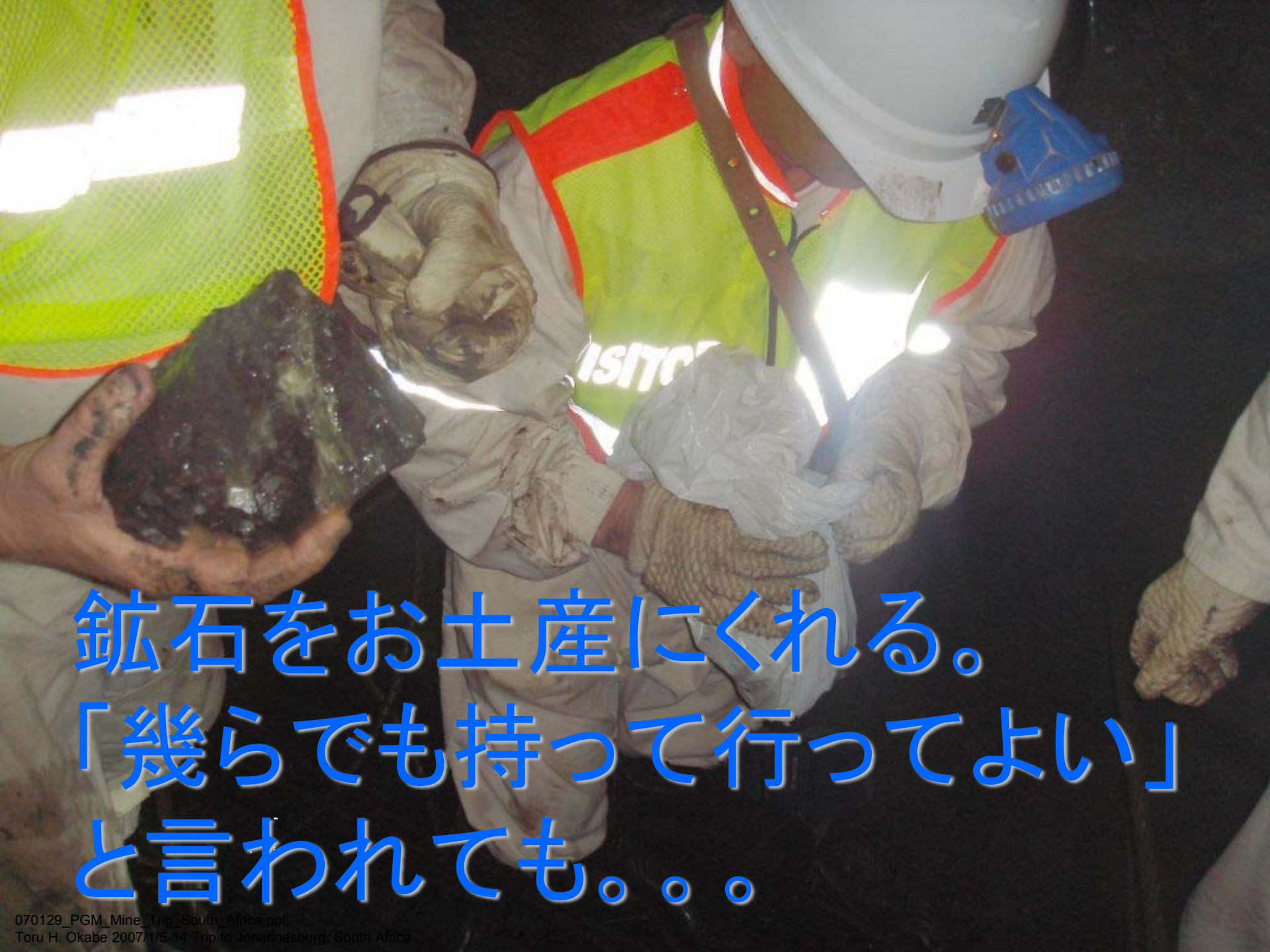


鉍石の品位は、数ppm  
→鉍石1トンに数グラムの白金族金属


見学するのも大変です。。。



「この鉱石はいいぞ。。。」  
とプレゼントしてくれます。



鉍石をお土産にくれる。  
「幾らでも持って行ってよい」  
と言われても。。。



採掘した鉍石は  
ウィンチで引きずり下ろします

A photograph of a miner in a dark underground tunnel. The miner is wearing a white hard hat with a headlamp, a white shirt, and safety harness. They are standing near a yellow vertical structure, possibly a ladder or support. The scene is dimly lit, with the primary light source being the miner's headlamp and other distant lights in the tunnel.

まだまだ潜ります






採掘した鉍石を  
一箇所に集めて  
トロツコで  
ベルトコンベアまで運ぶ



ここまでこれば、  
鉱石は  
あとは、楽に運び出せます。



地下に  
とても立派な  
鉱石運搬設備が整っています。



鉷山開発には  
莫大な経費と  
長い時間がかかります

地下には無数の長い坑道が  
延々と続きます



# 鉍石はベルトコンベアで 搬出されます



# 地下から採掘された 白金鉱石 (UG2)



くたくたで、ドロドロです。





採鉱の平均深度が1000mを超えているところもある  
→ 鉱脈が薄いので、多量の素石(ズリ)が発生する

ここに挿入されていた図表は著作権処理の都合上、削除いたします。

鉋脈が薄いので採掘切刃の厚さは90cmと低い  
→岩盤を木やジャッキ  
で支えながら掘り進む

ここに挿入されていた図表は著作権処理の都合上、削除いたします。

## Mining the Merensky Reef, Western Bushveld

Q.

PGMsは枯渇するの  
か？  
資源はどうな  
っているの  
か？

A.

当分、枯渇の心配はない

南アフリカに35,500トン  
全世界で 47,570トン の白金資源が確認されている

注：現在の世界生産量は200トン

Q.

PGMsは枯渇するののか？

資源はどうなっているののか？

A.

当分、枯渇の心配はない。しかし、

採掘や製錬は、環境負荷が大きく、

また多量のエネルギーを消費する

# Merensky Reef

- Grade:
  - PGM: **3–9 grams** / ton (low grade along Eastern limb)
  - Copper: 0.1%
  - Nickel : 0.2%
  - Base metals usually as sulphides – some ‘oxide’ nickel

## UG-2

- Chromitite layer
- Grade:
  - PGM: **3-8 grams** / ton
  - Low copper and nickel


南アフリカの  
(超)高品位PGM鉱石  
でもPGM含有量は  
5ppm程度である

→ 鉱石1トンに  
パチンコ玉  
1つのPGM金属

# 鉍石を採掘した後にできる ボタ山↓(廃棄物)

一部の人々は、バラックに住んでいるが、プラチナ関係の産業に従事する人は一般に恵まれている。

プラチナの鉍脈は平地の地下にある。



# 巨大なボールミルと 浮遊選鉱プラント

# 鉍山地帯に林立する プラチナ鉍石の大きな製錬所

南アフリカでは、巨万の富を生む  
優良な産業の一つ

3  
Are there  
any unsafe  
acts &  
conditions  
in my  
workplace



ここに挿入されていた4つの写真は著作権処理の都合上、削除いたします。

Modikwa Platinum Mine

The concentrator plant at Amandelbult Section

UG2 concentrator, Rustenburg Section

Bafokeng-Rasimone Platinum Mine

# 貴金属製錬

# Precious Metal Refinery (PMR)

厳重な警備体制の  
貴金属精製工場

(ヨハネスブルグ近郊)

ここは、  
有刺鉄線に高圧電流  
だけでなく、  
中から外に  
モノを投げないよう  
高いネットが敷設

白金の塊

何処に行っても  
壁の警備は嚴重です。。。。

地下資源は豊かでも、  
社会は全体的に貧しい

中から白金合金を外に投げる  
人がいて、車に当たるので  
こんなネットがしてある。



# PGMの処理フロー(まとめ)

## ①濃縮工程

【4～7g/tonのPGM品位の鉱石】を採掘→破碎・粉碎後→  
浮遊選鉱→【100～600g/tonの精鉱】

## ②抽出工程(乾式製錬)

【精鉱】→乾燥→電気炉製錬(脈石成分をスラグへ)  
→【マット】(PGMを硫化物として分離)→  
転炉製錬(Fe&Sの除去、PGMの濃縮)→  
【640～6000g/tonのマット】

## ③精製工程(湿式製錬)

【マット】→湿式製錬法にて卑金属(Cu, Ni, Co)の分離→  
【30～65%のPGM精鉱残渣】→溶解→溶媒抽出法・蒸留法・  
イオン交換法(・分子認識分離法)→PGMを単離

## 白金の採掘・製錬の各プロセスにおけるコスト、品位、収率、処理日数(概数)

Parameter	Mining	Comminution & Floatation	Smelting & Converting	Base Metal Refining	Precious Metal Refining	Total
Percent of Total Cost	65-75	9-12	6	7	4-5	100
PGE Grade (g/ton)	5-6	100-600	640-6000	30-65%	>99.8%	N/A
PGE recovery (%)	N/A	80-90	95-98	>99	98-99	75-85
Grade Ration Increase	N/A	30-80	20	75	2	200,000
Processing Time (days)	N/A	2	7	14	30-150	up to 170

貴金属の生産の特徴： 採鉱のコストが最も高い、多量の廃棄物が発生する  
 PGMの収率は75～80%と高い  
 製錬には非常に時間がかかる

最近では半月程度に短縮している

Skip

# 貴金属の製錬とリサイクル

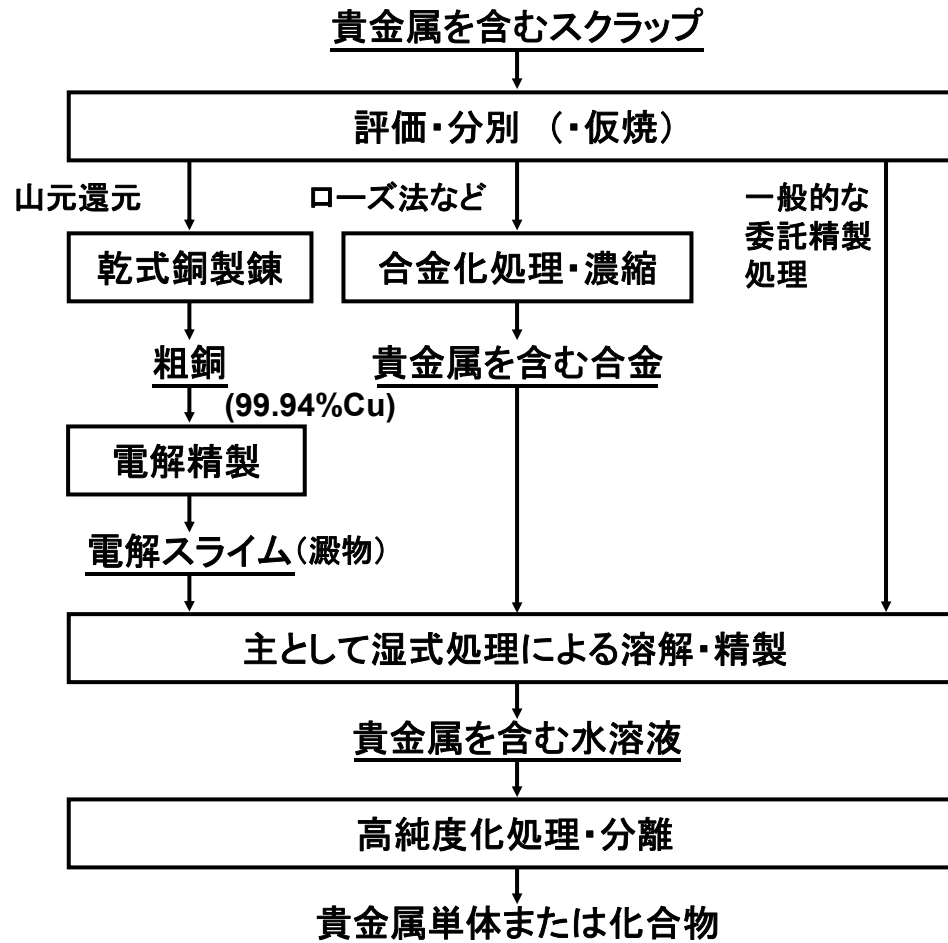
収率とスピードがキーファクター

通常、大規模製錬は、  
1ないし2種類の方法に収斂するが、  
貴金属製錬は、  
多様な手法が工業的にも存在する



# PGMのリサイクルプロセス

# 貴金属は、単価が高く、また、濃度や形態が大きく異なるため、リサイクル手法も多様である



貴金属を含むスクラップの主なリサイクルプロセス。

日本には銅の乾式製錬が盛んに行われているため、  
 貴金属は一旦、銅に吸収させ得られた粗銅から貴金属を回収している

## 山元還元

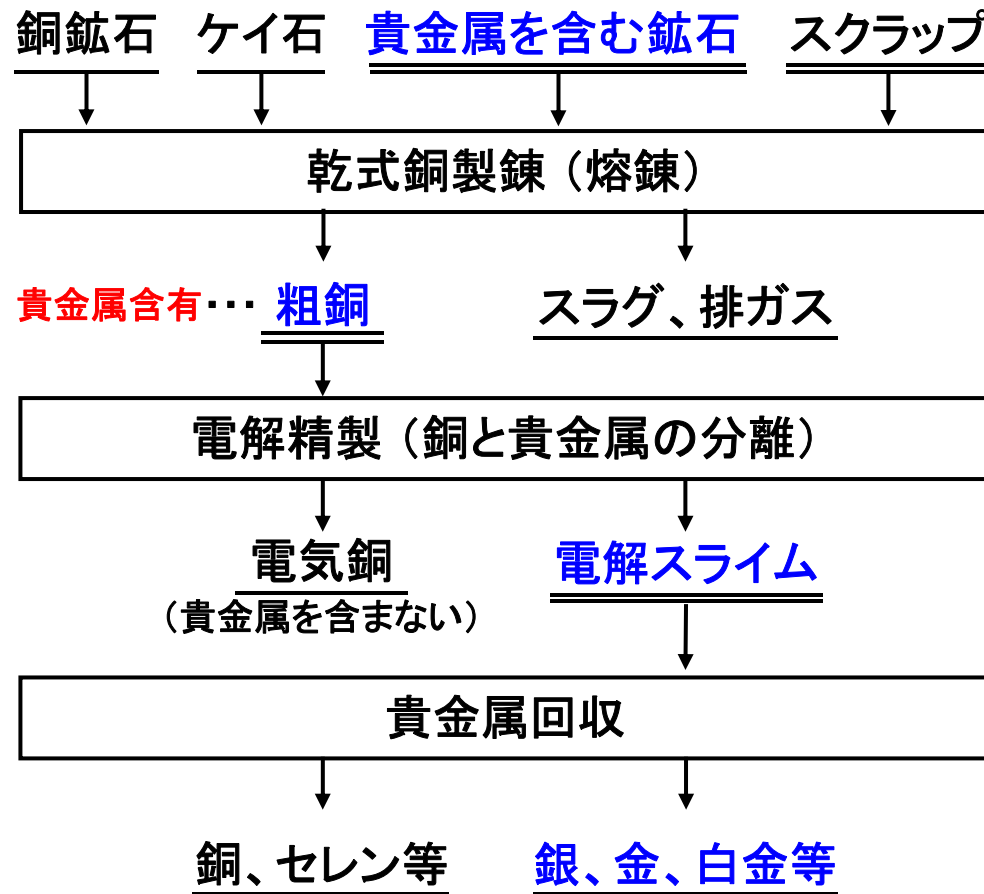
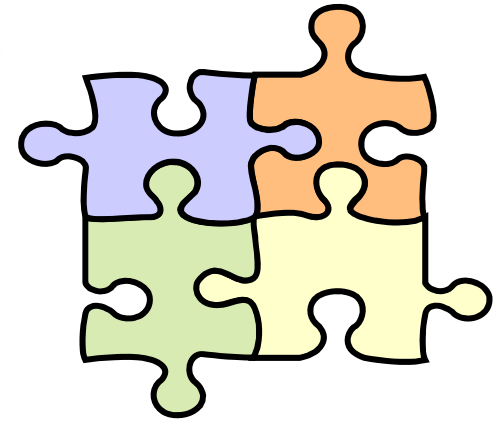


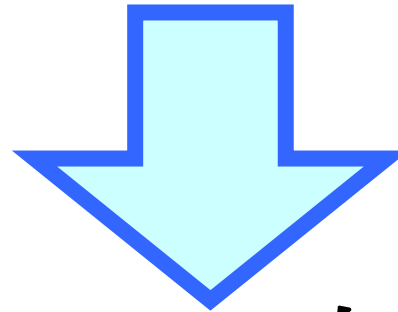
Fig. 乾式銅製錬(熔錬)工程を利用して貴金属を回収するプロセス(山元還元)の系統図

# 東大・岡部研で行っている PGMのリサイクルに関する 研究の紹介

# 廃棄物の規組み合わせによる 新リサイクル技術の開発



廃棄物1 + 廃棄物2



有価物1 + 有価物2  
(あるいは無害物)

現在、岡部研で研究を進めている課題：

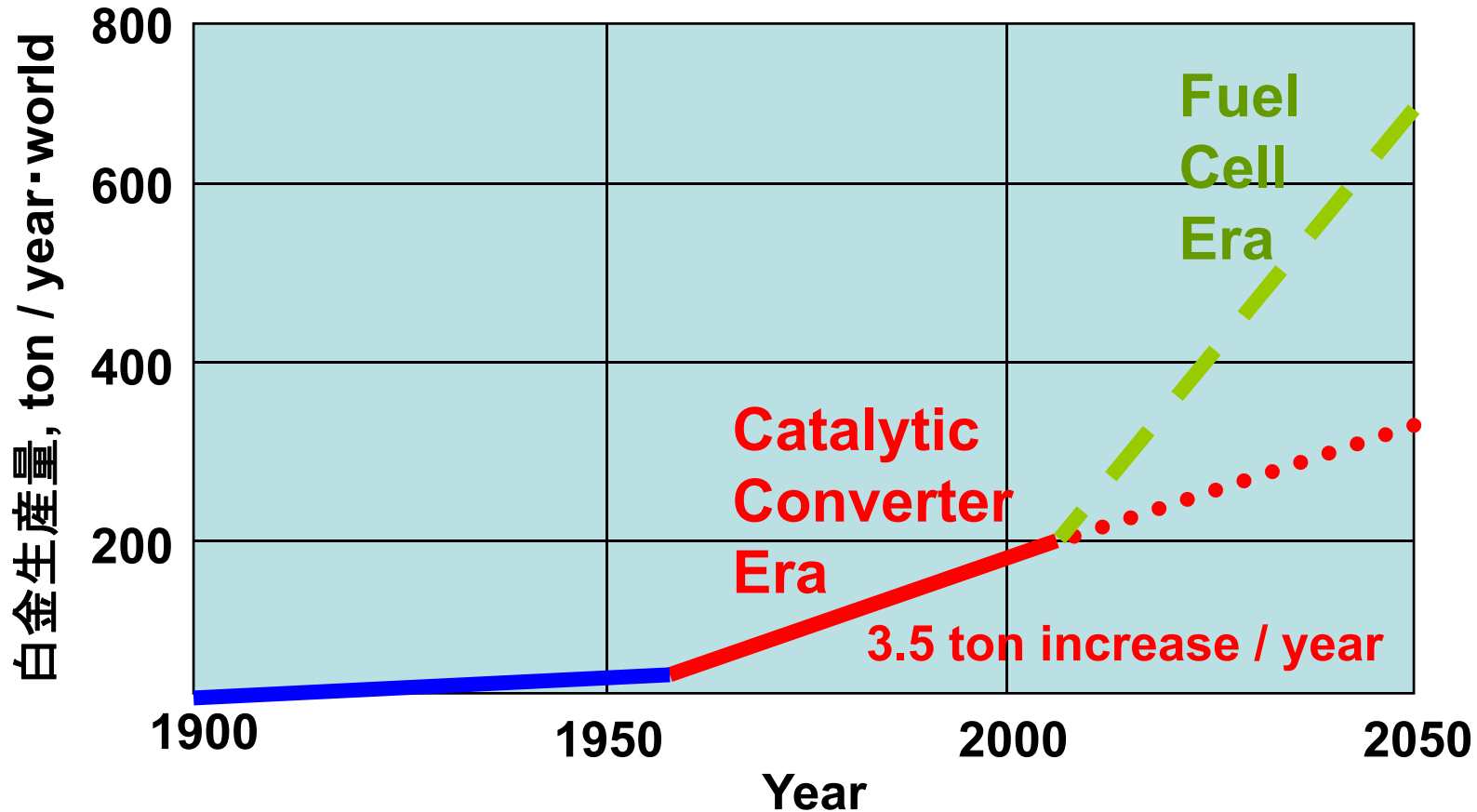
気相を介してコレクターメタルを供給し、  
PGMを合金化（・抽出）後、  
気相を介して酸化（塩化）剤を供給し、  
易溶性の白金化合物に変換する  
新しいリサイクルプロセス

→基本的にガス反応を利用するので  
複雑な形状をしたスクラップからの  
貴金属の粗取りなどに適している。

将来的には、  
大型のプラントを必要とせず、

塩水や塩酸などで  
簡単に貴金属が溶かせるような、  
環境調和型の  
画期的なリサイクルプロセスを開発したい

# 白金の長期的な需給動向（予測）



現在、自動車一台 4~5 g の白金を使用している。  
Ptの長期的需給は、世界的な排ガス規制の動向、触媒技術の革新、燃料電池自動車の普及によって変動する。



インジウム(透明電極の主要材料)  
や  
希土類金属(超強力磁石)  
などのレアメタルの  
リサイクルの現状について

# 最近話題の副産物のレアメタル

インジウム(In)

←亜鉛(Zn)の副産物

ガリウム(Ga)

←アルミニウム(Al)の副産物

スカンジウム(Sc)

←ウラン(U)、  
タングステン(W)の副産物

ロジウム(Rh)

←白金(Pt)の副産物

ルテニウム(Ru)

←白金(Pt)の副産物

イリジウム(Ir)

←白金(Pt)の副産物

大根の葉

←大根



ITO透明電極の製造プロセスにおけるインジウムなどは、**最終製品の製造に必要な量より遥かに多くの中間原料が全体のプロセスに必要**となるため、**大きな蓄積(タンク)とリサイクルループ(フロー)**が必要となる。

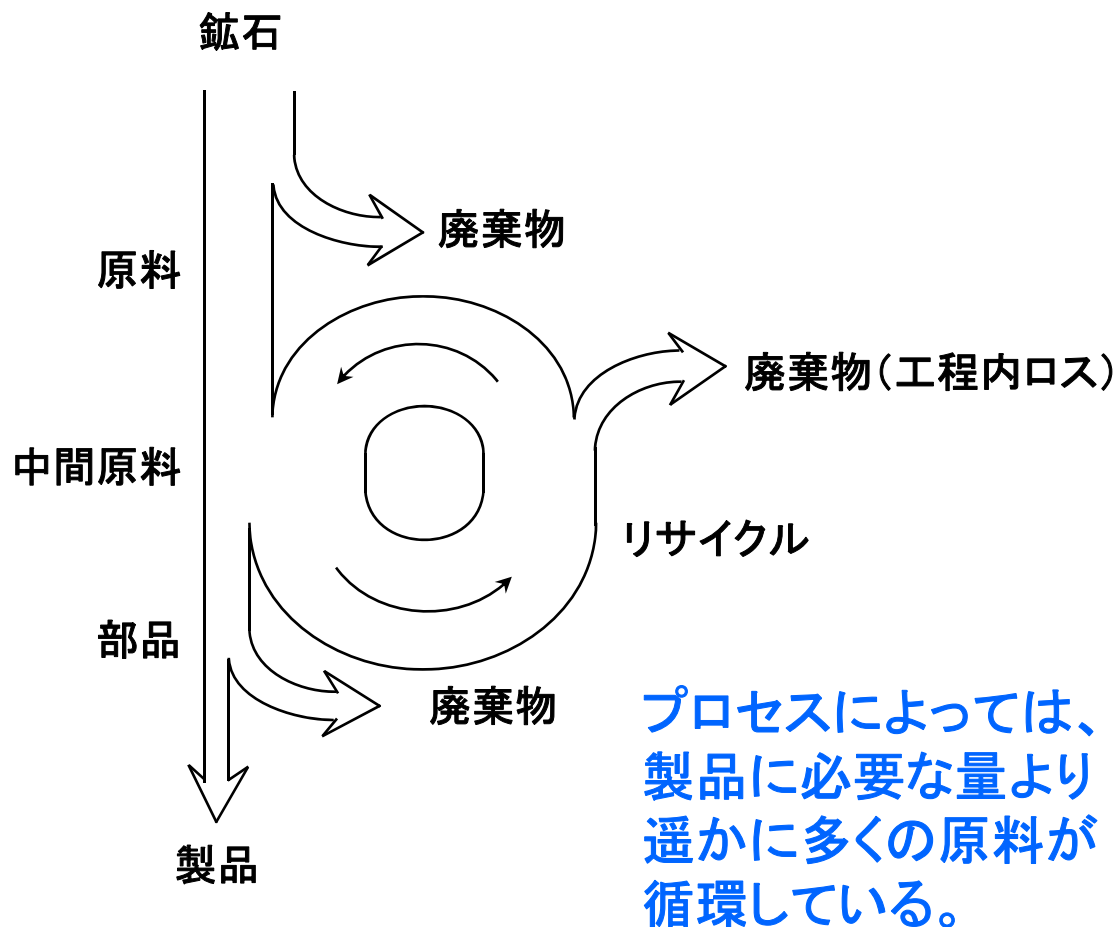
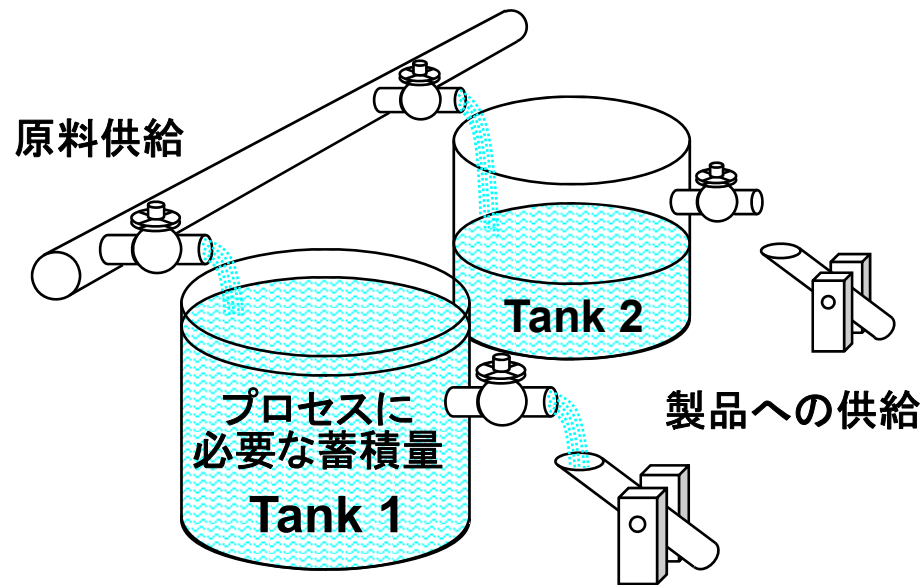


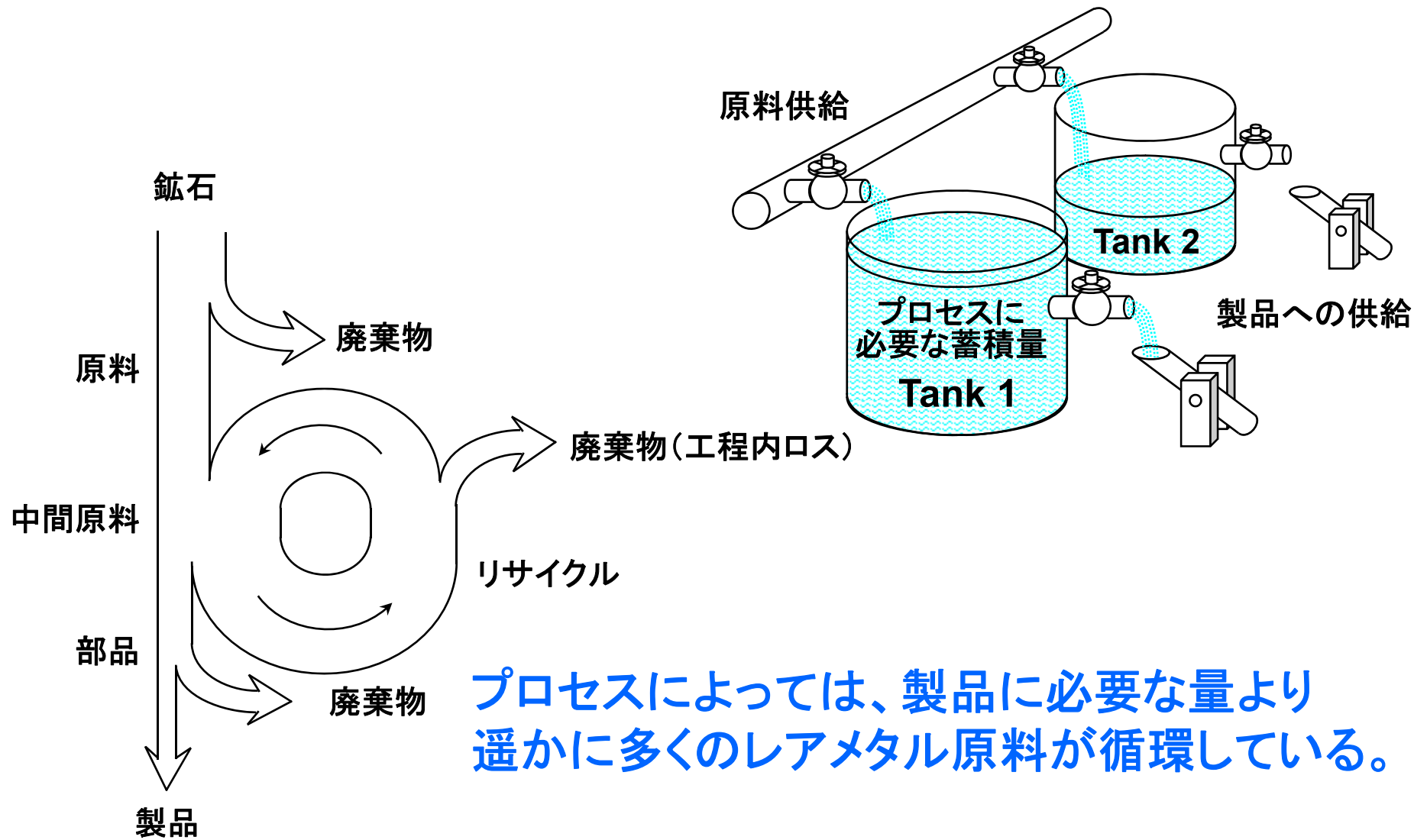
図 鉱石から製品になるまでの、レアメタルのマテリアルフローの模式図。



- ・需要が増大する場合、莫大な量の原料とタンクが必要となる
- ・逆に、需要が減少すると、膨大な量の原料とタンクが余る

→ **供給量の急激な増大が困難なレアメタル**は、  
製品需要の変化に在庫量や価格が敏感に反応し、変化する

図 レアメタルを含む製品を製造するプロセスに必要なレアメタル原料と蓄積量の関係を模式的に示す「タンク&フロー」の概念図。



プロセスによっては、製品に必要な量より遥かに多くのレアメタル原料が循環している。

資源的な枯渇の心配は少なくとも、供給や需要の変化に、レアメタルの価格は敏感に反応する

# あまり話題にしたくない副産物

砒素(As)、  
水銀(Hg)、  
鉛(Pb)、  
カドミウム(Cd)

←銅(Cu)や亜鉛(Zn)の副産物

ウラン(U)、  
トリウム(Th)

←希土類金属(REMs)の副産物



大根の葉

←大根

---

**レアメタル→稀少金属→枯渇？**

最近の報道をみていると、

レアメタルは枯渇するのでは？

と心配になってくるが、枯渇の心配はない。

ただし、**需要の変動や資源ナショナリズム**  
による**短期的な供給障害**は起こりうる。

国内に蓄積されたレアメタルのリサイクル技術の  
開発は、資源セキュリティ上も重要

---

# 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基超合金, Al-Sc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, ...)
- 薬品・健康食品



ハイブリッドカーや燃料電池自動車など、「走るレアメタル」が本格的に普及すると、“桁違いの量”のレアメタルが必要となる。

レアメタルの新しい製造技術の開発、高効率リサイクル技術の開発など、今後も、日本が世界をリードしなくてはならない課題は多い。

## 岡部の提言：

1. 世界の優良鉱山に積極的に投資して、  
すこしでも利権を確保する
2. 仮に、資源の備蓄をする場合は、  
市場に影響力を発揮できる量を確保する  
  
→今のレアメタル備蓄は、種類、量ともに論外
3. 最高水準のレアメタルのプロセス技術・環境技術  
を駆使して、世界にもっと貢献する

## 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、

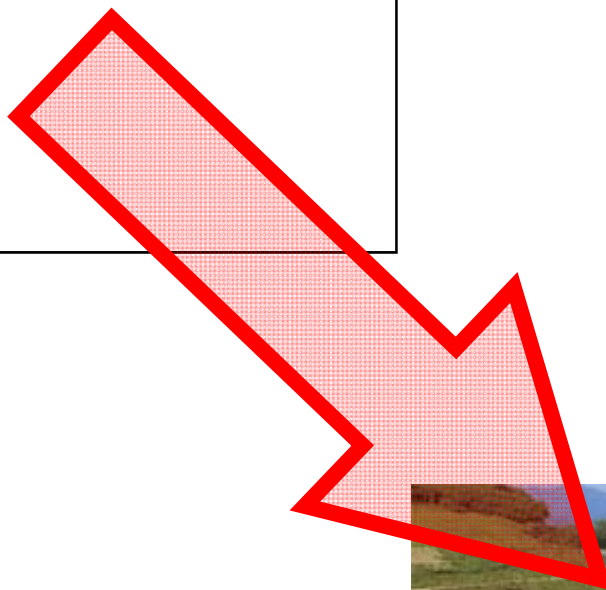
**金閣寺と銀閣寺の間に、チタン閣寺を建立する**



レアメタルの鉱床の多くは、  
地球が生んだ“奇跡”であり、  
また、  
採掘に伴い貴重な自然環境を破壊し、  
製錬には多量のエネルギーを消費する。

# 貴重な鉱山

ここに挿入されていた図表  
は著作権処理の都合上、  
削除いたします。



限りある  
最終処分場

DOWAエコシステム(株)

[http://www.dowa-eco.co.jp/soil/img/ecosystem\\_hanaoka/p\\_hanaoka\\_fig\\_02.jpg](http://www.dowa-eco.co.jp/soil/img/ecosystem_hanaoka/p_hanaoka_fig_02.jpg)

現在の社会システムの最大の問題は、  
レアメタルをはじめとする  
地球が生んだ“奇跡”の産物である  
鉱物資源の価値があまりに低く評価され、  
タダ同然で採掘され、  
消費されている点である。  
**Value of nature** について、もっと真剣に  
考えるべきである。

まとめ:

一部のレアメタルは、供給国が偏っているため、**供給障害が生じる可能性が高い**。  
また、生産に膨大なコストがかかり、  
モノによっては**環境破壊**を伴う。

良質な資源の有限性を考えると  
**リサイクルや長寿命化技術**の重要性は論をまたない。

代替材料の開発も資源リスクを低減する上で重要。  
なお、

**日本の材料開発技術、リサイクルを含めた環境技術は**  
世界に冠たるレベルにあり、今後もこの分野では  
**トップランナーであり続け、人類に貢献すべき**。

豊かな社会(成熟社会)には、レアメタルは欠かせない。

日本は、**鉱物資源はないが、非常に質が高い人的資源が豊富。**

特に、**レアメタルの製造技術や環境技術・リサイクル技術**では、圧倒的な世界競争力がある。

日本の高い**技術開発能力**を使って、世界に貢献するべき。



# 成熟社会に欠かせないレアメタル



東京大学 生産技術研究所  
岡部 徹

依頼講演:

10月11日(土)

「成熟社会に欠かせないレアメタル」(50分)

講演会:第109回平成20年秋季

東京大学 公開講座 4 社会の環境と成熟

日時:平成20年10月11日(土)14:40~15:30

場所:東京大学 安田講堂(文京区・本郷キャンパス)