

2012.1.27

水銀条約に関する公開セミナー資料

# 我が国及び世界の 水銀の使用・排出状況

- 1．水銀の生産量・需要量(日本と世界)
- 2．水銀の国内フロー
- 3．水銀の大気排出量(日本と世界)

愛媛大学 貴田晶子

# 国内 Hgの課題 国際

1. Hgを含む魚類に対する摂食の注意(厚生省H15.6) → 見直し作業へ → 環境対策の必要性
2. リサイクル → アジア圏への廃棄物・二次資源の移動特にHgはアジア圏へ
3. アジア圏で品質の悪い石炭燃焼 → 酸性雨と同様日本への影響
4. 有害物質の排出登録→排出インベントリ→排出抑制物質

1. メチル水銀の毒性評価の改訂 FAO/WHO  
TWI:3.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重 → 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重
2. UNEP、EU、アメリカで水銀削減プロジェクト進行(特に2000~)
  - ◇ 感受性の高い女性・妊婦・胎児への健康影響
  - ◇ 水銀の長距離移動
  - ◇ 石炭燃焼の排出規制強化
3. Hgの大気排出量はアジアが最大

# Mercury Programme

- 2001年：水銀汚染に関する活動を地球規模で推進することを決定。世界水銀アセスメントを実施
- 2003年：アセスメントのレビューに基づき、UNEPは正式に水銀プログラムを設置
- 2007年：水銀対策の優先分野。
  - ✓ 人為的な大気への水銀排出の削減
  - ✓ 水銀を含む廃棄物の処理対策
  - ✓ 製品及び生産プロセスへの 水銀需要の削減
  - ✓ 水銀の一次生産の削減の検討を含む
  - ✓ 水銀供給の削減
  - ✓ 環境影響の少ない水銀の長期保管
  - ✓ 汚染された場所の修復
  - ✓ 知識の増進
- 2009年：UNEP管理理事会で水銀規制に関する条約制定に向けた政府間交渉委員会設置に合意
- 2010年：第1回政府間交渉委員会
- 2011年：第2回、第3回政府間交渉委員会
- 2012年：第4回政府間交渉委員会
- 2013年：第5回政府間交渉委員会、条約合意予定

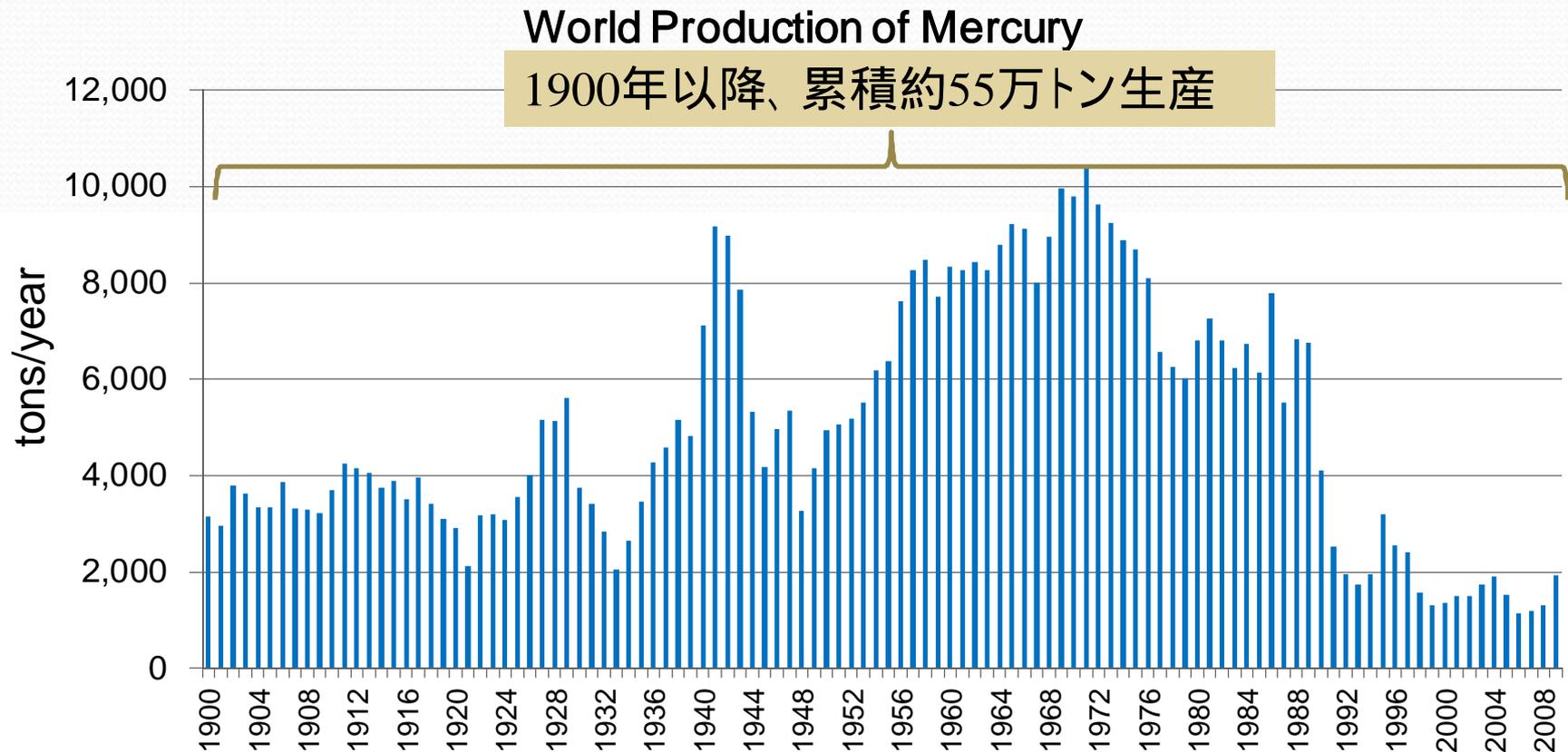
朝日新聞 (2/21 朝刊 1面)



# 世界の水銀の生産量

- 1900年～1940年:3000トン前後
- 1940年代:9000トン、1950年～1980年:8000～10000トン、
- 1990年以降減少し2000トン以下、2009年で約1900トン

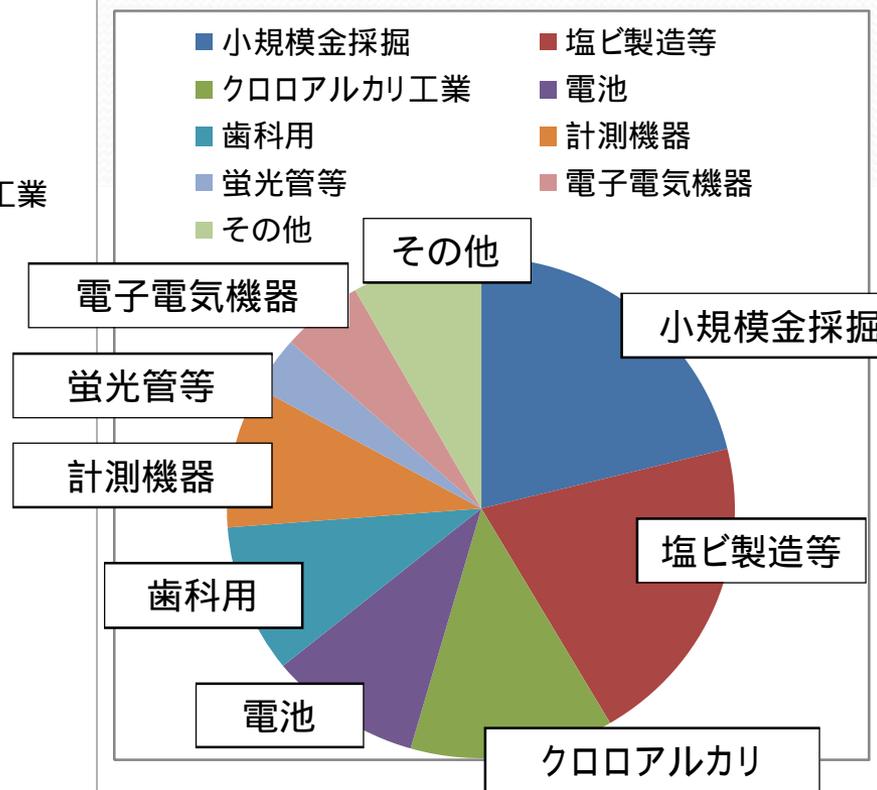
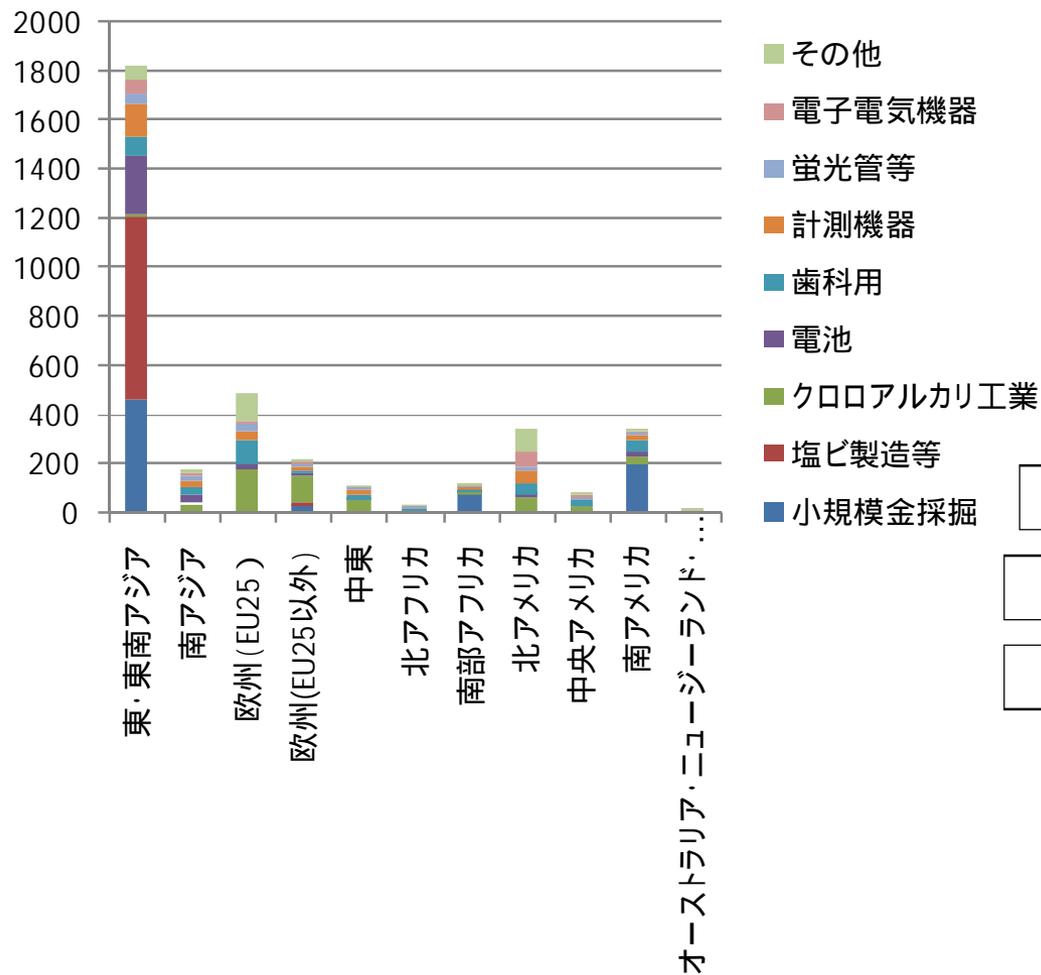
\* 需要量(消費量)とは異なる



出典: USGS (US Minerals Survey) <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/index.html>

# 世界の水銀消費量 (2005)

●約3800トン/年(生産量  
1520トン/年の2.5倍)



# 水銀及び水銀化合物の用途

- 小規模金採掘： 金の凝集剤
- 塩ビ製造等： アセチレンと塩酸を反応させる時の触媒
- クロロアルカリ工業： 電解槽の陰極
- 電池： 負極材におけるガス発生抑制のための添加
- 歯科用： 歯に充填される歯科治療材料
- 計測機器： ガラス製温度計の感温液、圧力計の水銀柱
- 蛍光管等： 紫外線の発生(水銀蒸気が電子と衝突して)
- 電子電気機器：電気スイッチ・リレー(重力による水銀移動を活用)
- その他： 火薬、殺菌剤、防腐剤、顔料、めっきなど

# 小規模金採掘における水銀使用

1. 金と岩の粒子
2. 水銀を添加
3. 水銀によって金の粒子が凝集し、沈降する
4. アマルガム(合金)を得る
5. アマルガムを熱して水銀を蒸発させる
6. スポンジ金を得る(5%程度水銀含有)
7. スポンジ金を溶かす
8. 金の延べ棒を得る

1. Gold & Rock Particles



2. Add Mercury



3. Agitate to Mix  
Local and Global Fish Contamination



Dermal and Direct Vapour Exposure

Waste Mercury Contaminated Tailings

Local and Global Fish Contamination

4. Form Amalgam  
Dermal Exposure



5. Heat Amalgam  
Direct Vapour Exposure



6. Form Sponge Gold (still 5% Mercury)  
Direct Vapour Exposure



7. Melt Sponge  
Direct Vapour Exposure



8. Gold Bar (90% Pure)



LEGEND



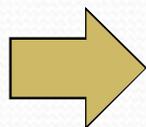
Atmospheric emissions that cause local vapour exposure and global fish contamination



Releases to water and soils that cause local fish contamination and persistent contaminated sites

# クロロアルカリ工業の水銀法採用割合

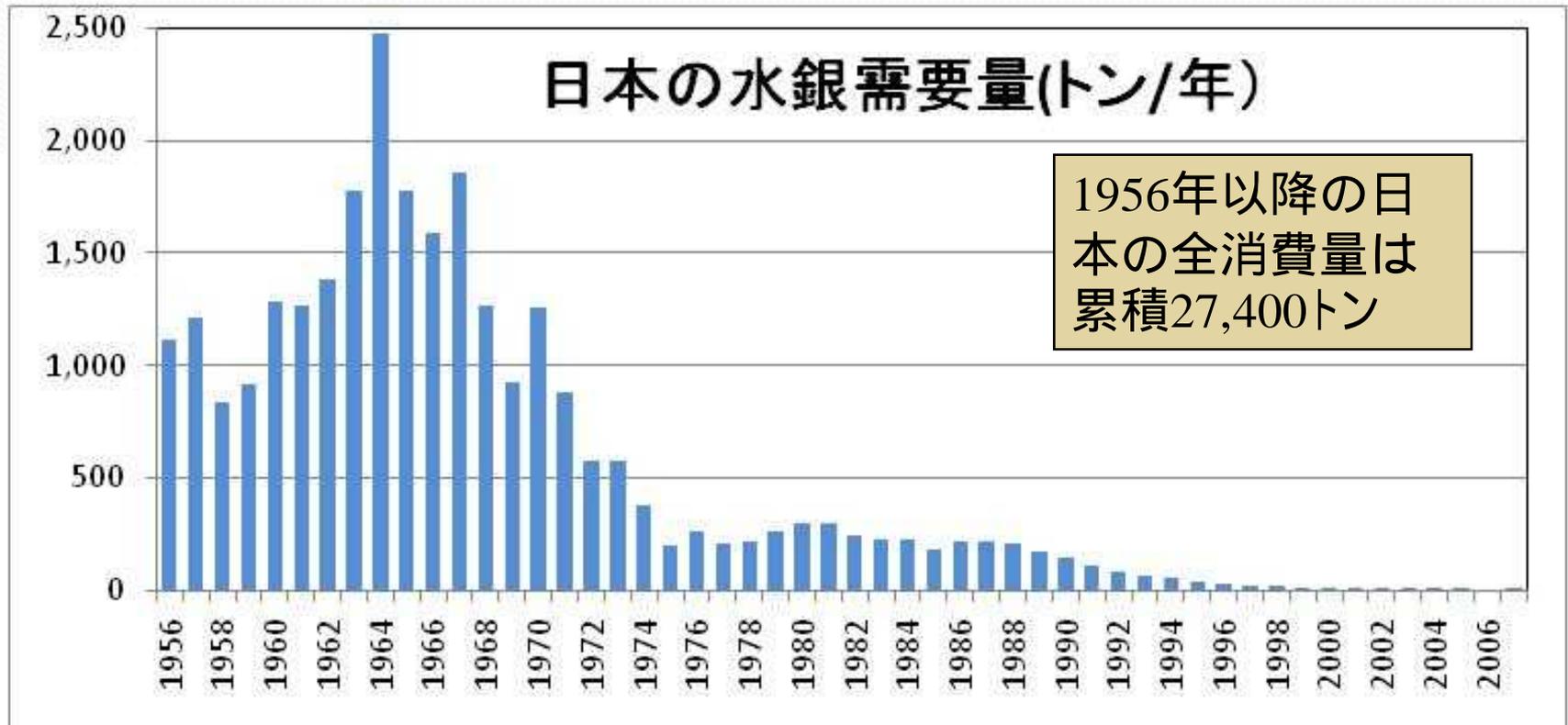
- 多くの工業国で、まだ水銀法が用いられている → EUにおけるHg使用削減の最優先分野



国	生産能力 (kt/y)	製法別割合 (%)			
	総計	アンモニア ソーダ法	隔膜法	水銀法	イオン 交換膜法
アメリカ	12594	2.1	73.2	12.8	11.8
日本	4042	-	18.4	-	81.6
ドイツ	3969	-	36.1	63.4	0.5
ソ連	3822	-	50.5	44.2	5.2
中国	3482	2.4	80.7	7.1	9.8
フランス	1666	-	38.9	43.6	17.5
カナダ	1563	-	79.6	10.6	9.8
ブラジル	1413	-	59.9	21.9	18.2
イギリス	1395	-	13.6	73.8	12.6
イタリア	1238	-	3.2	83.1	13.7
インド	1217	1.9	8.2	60.1	29.7
スペイン	902	-	22.4	69.3	8.3
ルーマニア	884	19	24.9	56.1	-
オランダ	710	-	20.7	32.3	47
ベルギー	651	-	0.0	78.5	21.5
ポーランド	614	-	10.9	89.1	-
スウェーデン	534	-	22.9	59.9	17.2
メキシコ	529	-	61.6	38.4	-
韓国	518	-	38.2	2.3	59.5
世界全体	48027	1.1	44.5	33.9	20.5

# 日本の水銀需要量

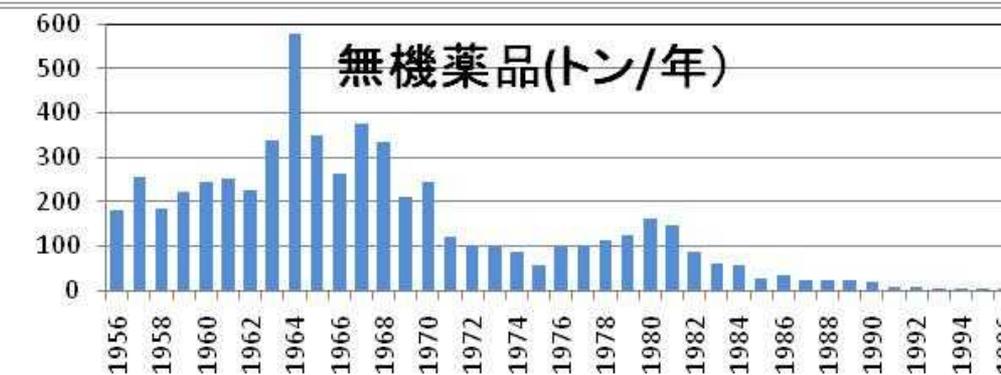
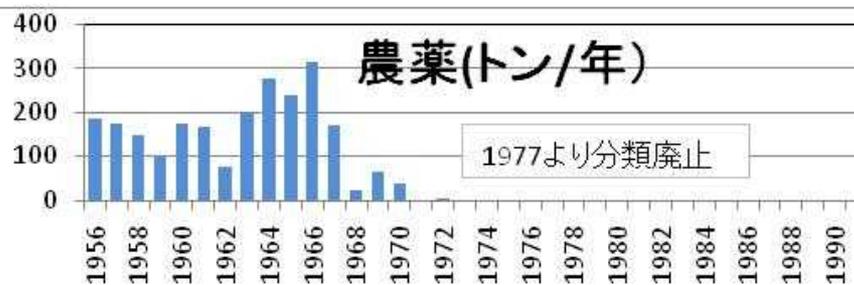
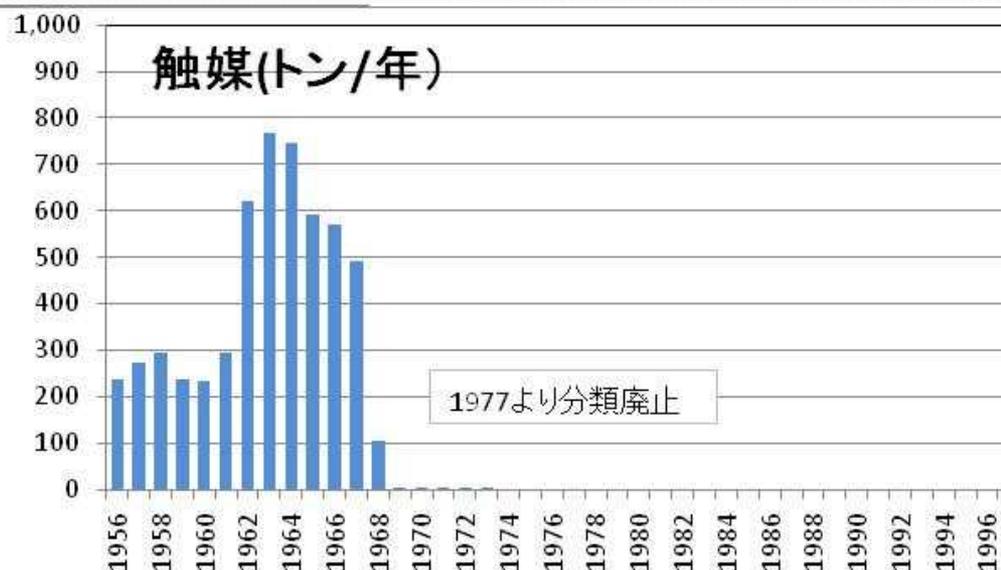
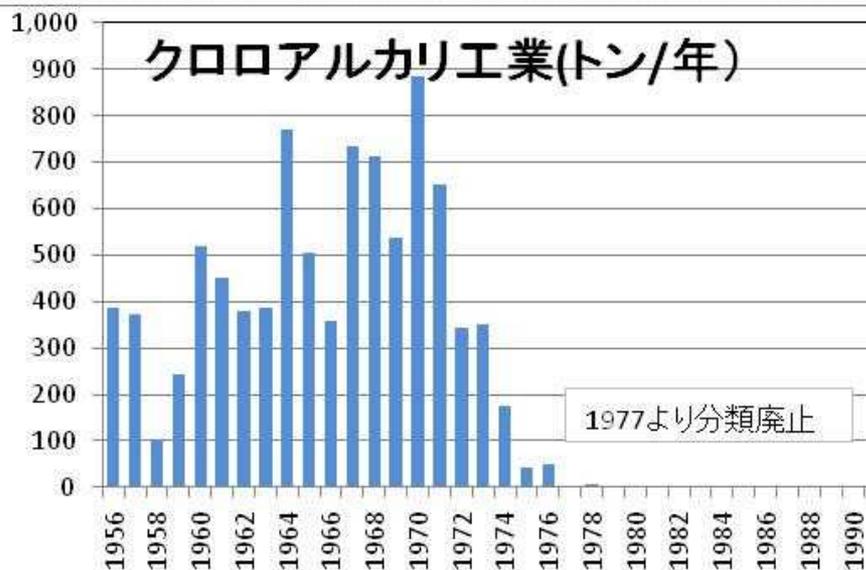
- 1950年代～1970年代半ば:1000～2500トン(1960年代には、日本は世界の生産量の1/5～1/4を消費していた)
- 1970年半ば～1990年:100～300トン
- 1990年以降:数十トン



# 日本における水銀の用途

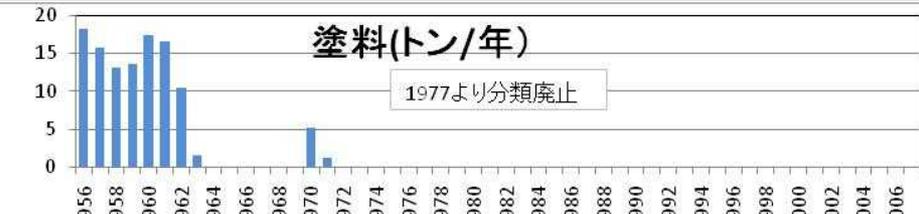
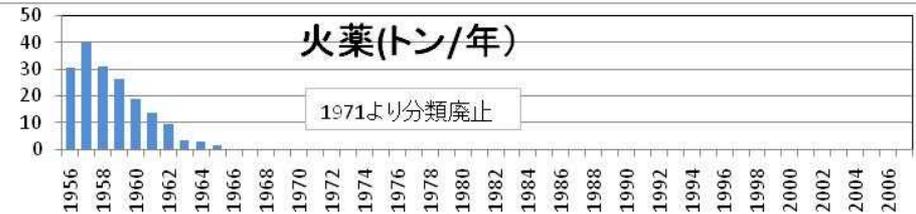
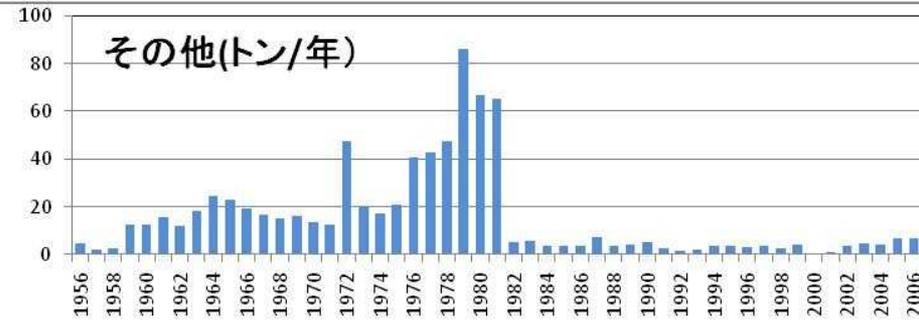
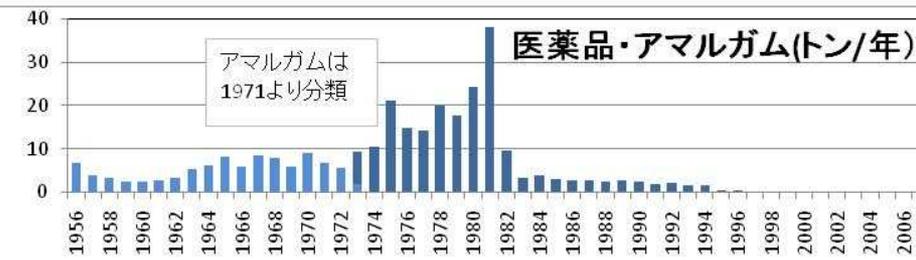
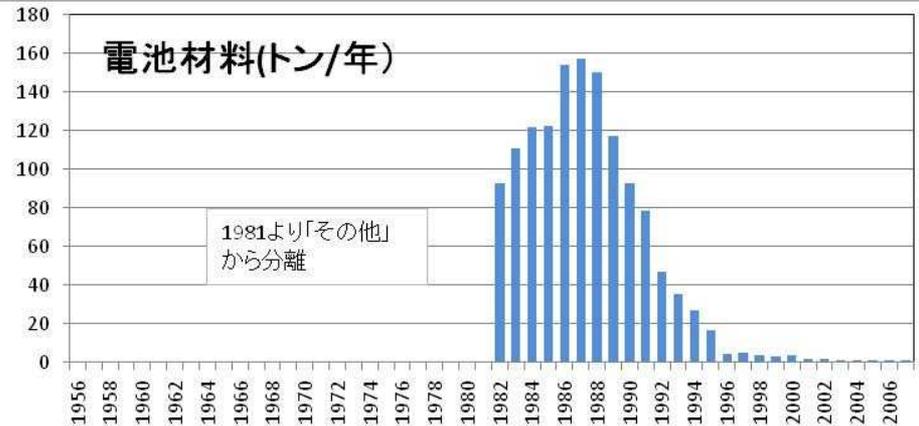
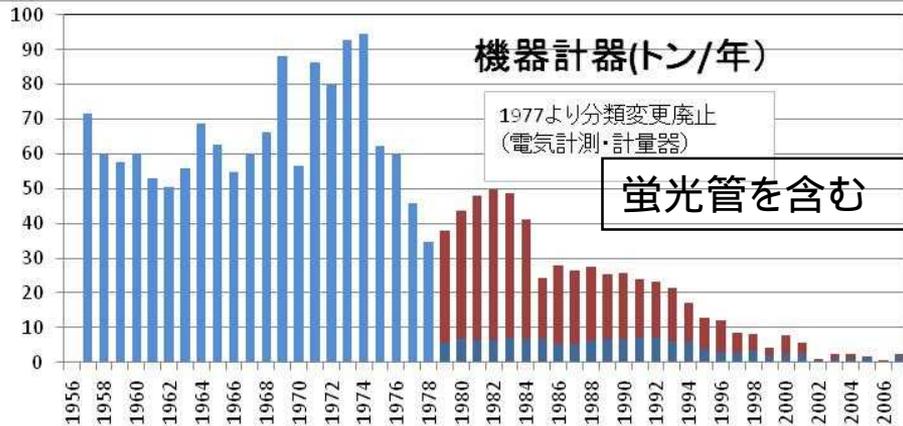
●1970年代まで多量に使用された用途：

クロロアルカリ工業(水銀電極)、触媒、農薬、無機薬品

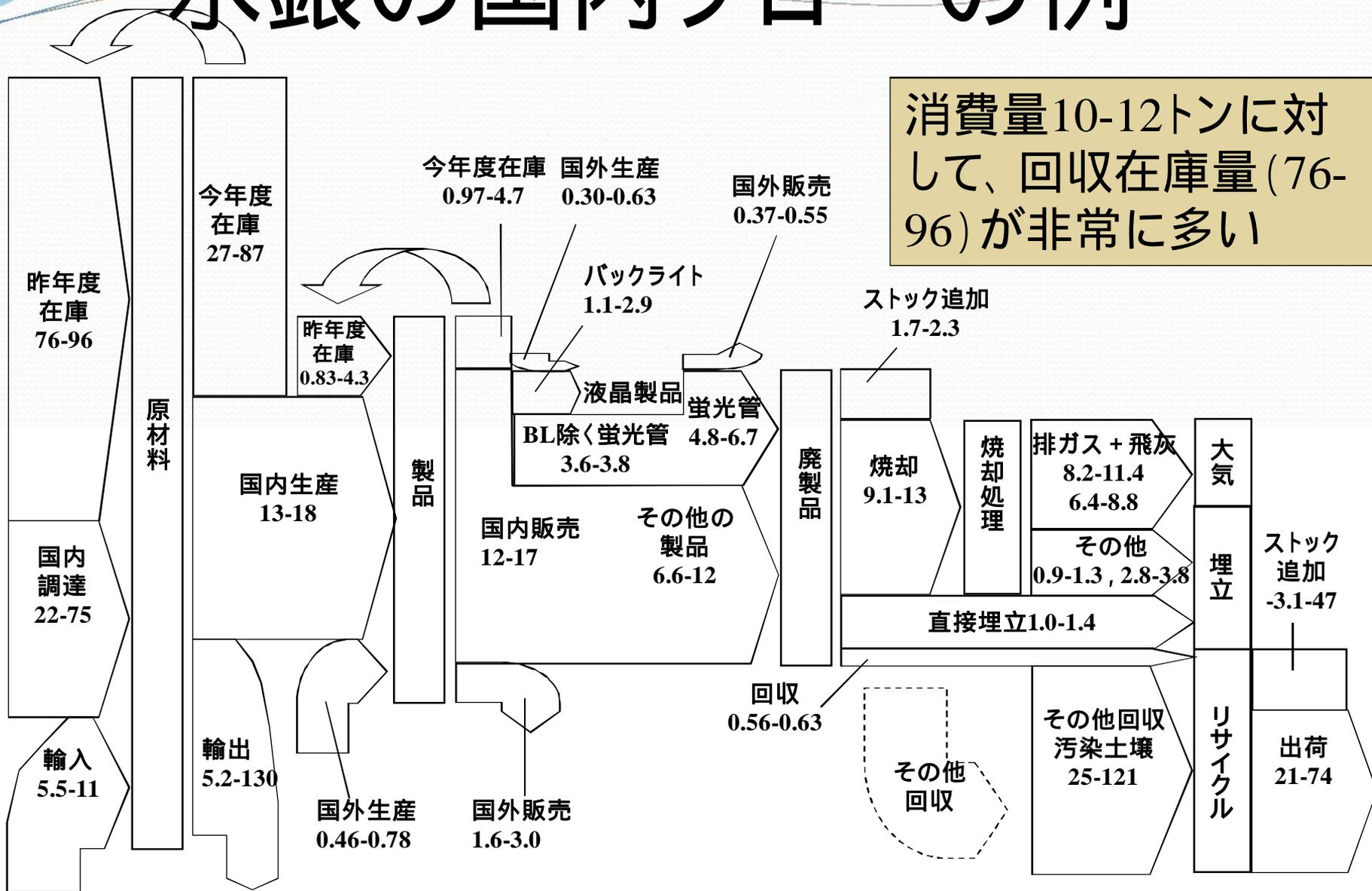


# 日本における水銀の用途

- 計測機器：1970年代の60～90トンから減少し、2000年以降10トン以下
- 電池材料：1970年代増加、1980年代は150トン、1990年代半ば以降激減



# 水銀の国内フローの例

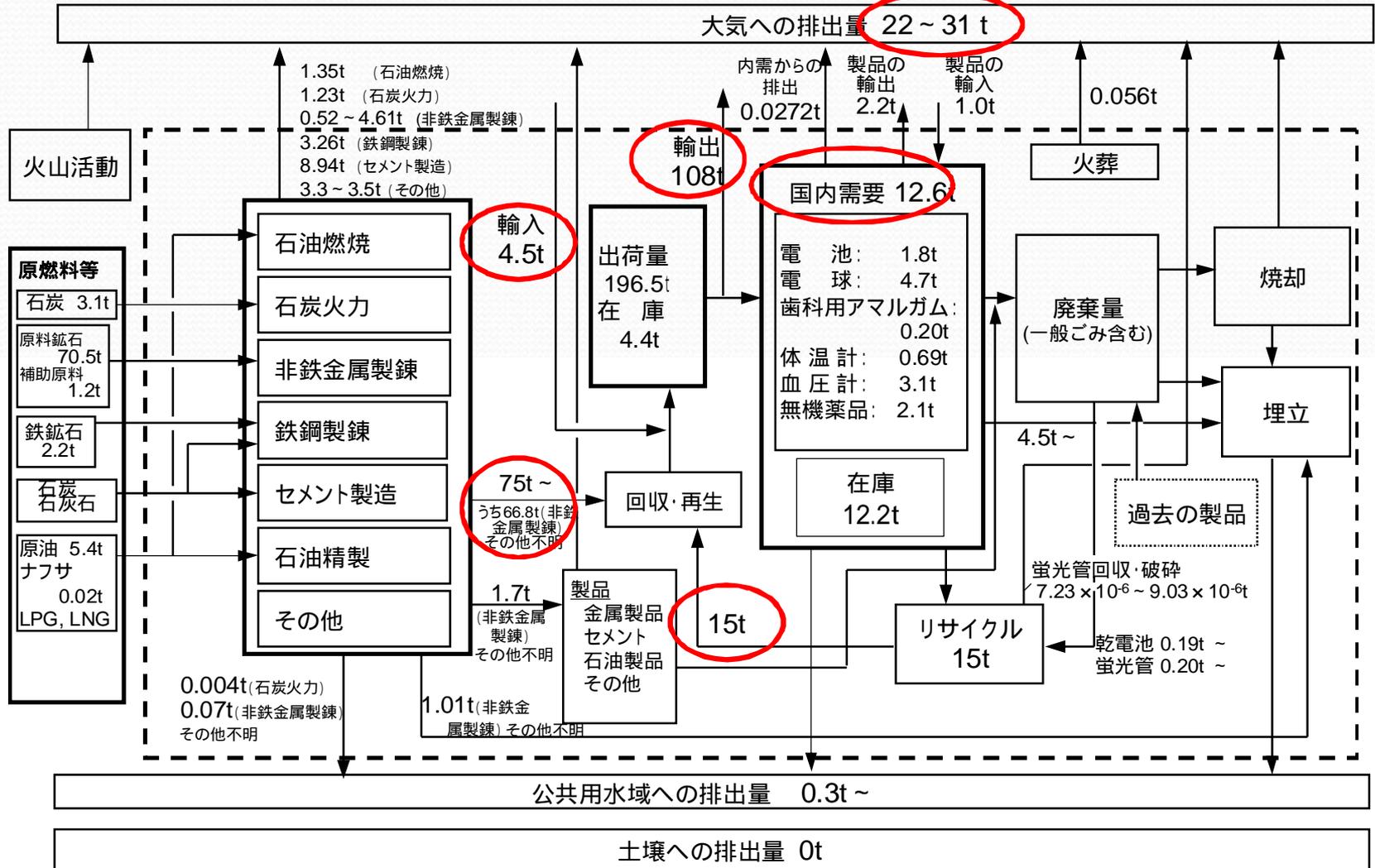


注: 単位はトンHg/年。2000-2003年の最小 - 最大値を示す。

出典: 浅利・福井・酒井・高月(2005)水銀の物質フローと蛍光管リサイクルのあり方、廃棄物学会誌16(4): 223-235

# 水銀の国内フローの例

- 大気への排出は2005年ベース、その他は2002～2006年の5年平均(現在2010年版を作成中)
- 留意:在庫量、輸出量等は5年平均のため、収支は合わない



注) 1. 図中の一部の数値については、出典の異なる数値を合わせている。  
2. 在庫は期末時点での在庫量を示す。

# 水銀の回収・再生・リサイクル量

項目	2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	5ヶ年平均
製錬副産物等からの回収量 <sup>1)</sup> ←	銅・亜鉛・鉛鉱石中に不純物として 数百mg/kgの水銀を含有					<u>75t ~</u>
製品からの水銀リサイクル量 <sup>1)</sup>						<u>15t</u>
乾電池からの水銀リサイクル量 <sup>2)</sup>	0.28	0.26	0.17	0.13	0.10	<u>0.19t ~</u>
蛍光管からの水銀リサイクル量 <sup>2)</sup>	0.19	0.18	0.20	0.22	0.22	<u>0.20t ~</u>

1) 野村興産株式会社より提供された資料に基づき作成

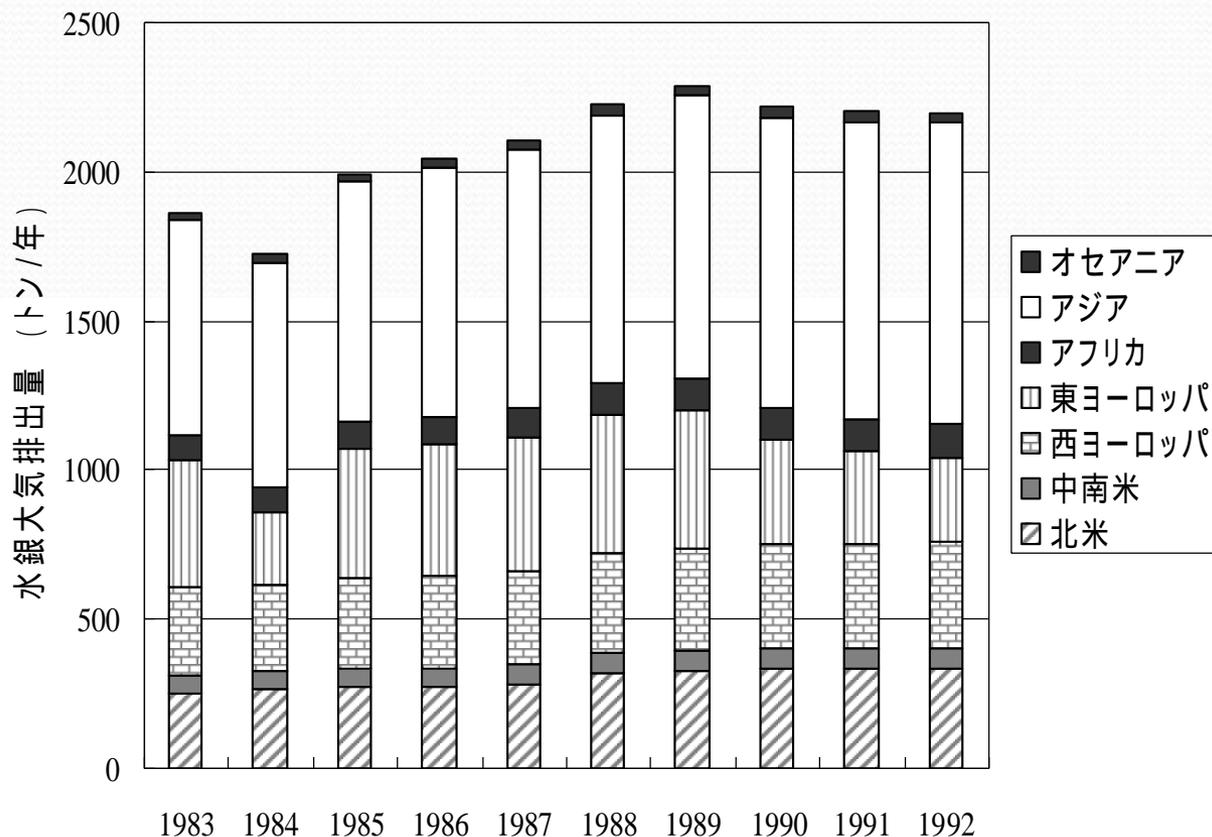
2) (社)全国都市清掃会議より提供された資料に基づき作成

注: 乾電池・蛍光管リサイクル量は2003年度～2007年度の5ヶ年平均値を使用しており、他項目と統計年が異なる。

# 世界の水銀の大気排出量(地域別)

## 1992年まで

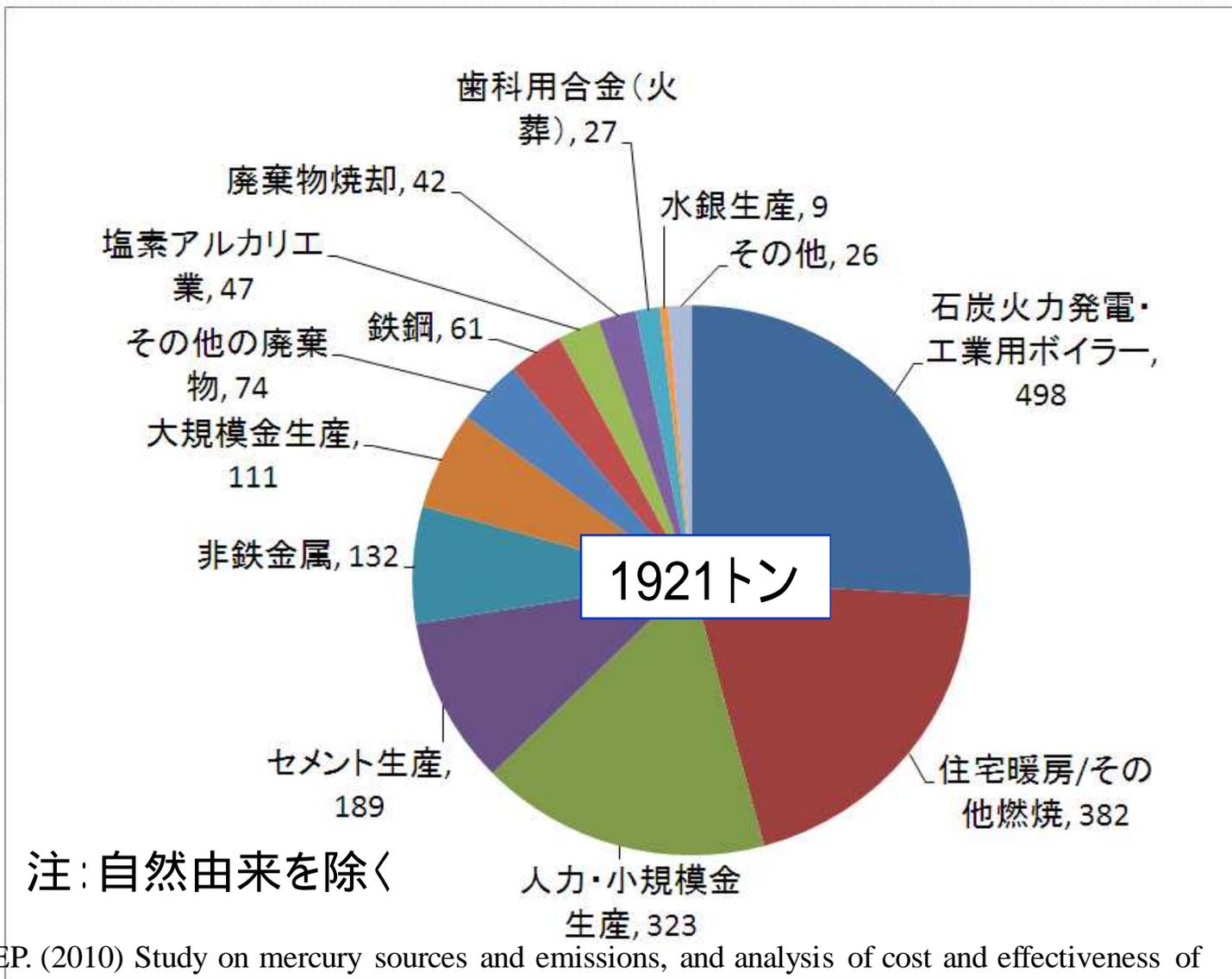
年間約2000トン強と推定されていた



出典: N. Pirrone, G.J. Keller, J. O. Nriagu. (1996) Regional differences in worldwide emissions of mercury to the atmosphere, Atmos Environ., 30(17): 2981-2987.

# 世界の水銀の大気排出量 (2005年)

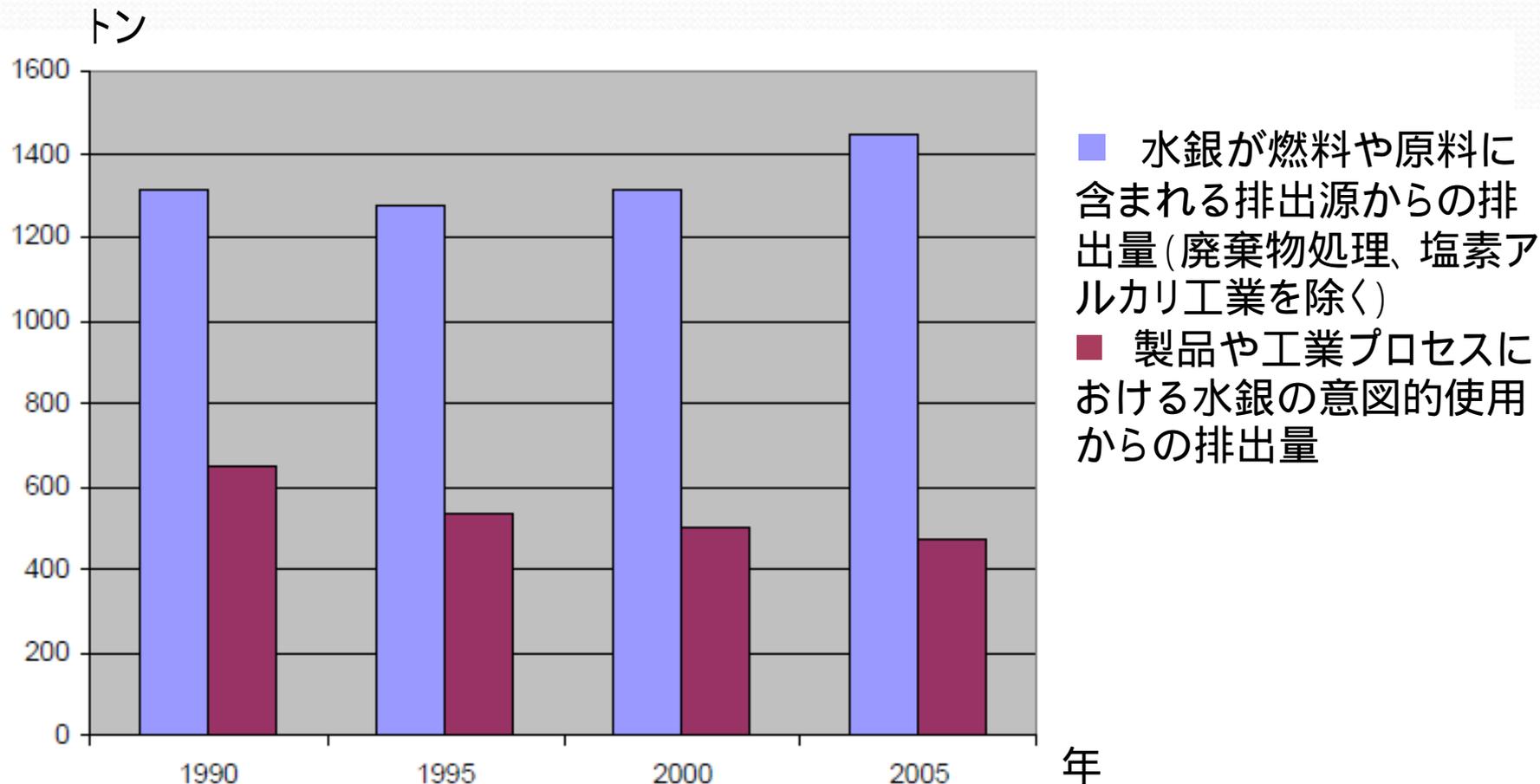
国連環境計画 (UNEP) 水銀調査 (2010.11) による推計



出典: UNEP. (2010) Study on mercury sources and emissions, and analysis of cost and effectiveness of control measures “UNEP Paragraph 29 study”.

# 世界の水銀の大気排出量(経年変化)

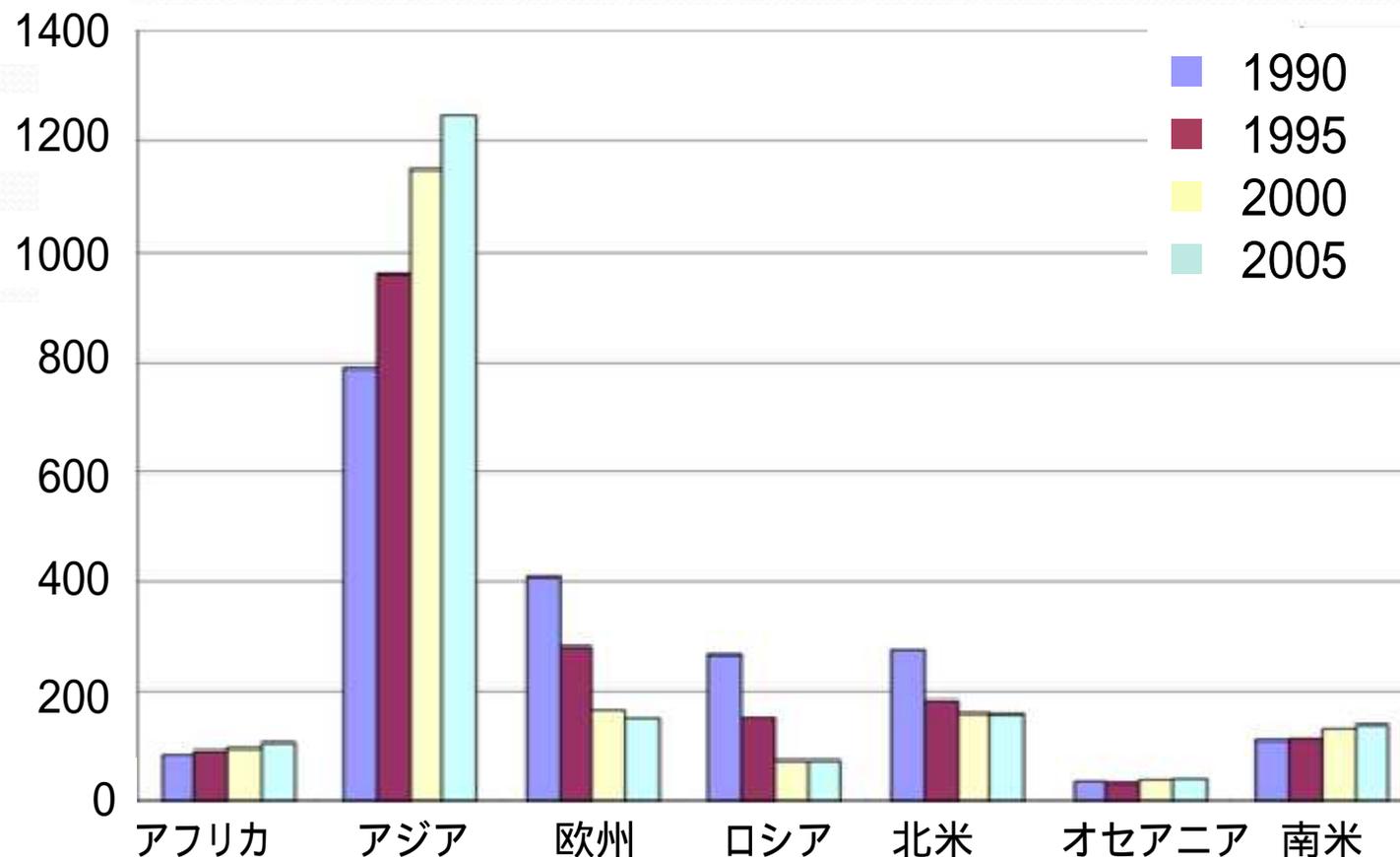
●意図的使用からの排出量は減少傾向にあるが、原燃料に含まれる水銀の排出は2000年から2005年にかけて増加



出典: UNEP. (2010) Study on mercury sources and emissions, and analysis of cost and effectiveness of control measures “UNEP Paragraph 29 study”.

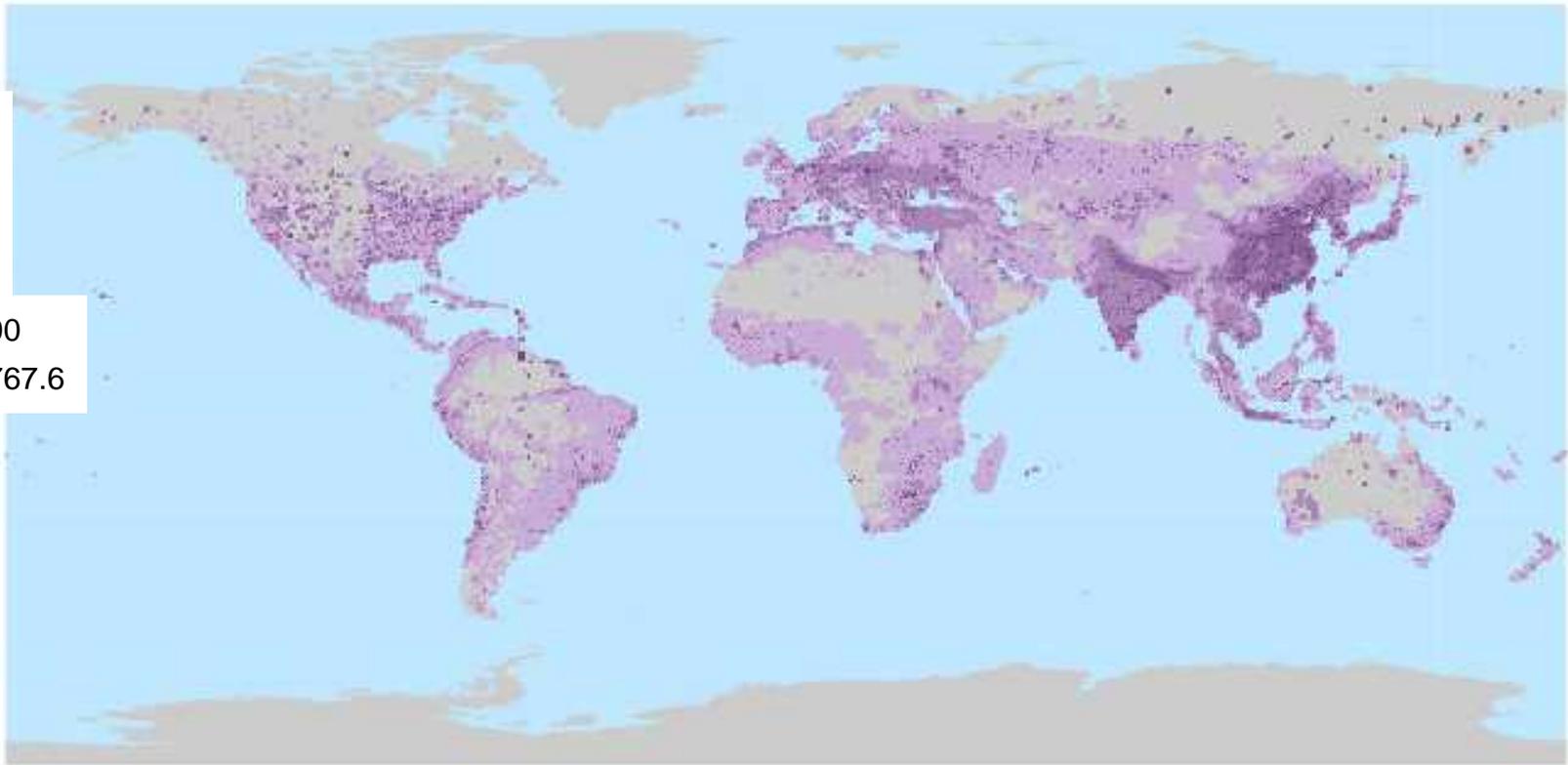
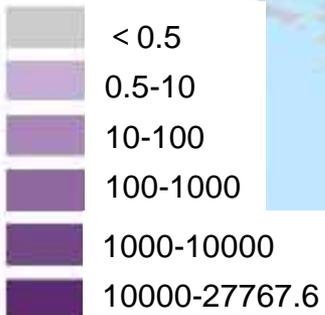
# 世界の水銀の大気排出量(地域別変化)

- アジアが最大の排出地域で増加傾向
- 欧州、ロシア、北米では減少



# 世界の水銀の大気排出量 (2005年における空間分布)

総水銀  
kg/セル



(c) AMAP/INLUI/IVL, 2009

出典: UNEP. (2010) Study on mercury sources and emissions, and analysis of cost and effectiveness of control measures “UNEP Paragraph 29 study”. (原典: AMAP. (2010) Updating Historical Global Inventories of Anthropogenic Mercury Emissions to Air, AMAP Technical Report No. 3.)

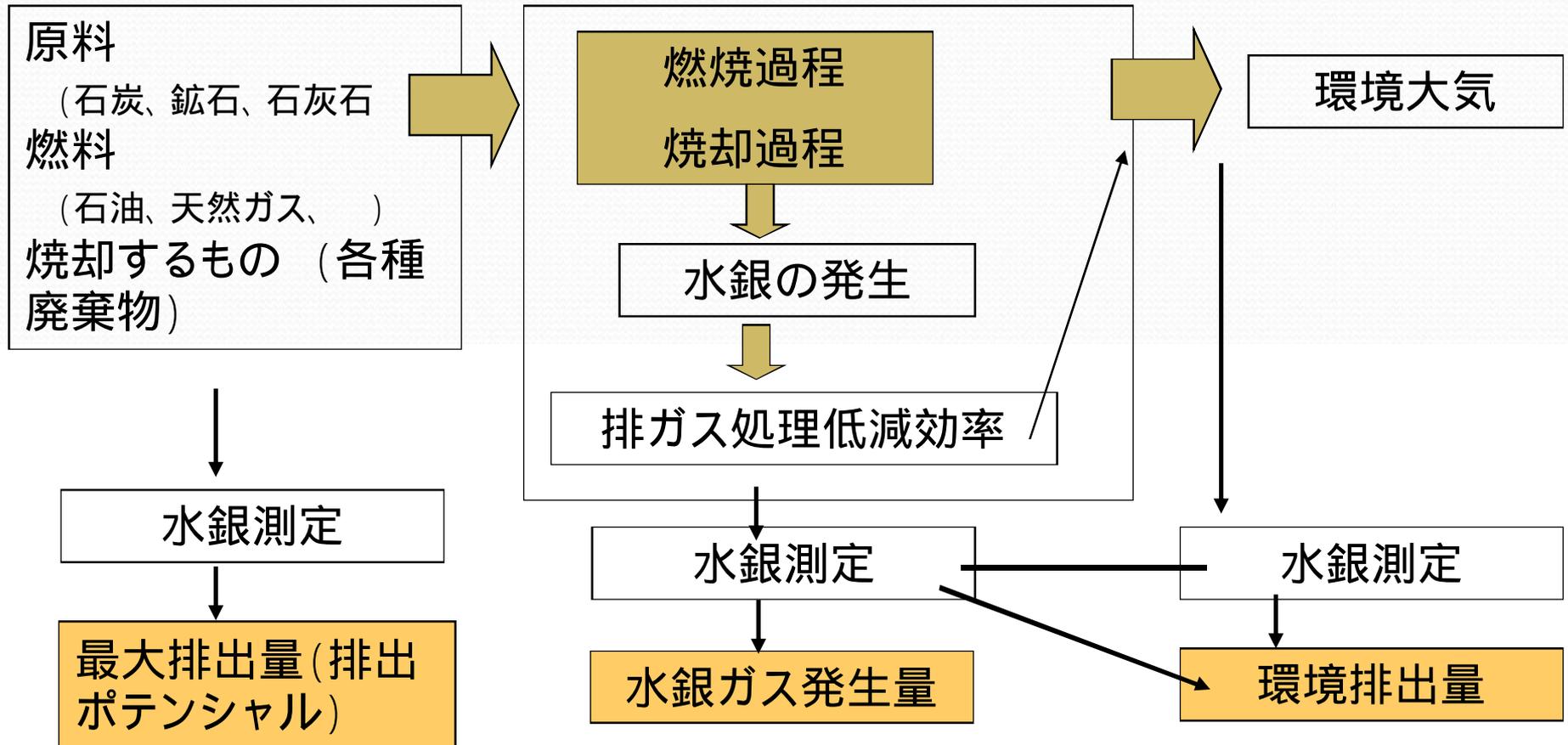
# 水銀の大気排出量

## 排出源

燃焼・ 焼却部門	石炭燃焼	火力発電 事業用ボイラー	製造部門	鉄鋼・製鉄	その他	火葬	
	石油燃焼	火力発電 事業用ボイラー		非鉄金属		蛍光灯回収・破砕	
	一般廃棄物燃焼			セメント製造		歯科(アマルガム)	
	医療廃棄物燃焼			石灰石製造		埋立地ガス	
	下水汚泥焼却・溶融			カーボンブラック製造		運輸(燃料由来)	
	産業廃棄物燃焼	廃プラスチック類			コーク製造	自然由来	火山
		紙くず			パルプ・製紙	二次的な放出	山火事
		木くず			塩素アルカリ工業		農薬
		繊維くず			バッテリー製造	他地域からの流入	
		ゴムくず			電気スイッチ製造		
その他汚泥			蛍光灯製造				
シュレッダーダスト		その他の製造業					
その他							

# 水銀の大気排出量

## 推計方法



**排出係数：活動量（使用量など）に対してどれだけ発生するかを示す指標**

# 日本の水銀の大気排出量

(1980年代推定)

1980年代、非水銀使用の製造業からの大気排出量は60トンと推定された

生産・原料品名	平均水銀濃度(mg/kg)	水銀発生率(%)	使用量(10 <sup>6</sup> t)	水銀発生量(t/yr)
石炭類	0.2	90	102	18.4
石油	0.02	90	215	3.9
天然ガス	0.02	85	1.48	0.025
鉄鉱	0.2	80	127	20.3
非鉄金属鉱	3	70	4.39	9.2
セメント	0.1	80	78.85	6.3
ガラス	0.1	80	3.28	0.26
耐火物	0.1	80	1.17	0.094
陶磁器	0.1	80	1.98	0.16
その他				1
合計				59.64
需要水銀量(t)			230	138

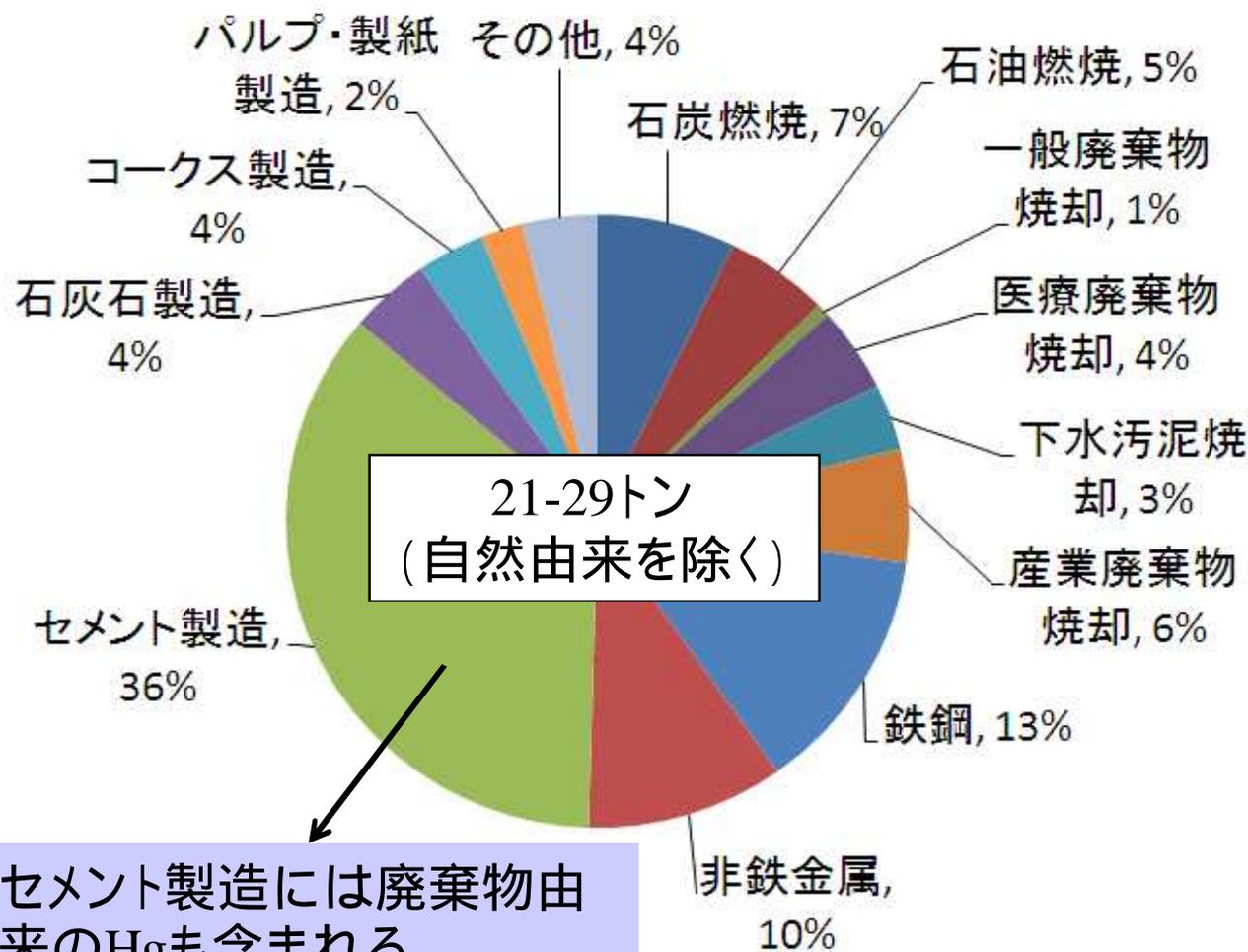
出典: 中川良三. (1987) 環境大気中の水銀発生源、安全工学、26(2): 70-78

# 日本の水銀の大気排出量 (2002、2005)

部門	項目	2002年ベース 排出インベントリ(Mg/yr)	2005年ベース 排出インベントリ(Mg/yr)	
燃焼部門	石炭燃焼	火力発電	1.081	1.229
		産業用ボイラ-	0.33	0.569
	石油燃焼	火力発電	0.307	0.299
		産業用ボイラ-	1.19	1.05
	一般廃棄物燃焼	0.107 ~ 0.247	0.098 ~ 0.236	
	医療廃棄物燃焼	0.49 ~ 1.64	0.57 ~ 1.68	
	下水汚泥焼却・溶融	0.253 ~ 1.46	0.258 ~ 1.48	
	産業廃棄物燃焼	廃プラスチック類	0.016 ~ 0.537	0.017 ~ 0.657
		紙くず	0.013	0.0055
		木くず	0.020 ~ 0.178	0.013 ~ 0.116
		繊維くず	0.0033 ~ 0.010	0.0033 ~ 0.011
		ゴムくず	$1.43 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-3}$	0.000021 ~ 0.0019
その他汚泥		0.521	0.661	
シュレッダ-ダスト		0.049 ~ 0.793	0.049 ~ 0.793	
製造部門	鉄鋼・製鉄	3.14	3.26	
	非鉄金属製錬	0.52 ~ 3.56	0.52 ~ 4.61	
	セメント製造	8.94	8.94	
	石灰石製造	1.06	1.06	
	カーボンブラック製造	0.113	0.121	
	コークス製造	0.773	0.886	
	パルプ・製紙	0.423 ~ 0.648	0.427 ~ 0.652	
	塩素アル加工業	0	0	
	バッテリー製造	0.00087	0.00183	
	電気スイッチ製造	0.00433	0.00433	
	蛍光灯製造	0.026	0.018	
その他	火葬	0.057	0.056	
	蛍光灯回収・破碎	$8.13 \times 10^{-6} \sim 1.02 \times 10^{-5}$	$7.23 \times 10^{-6} \sim 9.03 \times 10^{-6}$	
	歯科(アマルガム)	0.0077	0.003	
	運輸(燃料由来)	0.797	0.773	
自然由来	火山	>1.4	>1.4	
計 ( )は自然由来を除く		21.642 ~ 28.835 (20.242 ~ 27.435)	22.292 ~ 30.574 (20.892 ~ 29.174)	

出典：2002年ベース：貴田晶子、平井康宏、酒井伸一、守富寛、高岡昌輝、安田憲二「循環廃棄過程を含めた水銀の排出インベントリ-と排出削減に関する研究」(平成17～19年度)、2005年ベース：上記報告書の排出係数、総括排出係数、排出低減効率を用いて、2005年ベースのインベントリを新たに算定。

# 日本の水銀の大気排出量 (2005)



セメント製造には廃棄物由来のHgも含まれる

- 現在2010年の排出量を推計中
- 排出量全体の推定値に大きな変動はないと思われる
- しかし次の排出源は大きな幅があり、精査が必要
- 非鉄金属
- 産業廃棄物焼却

# まとめ

- 世界の年間水銀生産量は10,000tから2009年には1900tへ減少
- 2005年の水銀需要量は約3800トン/年
- 工業国における使用削減は、クロロアルカリ工業が最優先
- 日本の水銀需要は10-15トン/年、回収水銀量は約90トン/年

- 世界の水銀の大気排出量は約1920トン/年(2005年)
- 日本の水銀の大気排出量は21-29トン/年(2005年)

- 水銀は使用していなくても、大気排出が問題となる。
- 資源循環は重要であるが、地球規模の長距離移動が懸念される水銀は循環できない物質と考えられる。
- 回収水銀は、他の地域での大気排出を避けねばならない。



環境省環境研究総合推進費補助金による「水銀など有害金属の循環利用における適正管理に関する研究(代表 京都大学高岡昌輝教授)が進められています。