

環境と有害物質： 微量元素の環境動態と問題例

三重大学 社会連携研究センター

伊賀研究拠点

教授 山本好男

はじめに

- 有害物の代表格：亜鉛、銅、クロムなどの重金属類

足尾銅山の鉛毒問題、ヒ素ミルクによる中毒事件、有機メチル水銀による水俣病、カドミウムによるイタイイタイ病などの公害問題

- 近年の研究：重金属類の欠乏、過剰—健康や病気に深いつながりを持つ

必須性：鉄、亜鉛、銅、マンガン、クロム、モリブデン、セレン、ヨウ素、コバルト

(赤字：必須微量元素、青字：必須超微量元素)

なくても困る重金属

無理なダイエット・ファーストフード偏食

亜鉛欠乏：亜鉛が欠乏すると舌の味蕾にある細胞の新陳代謝に支障（味がわからなくなる）

ストレス

ストレスが増大すると血液中亜鉛濃度が減少、銅濃度が上昇

老化（目における消長）

鉄、銅、亜鉛、マグネシウムが減少、コバルト、ニッケル、セレンが増加

ヒト体内における元素の分類

分類	ヒト体重1gあたりの存在量	ヒトに必須
多量元素	10 mg以上	酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、リン
少量元素	1 ~ 10 mg	イオウ、カリウム、ナトリウム、塩素、マグネシウム
微量元素	1 ~ 100 μ g	鉄、亜鉛、銅、マンガン、
超微量元素	20 ~ 1000 ng	クロム、モリブデン、セレン、ヨウ素、コバルト

有害元素・汚染元素

人体中の微量元素

● 鉄	85.7 mg/kg
● フッ素*	42.8 mg/kg
● ケイ素*	28.5 mg/kg
● 亜鉛	28.5 mg/kg
● ストロンチウム	4.57 mg/kg
● ルビジウム	4.57 mg/kg
● 鉛	1.71 mg/kg
● マンガン	1.43 mg/kg
● 銅	1.14 mg/kg

赤字: 人での必須性あり、*: 非金属元素

人体中の超微量元素(mg/kg)

• アルミニウム	0.857	• ニッケル	0.143
• カドミウム	0.714	• ホウ素*	0.143
• スズ	0.286	• クロム	0.0285
• バリウム	0.243	• ヒ素*	0.0285
• 水銀	0.186	• コバルト	0.0214
• セレン*	0.171	• バナジウム	0.0214
• ヨウ素*	0.157		
• モリブデン	0.143		

赤字: 人での必須性あり

*: 非金属元素

金属元素類の比較

金属元素	地 殻	海 水	河川水	人 体
ナトリウム	26.3 g/kg	11.1 g/L	9.0 mg/L	1.5 g/kg
カリウム	24.0 g/kg	0.42 g/L	2.3 mg/L	2.0 g/kg
カルシウム	34.0 g/kg	0.42 g/L	1.5 mg/L	15 g/kg
マグネシウム	19.3 g/kg	1.32 g/L	4.1 mg/L	1.5 g/kg
亜鉛	0.44 g/kg	0.005 mg/L	0.01 mg/L	0.029 g/kg
鉄	47.0 g/kg	0.003 mg/L	0.67 mg/L	0.086 g/kg
銅	0.1 g/kg	0.003 mg/L	0.005 mg/L	0.0011 g/kg
マンガン	0.9 g/kg	0.002 mg/L	0.005 mg/L	0.0014 g/kg
ニッケル	0.1 g/kg	0.002 mg/L	0.003 mg/L	0.00014 g/kg
コバルト	0.04 g/kg	0.0001 mg/L	0.0002 mg/L	0.00002 g/kg
バナジウム	0.15 g/kg	0.0015 mg/L	0.001 mg/L	0.00002 g/kg
モリブデン	0.013 g/kg	0.01 mg/L	0.001 mg/L	0.00014 g/kg

分布(動態)

環境中に豊富に存在する元素

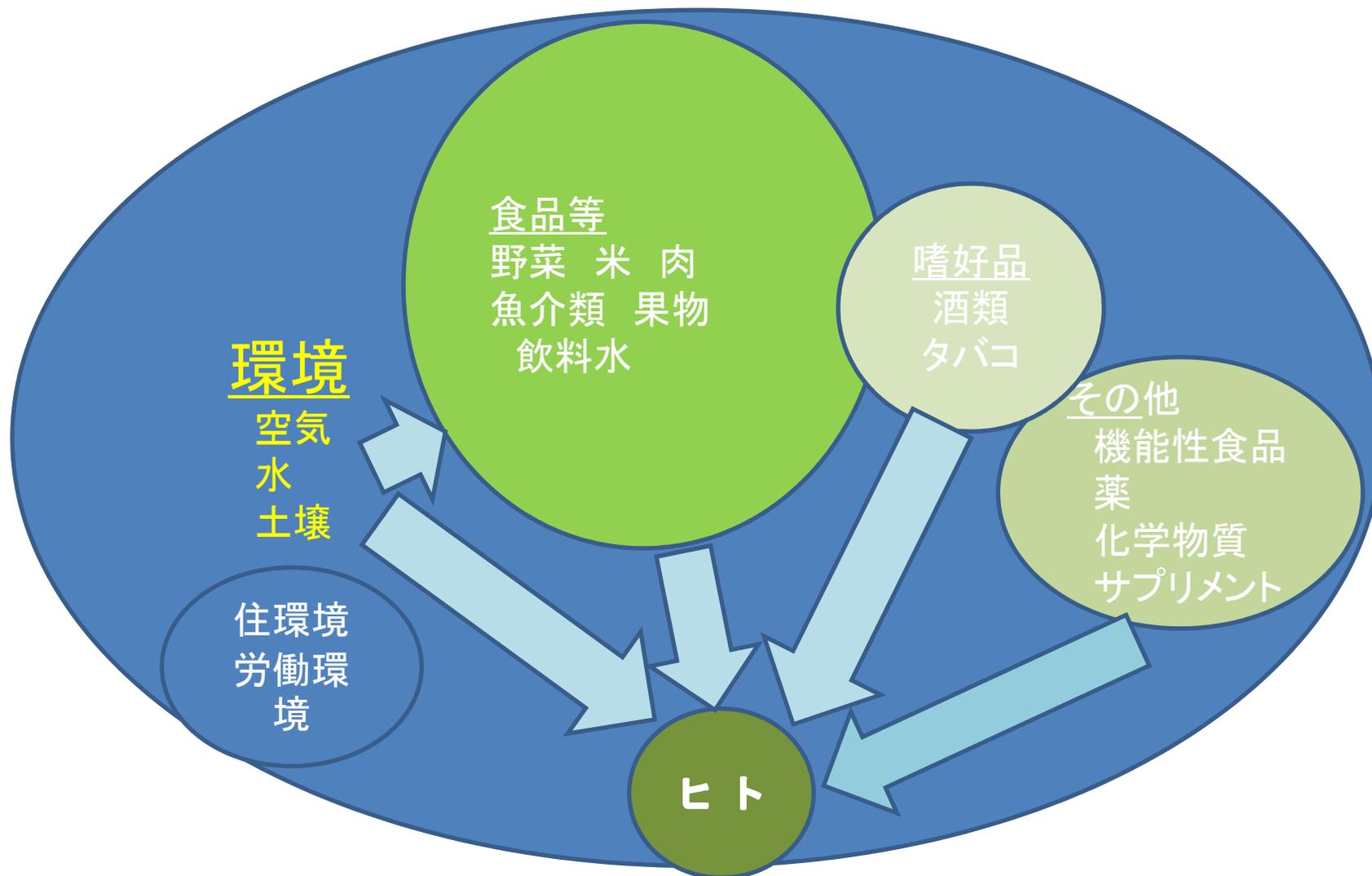


生物体に
取り込まれやすい

海水中の各元素の分布とヒトの肝臓中の各元素の
分布は統計的に高い相関性($r=0.8$)がある

生命は海洋にその起源を有する証

重金属元素の摂取・暴露



体内分布

- 基本的な生体分子：酸素、水素、炭素、窒素、リン、イオウ（6元素）
- カルシウム、カリウム、ナトリウム、マグネシウム、アルミニウム（5元素）
- 鉄、亜鉛、マンガン、コバルト、銅、モリブデン、ニッケル、ヨウ素、ケイ素、クロム、セレン、フッ素（12元素）
- 個々の元素により標的臓器が異なる
- 特徴ある体内分布を示す
- 多数のタンパク質や酵素中に存在
- 酵素、タンパク質、ホルモンによって調節
- タンパク質と結合し生理作用を増幅⇒微量で可
- 一定の濃度範囲で存在、年齢や健康状態に依存

排泄

- 個々の元素により異なる
- 尿、糞、汗、毛、爪、皮膚から排泄

例

- 鉄(Fe): 糞や尿に現れる量は少ない。糞に排泄: 吸収されなかった食物中の鉄、排泄鉄は剥離細胞、胆汁(ヘモグロビンの分解)、汗、毛、爪、皮膚から連続的に失われる
- 亜鉛(Zn): 大部分糞便中に排泄(未吸収のZn)、体内のZnは**膵液**から小腸へ、ごく少量は胆汁、盲腸、結腸中に分泌される
- マンガン(Mn): 摂取されたMnはすぐに**胆汁**に出現、数種の経路をたどりほとんどが腸管壁より糞便に排泄される、尿中への排泄は非常にわずか

有用性と有害性

- 生体内での**最適濃度範囲**がある
- その濃度範囲内で**有用な作用を発揮**する
 - 範囲以下だと**欠乏症**
 - 範囲以上だと**過剰症**もしくは**毒性**を呈する
- 必須元素が大量に必要？
 - 微量あればよい**
- 元素の種類により**最適濃度範囲**が異なる

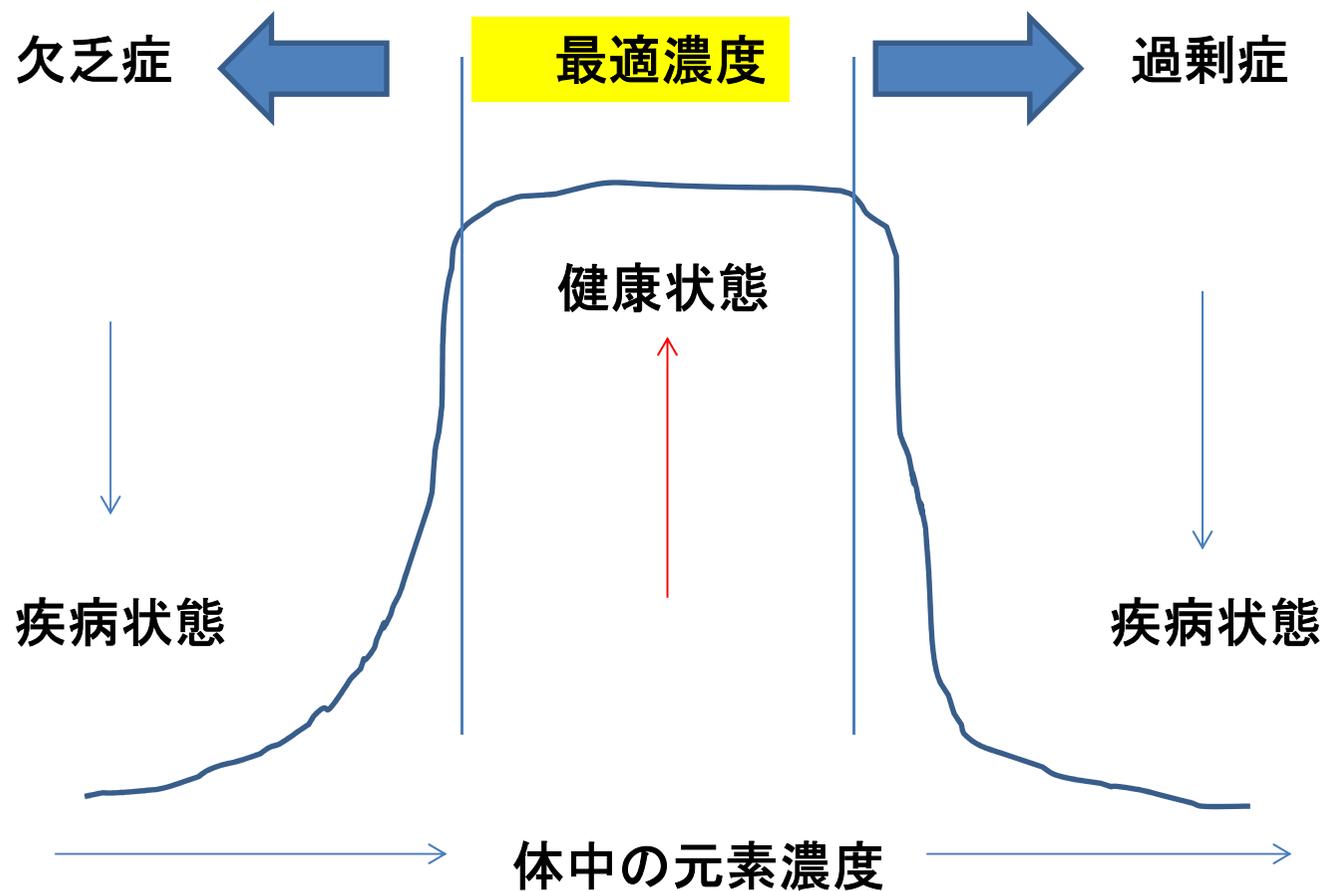
はたらき(金属タンパク質、金属酵素)

金属	金属タンパク質、金属酵素
鉄	ヘモグロビン、ミオグロビン、シトクロム類、カタラーゼ、ペルオキシダーゼ、トランスフェリン、フェリチン など
亜鉛	カルボキシペプチダーゼ、ロイシンアミノペプチダーゼ、スーパーオキシドジスムターゼ、DNAポリメラーゼ、アルコール脱水素酵素、アルカリフォスファターゼ など
銅	セルロプラスミン、メタロチオネイン、チロシナーゼ、アスコルビン酸オキシダーゼ、ヘモシアニン、スーパーオキシドジスムターゼ
マンガン	コンカナバリン、アルカリフォスファターゼ、アルギナーゼ、ピルビン酸カルボキシラーゼ、スーパーオキシドジスムターゼ

必須元素：欠乏症と過剰症

元素	欠乏症	過剰症
鉄	貧血、脱毛、根気減退	出血、嘔吐、循環器障害
亜鉛	小人症、成長抑制、食欲不振、味覚減退、生殖腺機能障害、睾丸萎縮症、知能障害	嘔吐、下痢、肺の衰弱、高熱、悪寒
銅	貧血、ちぢれ毛、食欲不振、成長減退、毛髪色素欠乏症	肝硬変、腹痛、嘔吐、下痢、運動障害、知覚神経障害、ウイルソン病
マンガン	骨格形成・発育障害、糖尿病、脂肪代謝異常、筋無力症、生殖腺機能障害、動脈硬化	肝硬変、筋肉運動不整、神経障害、パーキンソン病

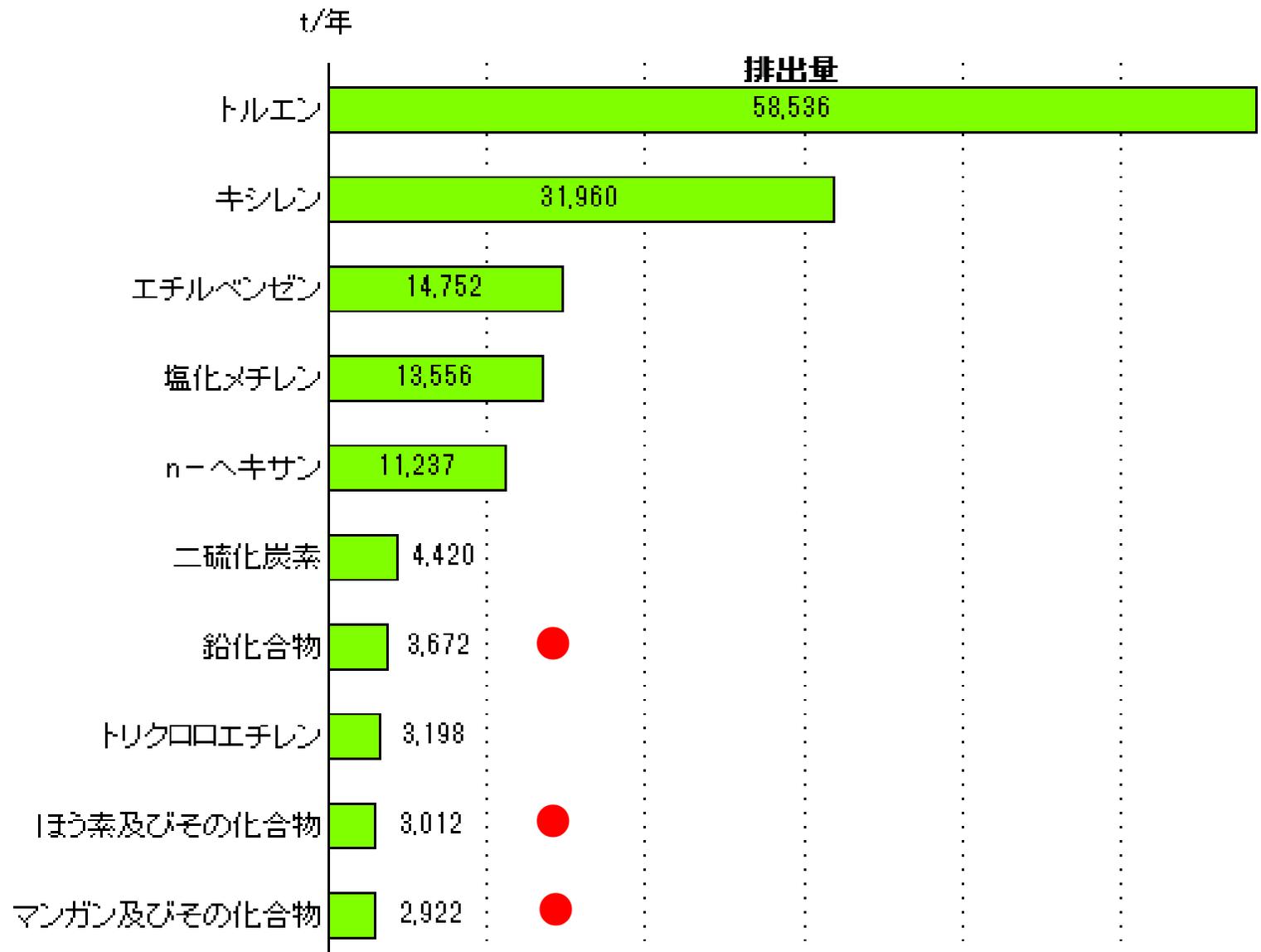
生体反応と元素濃度の関係



PRTR情報(平成23年度) 届出排出量・移動量

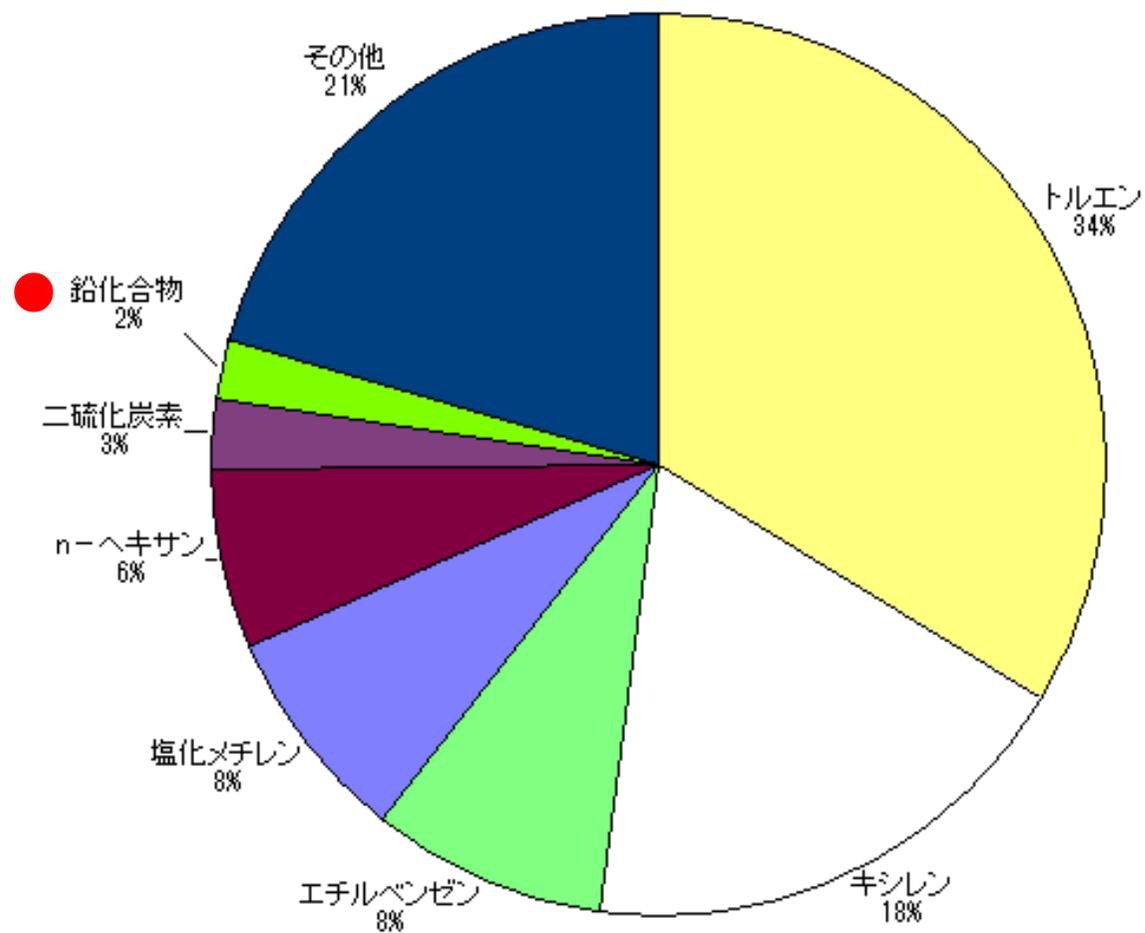
届出排出量上位10物質とその排出量

平成23年度



排出量の多かった物質とその割合

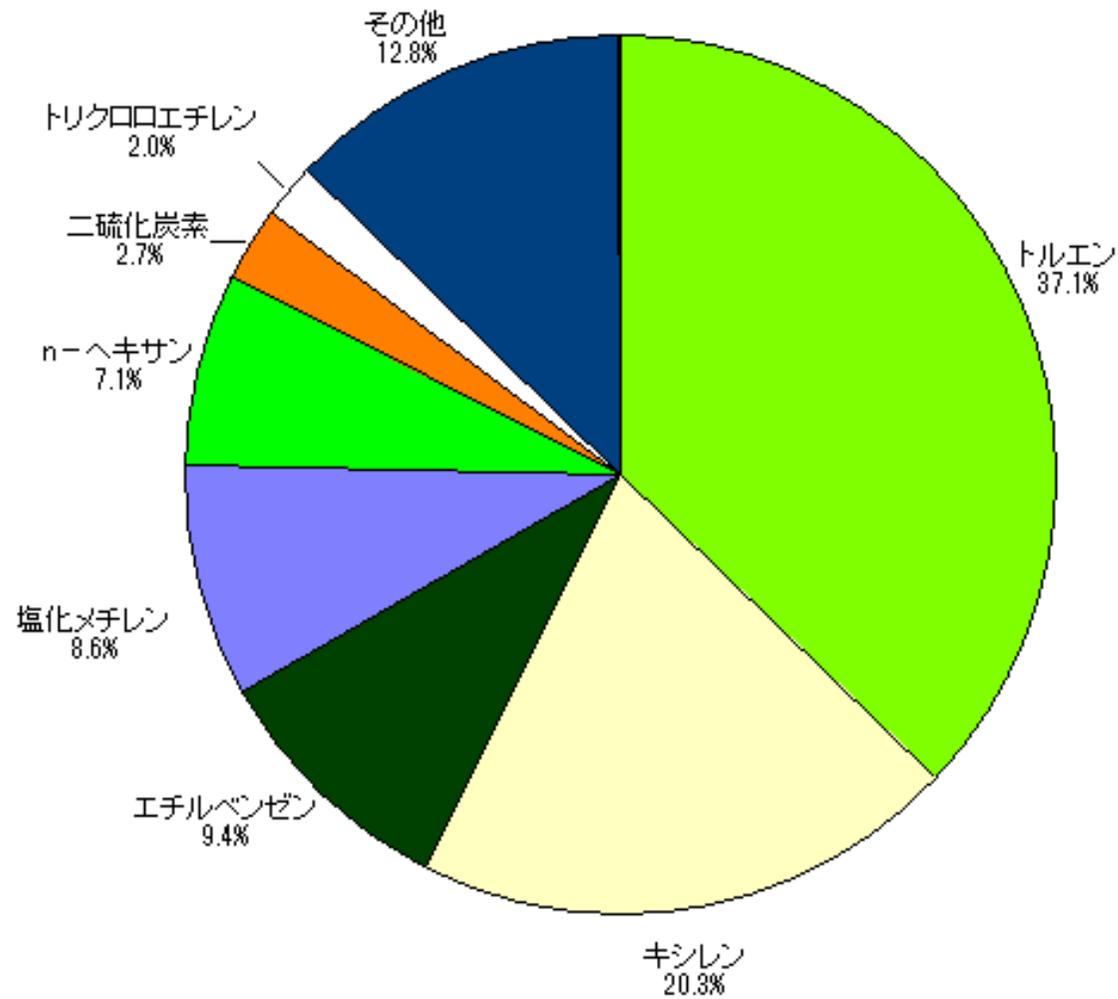
平成23年度



全物質合計届出排出量
173,843 t/年

排出先別の排出量の対象物質構成比
(大気への排出)

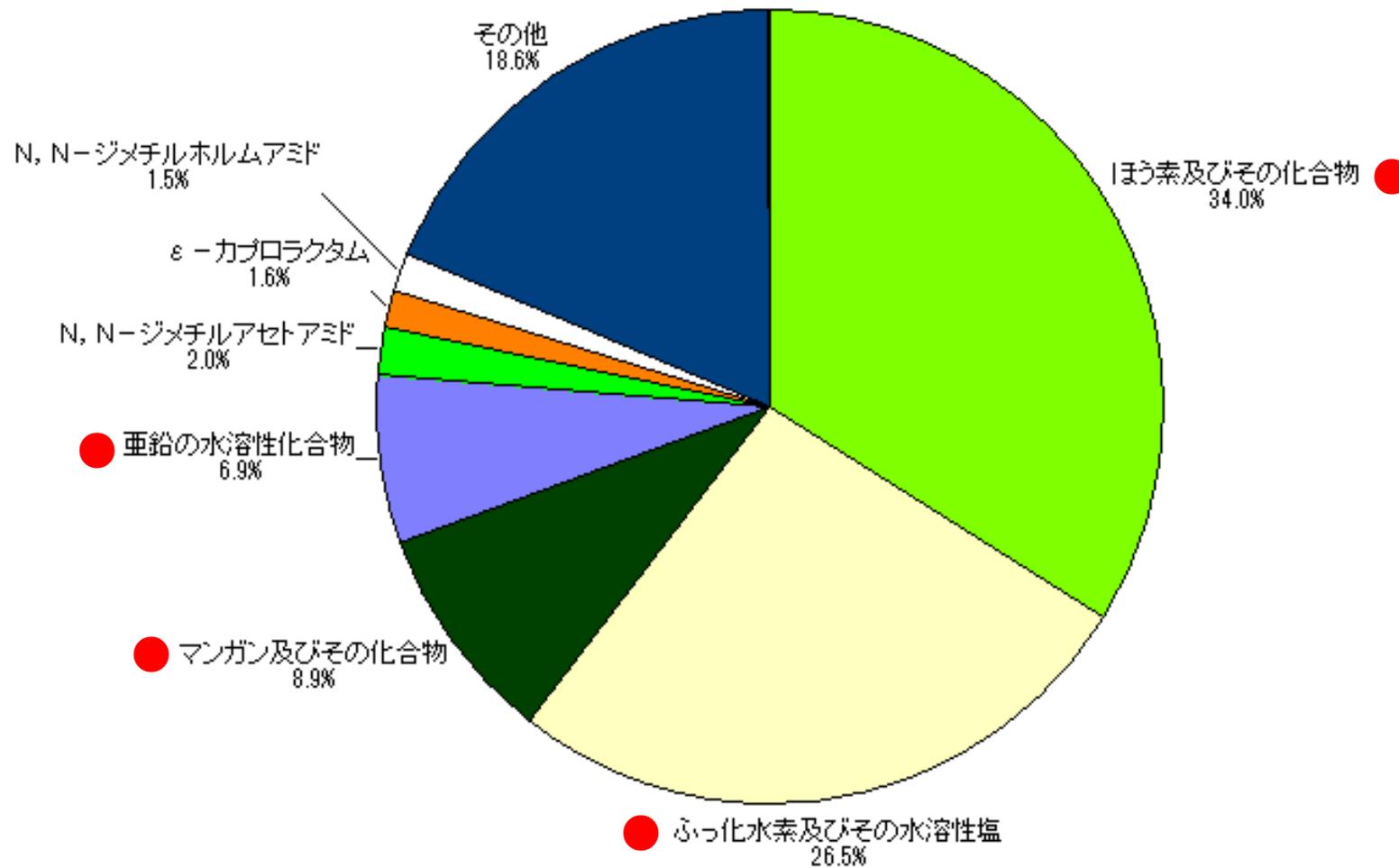
平成23年度



全物質合計排出量
157,660.5 t/年

排出先別の排出量の対象物質構成比
(公共用水域への排出)

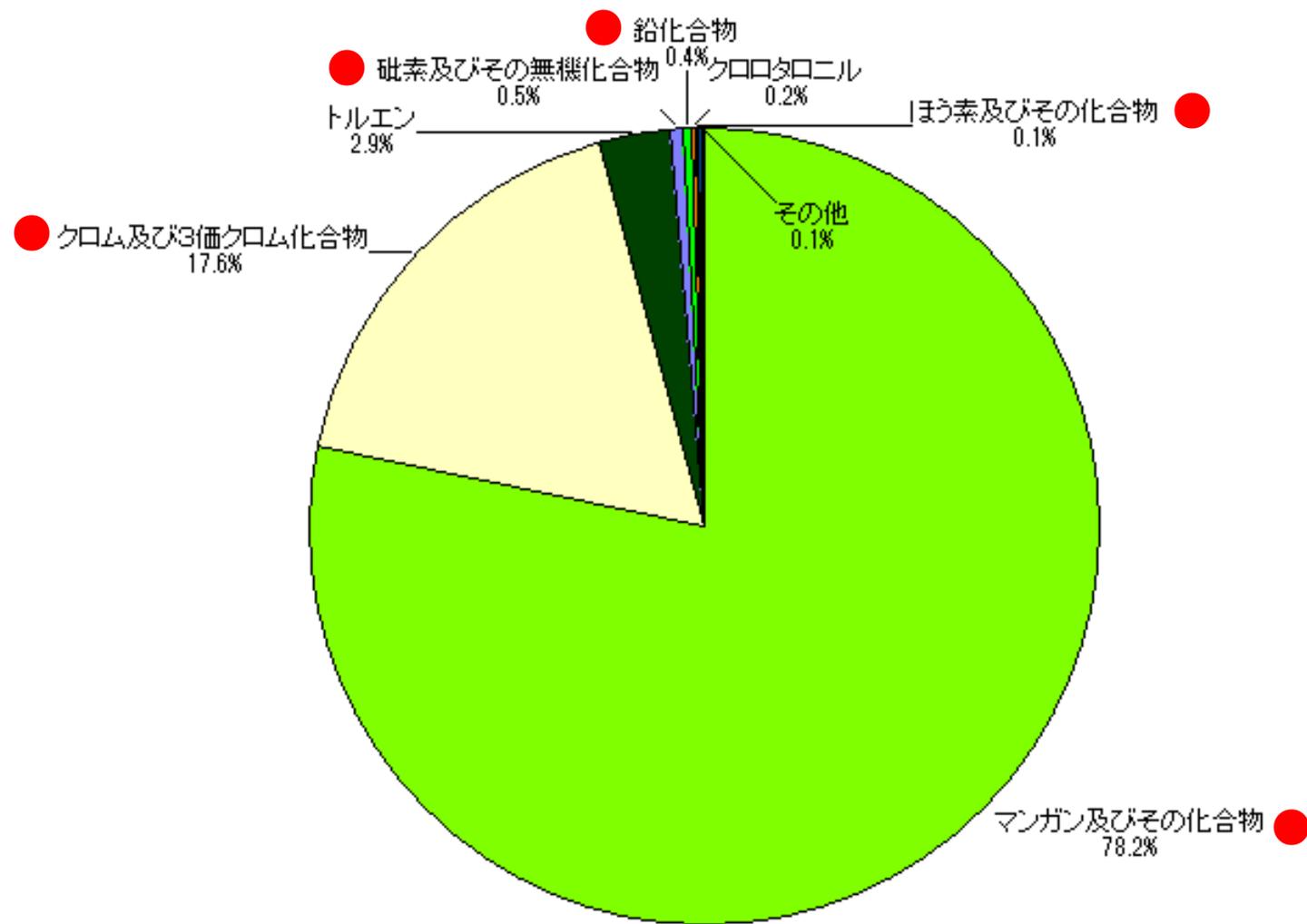
平成23年度



全物質合計排出量
8,558.8 t/年

平成23年度

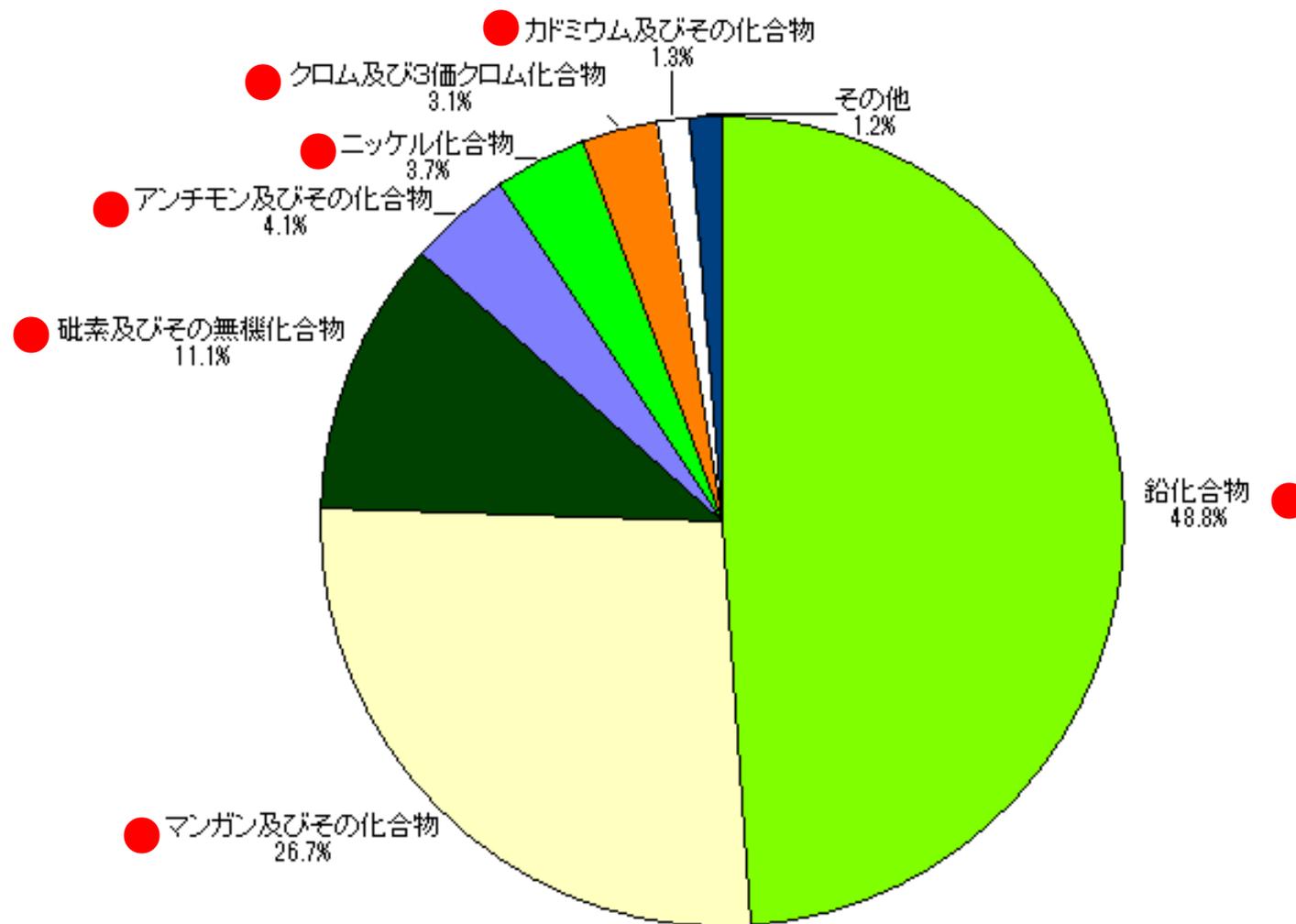
排出先別の排出量の対象物質構成比 (土壌への排出)



全物質合計排出量
153.7 t/年

排出先別の排出量の対象物質構成比
(事業所敷地内の埋立処分)

平成23年度



全物質合計排出量
7,470.1 t/年

問題になった元素・公害等

- 足尾銅山鉍毒事件：**銅**
- イタイイタイ病：**カドミウム**
- 熊本水俣病：**水銀、メチル水銀**
- 新潟水俣病：**メチル水銀**
- 森永ヒ素ミルク事件：**ヒ素**
- 安中製錬所：**カドミウム**
- 磐梯町一ノ沢：**カドミウム**
- 土呂久鉍毒事件：**ヒ素**
- 江東不法投棄事件：**六価クロム**

など

土壌汚染と健康

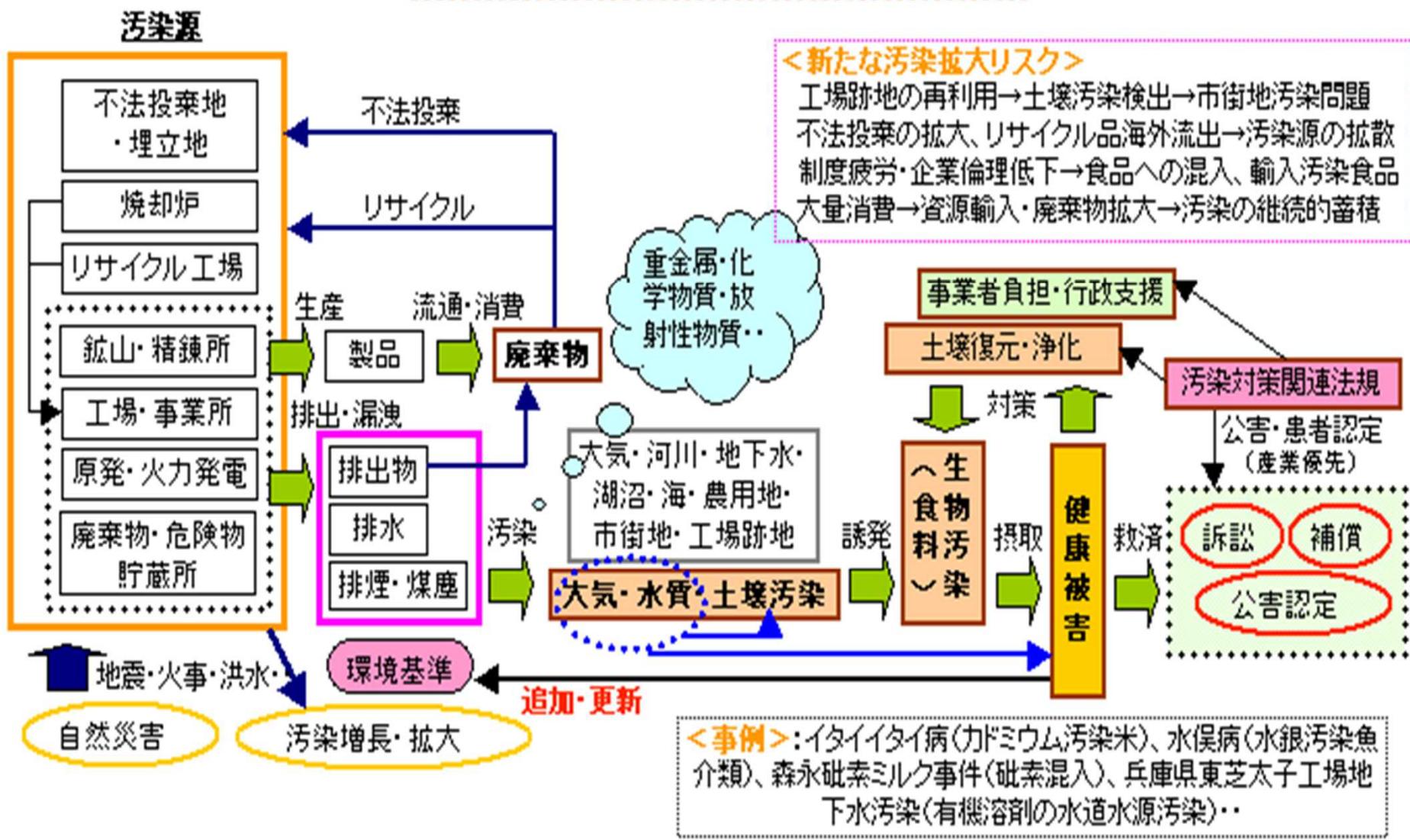
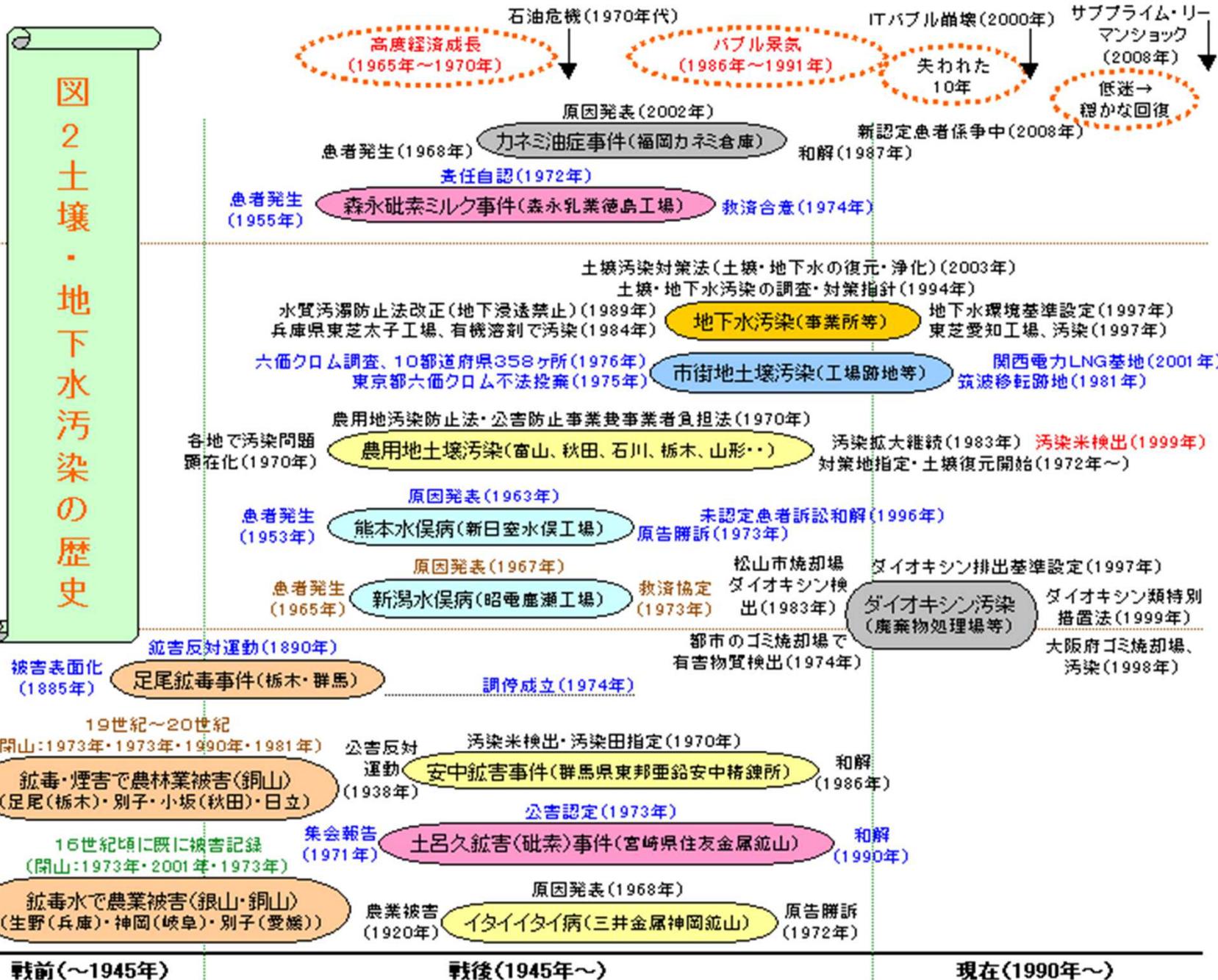


図2 土壌・地下水汚染の歴史

混入等

事業所等

鉱山等



自験例

- **六価クロムによる地下水汚染**
 - 草津市〇地区：原因企業の特定、汚染土壌の除去等が行われた。今なお六価クロムに係る水質環境基準を上回る汚染が継続している。
 - 原因企業は汚染地下水の揚水処理を行っている。
- **アンチモンによる地下水、河川水、大気、土壌汚染、住民被害**
 - 米原市〇地区：原鉱石から金属アンチモンと酸化アンチモンを生産する企業が操業開始。
 - 操業翌年、工場の排気ガスなどによる汚染がわかり、5年後県公害防止条例が改正され、施設改善と排出規制が実施された。
 - 周辺の地下水からアンチモンが検出され、地下水汚染が判明した。
 - 煤煙、粉じん、工場排水等に起因する我が国でも数少ない事例。その後、10年間にわたり、住民の健康診断をはじめ、動物実験や爪・皮膚疹等の検査を実施した。（県重金属公害研究対策推進委員会の一員として動物実験を担当）