



土壤汚染のリスク管理とリスク評価

ーリスクコミュニケーション事例を含めてー

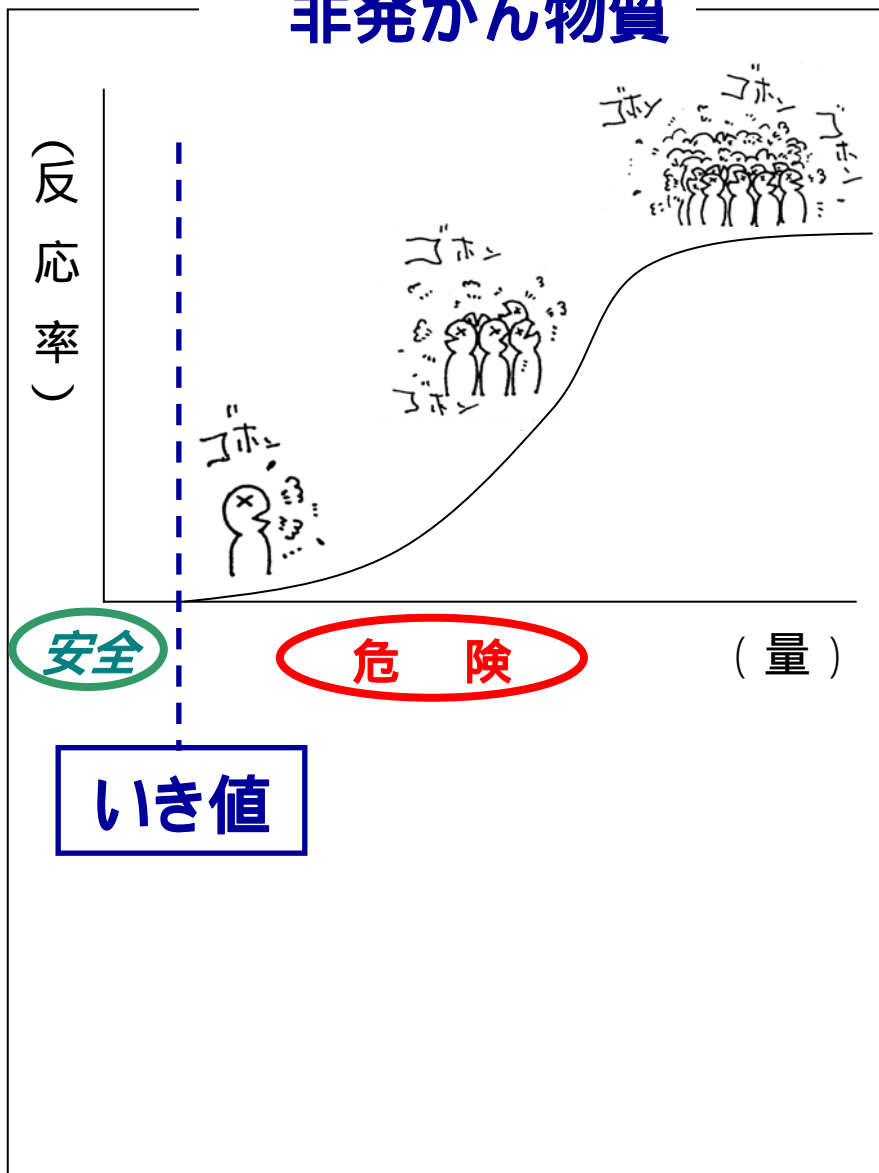
京都大学名誉教授
内山 巖雄

土壤汚染対策セミナー 2010.02.26 京都

- **土壤汚染による化学物質の環境リスクと
その考え方**

従来の考え方

非発がん物質



発がん物質

食品添加物
農薬) - 使用禁止

製造工場 - (製造禁止
特別管理物質等



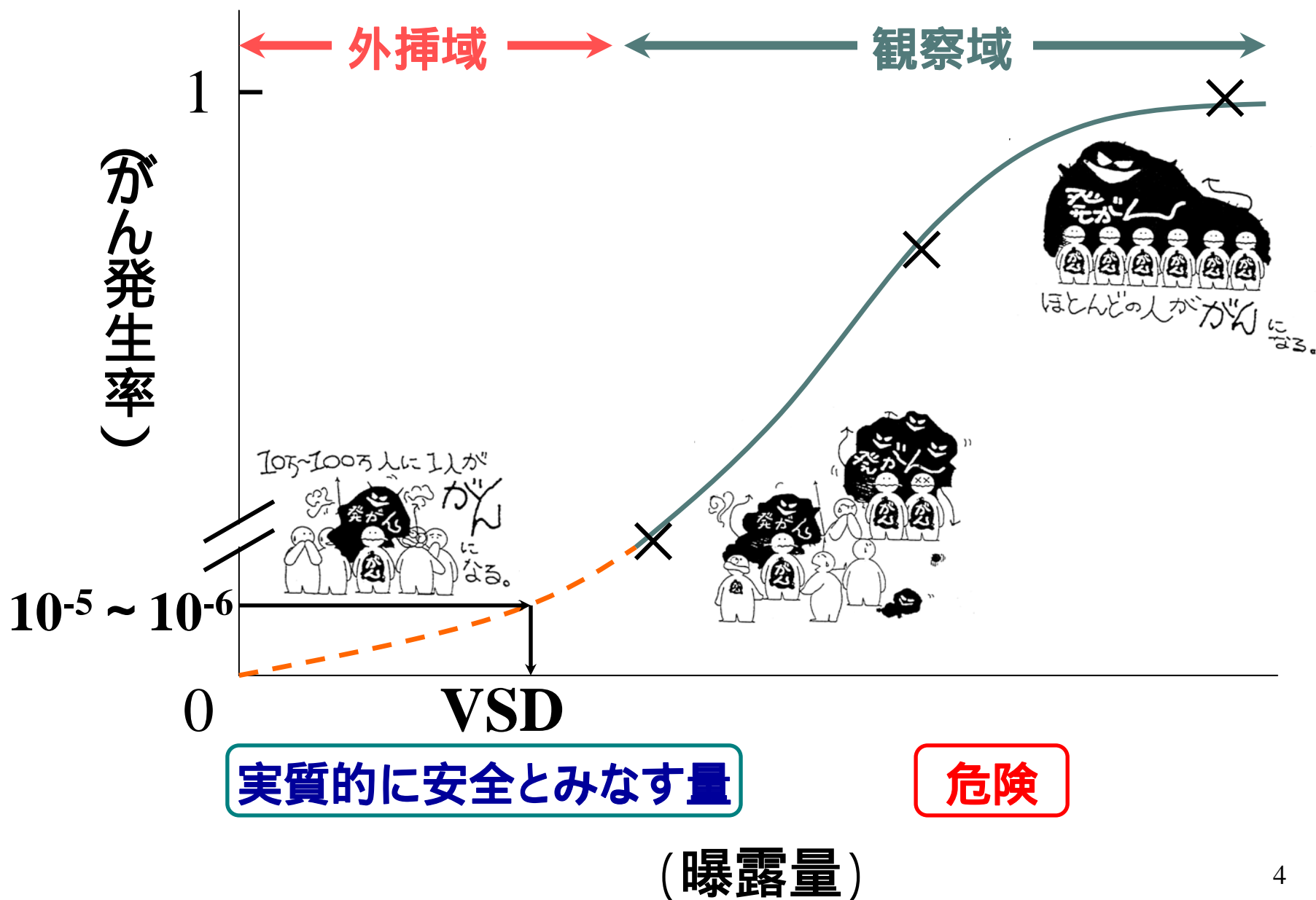
多種多様

利便性



全面禁止は困難

いき値の無い発がん物質の安全をどう考えたら良いか



化学物質管理におけるリスクの概念

「ある化学物質の曝露により起こり得る望ましくない影響の発生の予測値」

(WHO,1979)

リスク = (有害性の強さ) & (ばく露量)
(被害の大きさ) & (被害が起こる可能性)

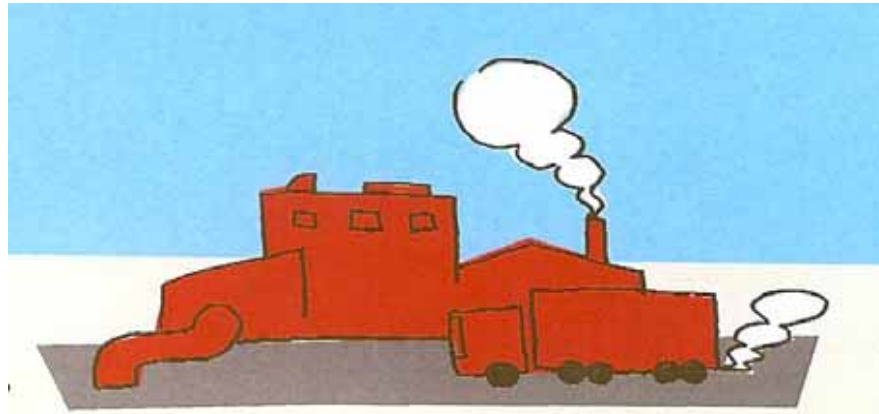
- * 健康に対するリスク・生態系に対するリスク
- * 化学物質には有用性(利便性)もあるがリスクもある
- * 環境中の化学物質のリスクは受身・自分で管理できないリスク
- * 受身のリスクの許容度(安心)は, 自発的リスク(レジャー, 交通事故など)の1/100 ~ 1/1000といわれている
- * 被害の未然防止, 包括的な対応が必要

わが国の生涯(死亡)リスク

- 喫煙による肺がん(34900人/年) 2.0×10^{-2}
($45188 \times 0.7 + 16873 \times 0.2$)/ $1.3 \times 10^8 = 2.7 \times 10^{-4}$ /年
- 交通事故 (8980人/年) 5.2×10^{-3}
- 台風による風水害 (約50人/年) 2.9×10^{-5}
- 落雷による事故 (2人/年) 1.2×10^{-6}

- スペースシャトルの安全性:
99.9999% (10^{-6} 以下の事故確率なら許容)
- 10^{-6} 以下 であれば無視しうるリスクと考える
- 10^{-5} 以下 わが国の環境基準の当面の生涯リスクレベル

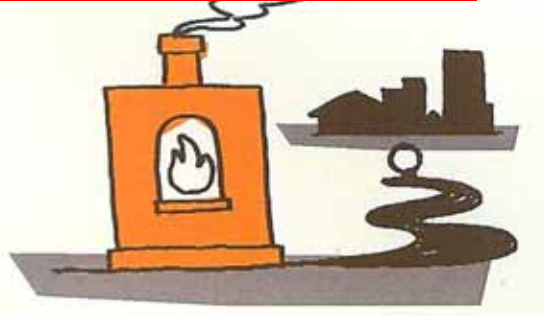
化学物質のリスクは様々な場面で



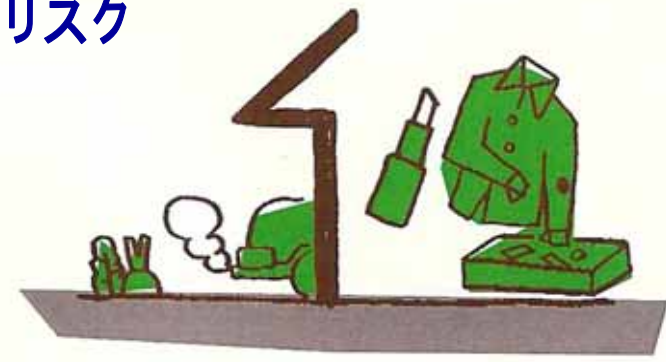
作る時の化学物質
のリスク
工場敷地の土壌汚染

アスベストは作る時のリスクは考えたが
使って古くなった時, 壊す時, 捨てる時の
リスクを十分考えなかった

捨てる時の
化学物質のリスク
処分場周辺の土壌汚染



使う時の化学物質
のリスク



ライフサイクルアセスメント(LCA)を考えて



化学物質管理へのリスクの概念の導入

- 1992年 WHOの指針に準じた水道水の水質基準改正・ 10^{-5} 以下(厚生省)
- 1994年 環境基本計画 「化学物質の環境リスク対策」
- 1996年 環境庁中央環境審議会の答申
「これからの有害大気汚染物質対策はリスクアセスメントを行うのが適当」
- 1996-1997年 ダイオキシン類のTDIの設定(厚生省、環境庁)

化学物質管理へのリスクの概念の導入⁽²⁾

- 1997年 ベンゼンの大気環境基準の設定
当面生涯リスクレベル 10^{-5} 以下(環境庁)
- 1999年 ダイオキシン類のTDIの見直し
生体負荷量の概念の導入(厚生省、環境庁)
- 2000年～ 室内空気汚染に係るガイドライン値策定
(厚生省)
- 2002.3 DEP(ディーゼル排気粒子)の健康リスク評価
ベンチマークドーズ法の採用(環境省)
- **2003.2 土壌汚染対策法の施行(環境省)**
- 2003 化審法に生態リスク評価を入れる改正
(厚労・通産・環境省)



土壤汚染による環境リスク

1. 人の健康の保護の観点

汚染土壤の摂食及び皮膚吸収、地下水等の飲用、大気の吸入、魚介類や農作物等の摂食

2. 生活環境の保全の観点

生活環境の阻害(悪臭、油膜、不快感等)、農作物等の生育阻害、生態系への影響



土壤汚染対策法の指定基準の考え方

- 直接摂取防止：土壤含有量基準
- 地下水経由のばく露防止：土壤溶出量基準

汚染物質の分類と基準の設定状況

汚染物質の分類	対象物質	含有量基準	溶出量基準
第一種特定有害物質	揮発性有機化合物(VOC)	-	
第二種特定有害物質	重金属等		
第三種特定有害物質	農薬とPCB	-	



各分類別の有害物質の性状と特徴

分類	性状と特徴
第一種 特定有害物質	地下浸透しやすく、地下水を汚染しやすいが、この性状と揮発性が高いことから、表層土壌に長期間、高濃度で留まる可能性は低く、土壌粒子の直接摂食による健康リスクは少ない
第二種 特定有害物質	土壌中を動きにくく、表層土壌に長期間留まるため、直接摂取する可能性が高い。VOCに比較すると、地下水を汚染しにくいですが、基準を超過する地下水汚染もみられる。
第三種 特定有害物質	農薬類とPCBでは挙動が大きく異なる。土壌残留性農薬の使用は禁止されているので、長期間、表層土壌に留まる可能性は低い。PCBは長期間土壌中に残留するが、ダイオキシン類として管理すれば、ばく露防止が図られることになる

有害化学物質の環境基準等

■ 水道水質に関する基準：水質基準46項目

(健康に関連する項目：29項目)

■ 有害大気汚染物質の環境基準

ベンゼン,トリクロロエチレン,テトラクロロエチレン,ジクロロメタン,ダイオキシン類

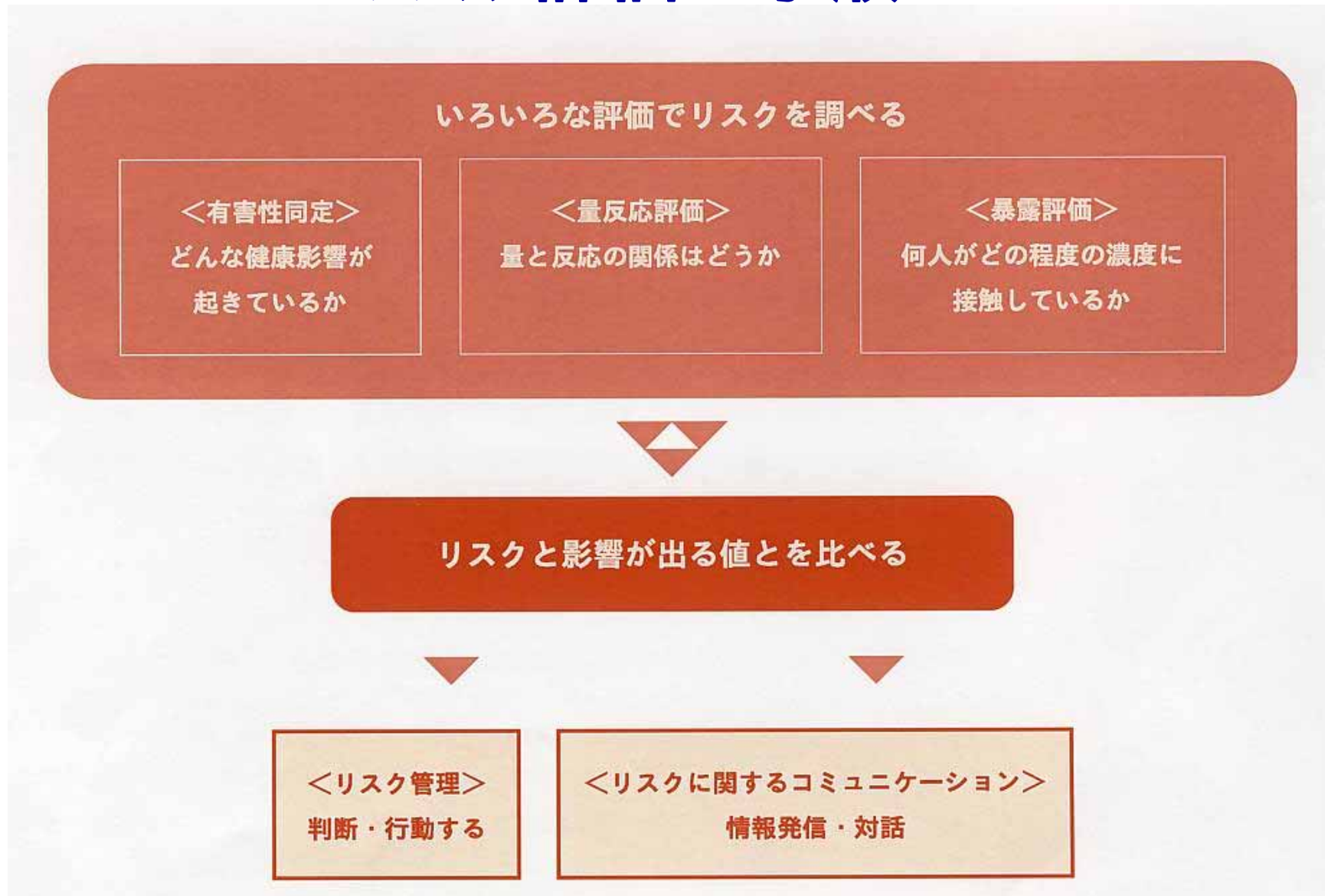
有害大気汚染物質の指針値

塩化ビニルモノマー, アクリロニトリル, 水銀, ニッケル, 1,2ジクロロエタン,
1,3ブタジエン, クロホルム

■ 室内空気汚染に係るガイドライン 13種、TVOC

■ 土壌汚染対策法の土壌含有量基準(9種)、溶出量基準(25種)

リスク評価の手順



リスク評価の手順

(1) 定性的リスクアセスメント

有害性の同定:

ある化学物質が人に対して有害性(発がん性)があるか否かを同定する

(2) 定量的リスクアセスメント

用量 - 反応アセスメント:

化学物質の量と生体の影響との定量的な関係を明らかにする

曝露アセスメント:

対象とする化学物質に人がどの程度曝露されているかを評価する。

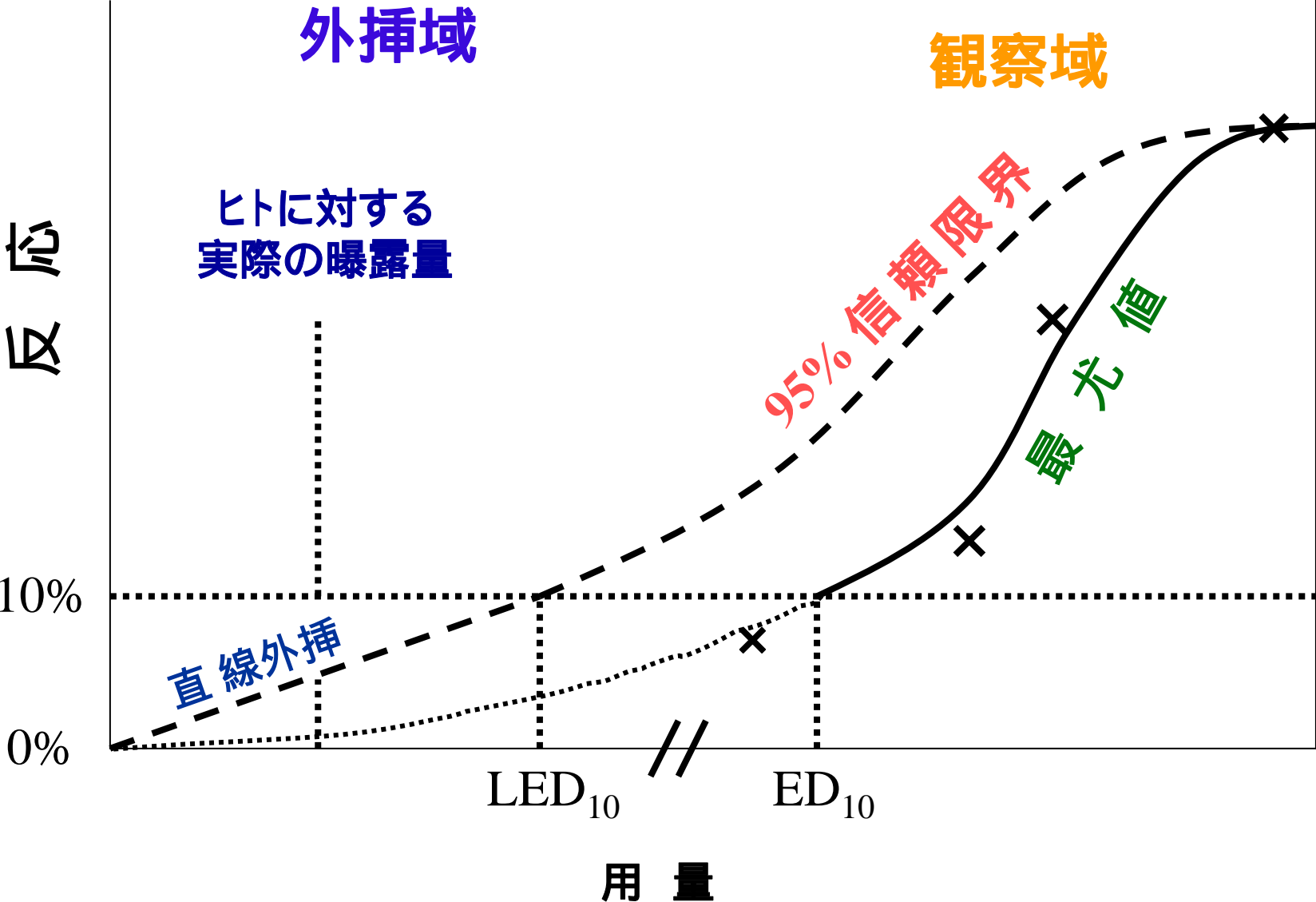
リスクの判定:

以上の結果から健康影響の特定の症状や疾患に関するリスクを推定する。

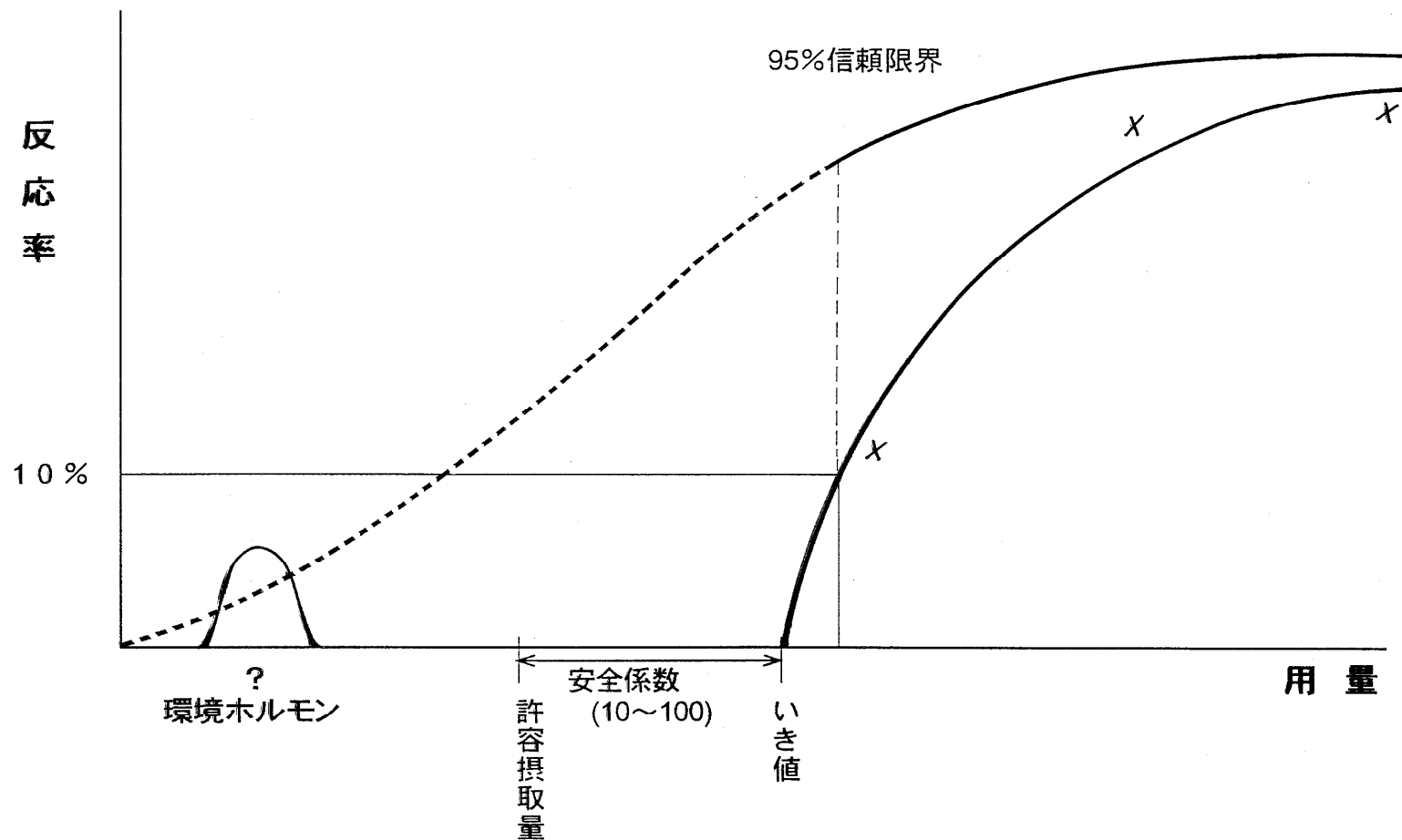
(米国NAS / NRCによる)

発がん性物質の用量-反応曲線と外挿法の例

(米国EPA,2005)



非発がん性物質と内分泌攪乱化学物質の 用量－反応曲線





基準値策定のリスク評価の手順

- 用量－反応評価

- * VSD ユニットリスク(単位摂取量($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)の有害物質を生涯摂取したときの生涯発がん確率)

- * NOAEL X 不確実係数

- LOAEL X 不確実係数

- 曝露評価

- * margin of exposure(曝露量との幅)

- * margin of safety(安全用量との幅)

- リスクの判定 指針値の策定

土壤中鉛の基準の設定根拠 1

1. 有害性の同定

- * 発がん性:疫学調査から明らかな証拠はない
- * 貧血,鉛疝痛(腹痛),手の伸筋麻痺,小児の知能発達の障害
- * いき値のある物質としてNOAEL等をもとめる

2. 用量-反応評価

- * 血中濃度 $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ 以上で,小児の知能発達の障害
- * 乳児の代謝研究から,1日摂取量: $3 \sim 4 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ では血中鉛濃度は増加しない。
- * 暫定耐容1週摂取量: $25 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{週}$ (JECFA,1986)
 $3.5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ に相当(全年齢に対象拡大,1999)

土壤中鉛の基準の設定根拠 2

3. ばく露評価

* 食事からの1日摂取量: $21.9 \mu\text{g}/\text{人}/\text{日}$

$0.438 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ に相当(2000~2004,厚労省)

* 水, 土壌からの摂取寄与率(割り当て)を10%と仮定

* 1992年当時は, 水道鉛管の使用状況を考慮。今後10年間で鉛管の敷設替えを行い, 段階的な鉛濃度の低減を図る

4. 基準の設定

* 水道水質基準

$$3.5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{日} \times 50\text{kg} \times 10\% \div 2\text{L} = \underline{0.01\text{mg}/\text{L}}$$

1992年: $0.05\text{mg}/\text{L}$ >>> 2002年: $0.01\text{mg}/\text{L}$

土壤中鉛の基準の設定根拠 3

* 土壤中鉛の溶出基準値：0.01mg/L

* 土壤中鉛の含有量基準(水道水と同等程度)

1日当たりの水道水摂取量:2L/日

子どもの時期6年間の土壌摂取量:200mg/日

大人の時期64年間の土壌摂取量:100mg/日

生涯平均体重:50kg

$$\begin{aligned} \text{基準値} &= \text{飲料水からの1日摂取量 (mg/kg/日)} / \\ &\quad \text{70年間での土壌平均1日摂取量 (mg/kg/日)} \\ &= 184.3\text{mg/kg} \quad \underline{150\text{mg/kg}} \end{aligned}$$



リスクによって決められた基準値の意味

- 生涯(70～75年)にわたって摂取し続けても影響がでないと思われる値が基準値(この値には安全係数が10～100考えてある)
- 発がんの場合は,生涯にわたって摂取したときの発がんの確率が10万人に1人以下となるように設定
- 食品添加物や農薬には発がん物質は使用禁止。
1日許容摂取量(ADI)として基準が決められている
- したがって,1,2日(1,2回)基準を超える量を摂取してしまってもほとんど影響はないと考えてよい。

リスク低減対策の対象と措置

リスク低減措置が求められる場合	措置の目的
当該土地に人が立ち入ることができる状態になっており、汚染土壌に直接接触する恐れがある場合	汚染土壌との接触を断つ
土壌汚染に起因して汚染された地下水を当該土地の周辺で飲用する恐れがある場合 現在、地下水の飲用がなければ、将来の飲用の可能性についてはリスクの低減措置は求められない	周辺への地下水汚染の拡散を防ぐ

ばく露経路	状況	講ずべき措置
直接摂取によるばく露	通常	盛土
	盛土が困難	土壌の入れ換え
	砂場等	土壌汚染の除去
地下水経由のばく露	地下水汚染がない	地下水の測定
	地下水汚染がある	原位置不溶化、不溶化埋戻し、原位置封じ込め、遮水工封じ込め、土壌汚染の除去



自然由来の土壤汚染のリスク管理

第二種特定有害物質(重金属等)による土壤汚染では、自然由来の場合があるにもかかわらず、掘削除去が行われている例が多い。掘削除去の実施に伴うリスクが発生する上に、周囲の土壤も汚染されていることが多いため、当該区域の対策のみでは効果が薄い。

自然由来の土壤汚染の特徴

- * 含有量基準を超えるのは稀で、直接摂取によるリスクは低い
- * 溶出量基準を超える汚染も、第二溶出量基準を超える汚染は稀で、高濃度の地下水汚染を引き起こす恐れは低い
- * 地域全体が同じような汚染レベルにあるため、対象土壤だけを掘削しても、地下水汚染状況は改善しない
- * 汚染土壤の移動により、新たに地下水汚染を引き起こす可能性がある

■ リスクコミュニケーションと事例



化学物質のリスクコミュニケーションの 必要性

*** 従来型 (公害対応型) : リスクメッセージ
どこまで削減すれば安全か？
(いき値があるという仮定)**

*** リスクコミュニケーションで取り扱う「リスク」
どの程度までのリスクを許容できるか (安心でき
るか) ? (いき値がないという仮定)**

リスクについてあらかじめ話しあい, リスクを減らす努力
信頼関係を築いておくことが事故等の際の対応に役立つ



何故、対話が必要か

- **施設の用地選定や新技術の使用前の承認決定**
 - * 当事者地域はそうしたものは望まない
 - * 有益な意見を得ることはできない …………… **という思いこみ**
- **対話の場の確保・有効な対話**
 - * 利害関係者の意見聴取
 - * 科学的な不確実性についての認識
 - * 代替案についての検討
 - * 透明性のある公正な政策決定のプロセス …………… **怠ると**
- **信頼の喪失, 政策決定の頓挫, プロジェクトの遅れ, 費用の増大**

リスクコミュニケーションとは？

個人、集団、組織間でのリスクに関する情報 および
意見の相互交換プロセス (National Research Council 1989)

化学物質に係わる利害関係者(企業、従業員、地域住民、消費者、行政等)が相互の信頼性と理解のレベルを向上させるためにそのリスクや対策等について相互に情報や意見の交換を行い、**リスク低減に役立てること**



成功 = 関係者間の理解と信頼のレベルが向上
リスクの低減が図られる



リスクコミュニケーションのコツ

■ 聞き方

リスクコミュニケーションにおいては傾聴能力が重要
相手の関心が何であるかを聞く
相手の言うことを打ち消さない(論破しない)

■ 話し方

相手の言うことを否定しない
専門用語はなるべく使わない
専門用語を使うときには(使った直後に)解説する
反論に夢中にならない



フレーミング効果

- 数理的には同じ期待値であっても、肯定的に表現する選択肢が、否定的に表現する選択肢より好まれる

- 選択率に差が出る例

600人中200人が助かる > 600人中400人が死ぬ

生存率で提示された治療法 > 死亡率で提示された治療法
(手術の成功率は30%) (手術の失敗する率は70%)



化学物質のリスクコミュニケーション

- **体感リスク** > **科学的リスク**
リスクを過大評価
- **体感リスク** < **科学的リスク**
リスクを過小評価

- **体感リスク = ~ 科学的リスク** → **リスク削減**

リスクコミュニケーションを含むリスク管理

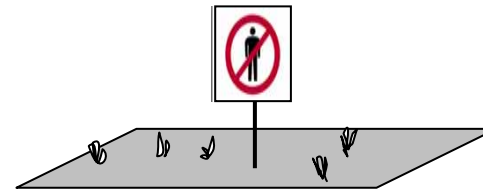
汚染の事実

リスク管理

リスクコミュニケーション



土地の有効利用



土地の放置



京都市鉾立公園土壤汚染に関する リスクコミュニケーション(1)

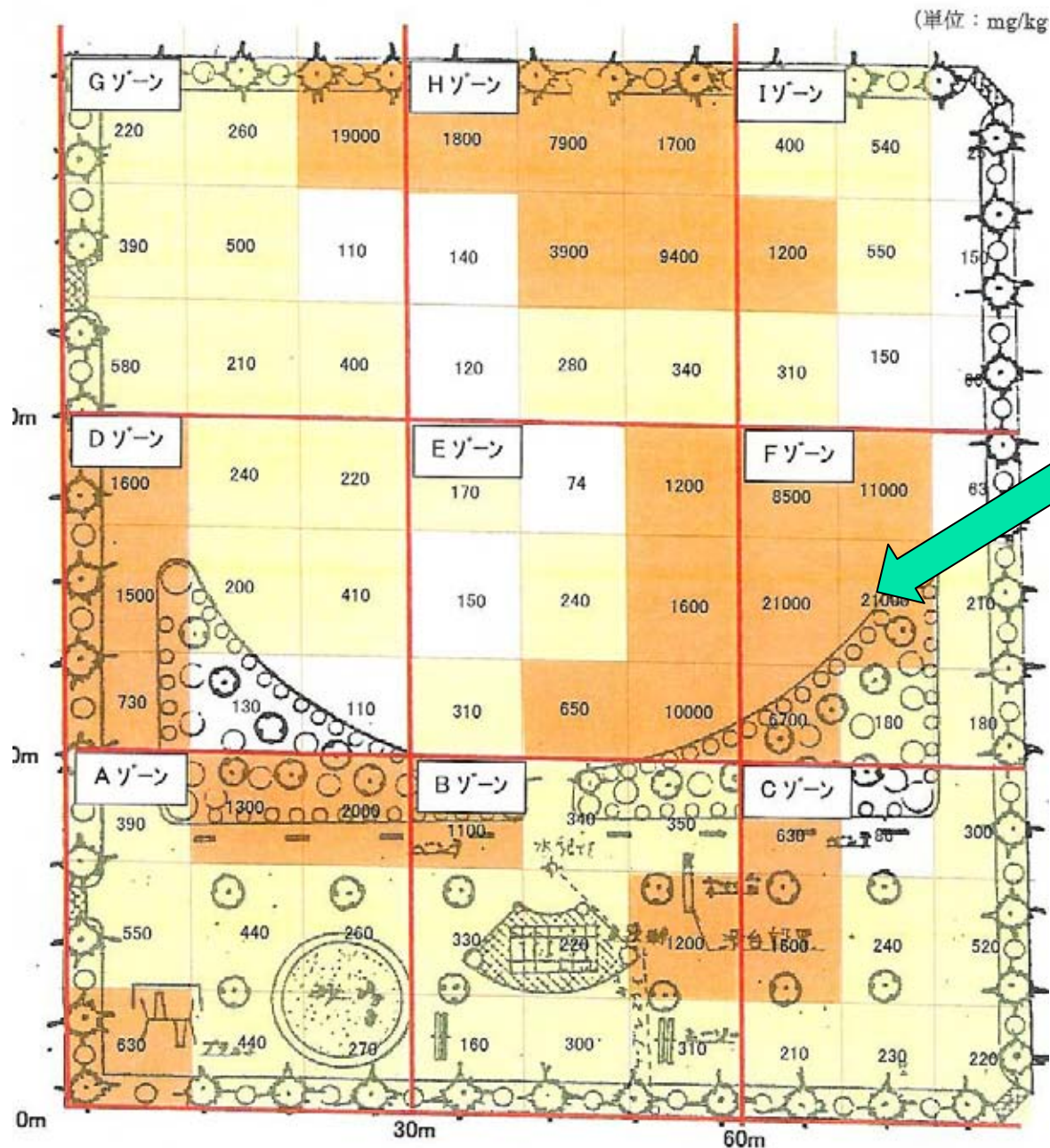
経緯 (平成17年2月～18年11月)

- **2.10: 京大大学院生の全国調査で鉛土壤汚染が判明。市に情報提供**
- **2.16: 指定調査機関に調査依頼**
- **3.16: 土壤調査結果報道発表。専門家調査委員会を設置し、当面公園閉鎖の方針**
- **3.23: 土壤詳細調査**
- **4.11: 土砂飛散防止のためシートで覆う**



京都市鉾立公園土壤汚染に関する リスクコミュニケーション(2)

- 5.16: 第1回土壤汚染対策会議
- 6.10: 自治会へ聴き取り調査(公園整備前後の土地
使用状況), 状況の説明
- 6.10: 土壤深さ方向追加調査
- 6.13: 少年野球チーム監督へ聴き取り調査(公園の利
用状況), 状況の説明, 代替地の紹介
- 8.2: 第2回対策会議(履歴調査, 地下水, 工事)
- 10.5: 第3回対策会議(健康リスク評価, 今後の対策)



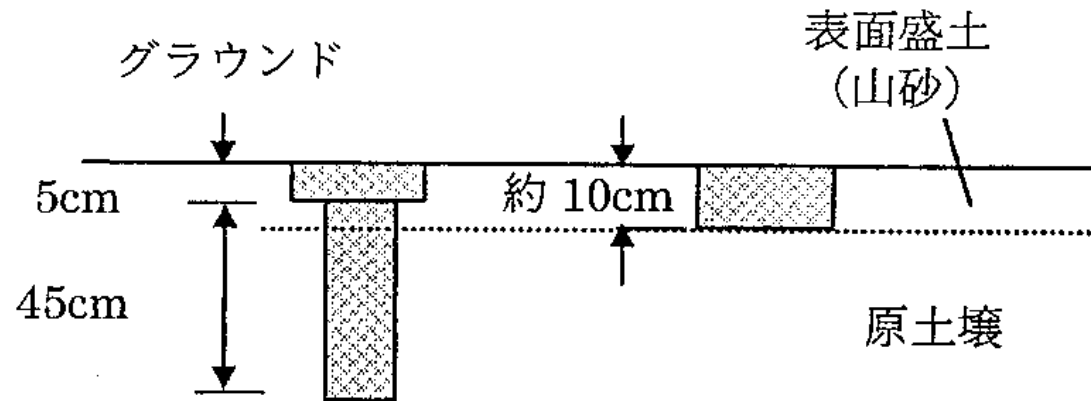
鉛含有量:
21,000mg/kg
基準の最大140倍

10mメッシュ調査 表層土壌含有量

- 150mg/kg 以下
- 150mg/kg 超~600mg/kg 以下
- 600mg/kg 超~

含有量指定基準: 150mg/kg

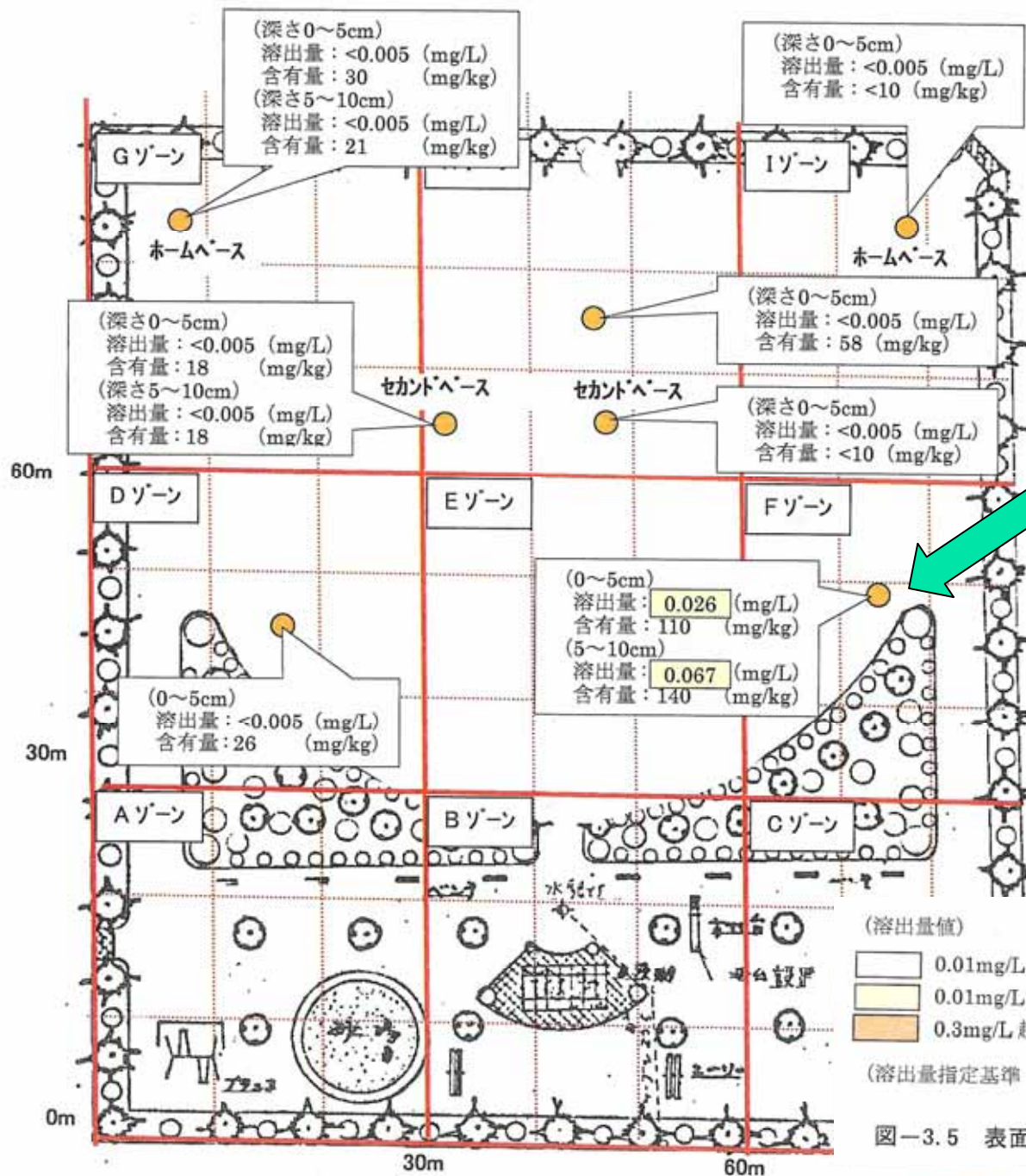
山砂が常時補給されていたので表面(0~10cmを詳細調査)



※表層の土壌 (0~5cm)
と深さ 5~50cm までの
土壌を同じ重量で混合

表層土壌試料

表面盛土試料



鉛含有量:
 0 ~ 5cm:110mg/kg
 5 ~ 10cm:140mg/kg

表面盛土(山砂) 含有量・溶出量調査

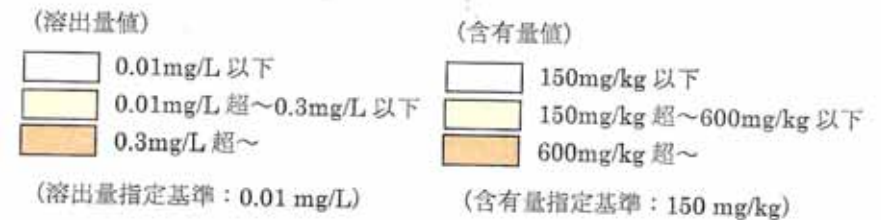
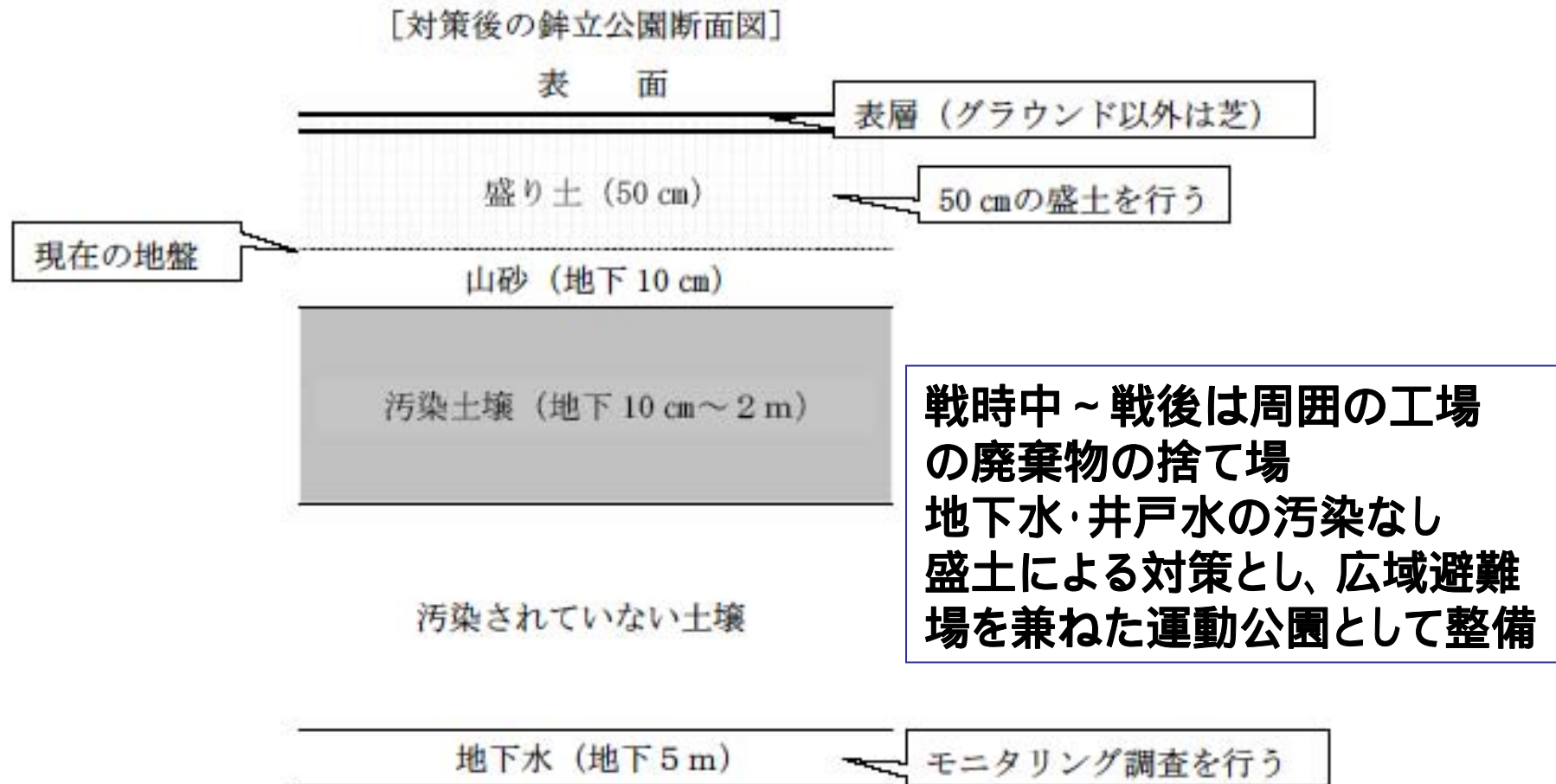


図-3.5 表面盛土調査結果 約 1/600

野球中における土壌中鉛の経口摂取による健康リスク評価

- 小学校3, 4年生中心の少年野球チームが、土曜、日曜に9時～5時頃まで練習・試合に使用
- 土壌中鉛濃度：グラウンド表面盛り砂（0~10cm）の最大値140mg/kgを200mg/日摂取
- **体重あたり1日の鉛摂取量 = 0.29 ~ 0.2 μ g/kg/日**
- FAO/WHO専門家会議（JECFA）の
暫定TDI：3.5 μ g/kg/日の6~8%
- 滑り込むなどして2倍の土壌を摂取したとしても、TDIの16%程度であり4年間の摂取であればまず健康影響は問題ないと結論

対策後の公園土壌の断面図





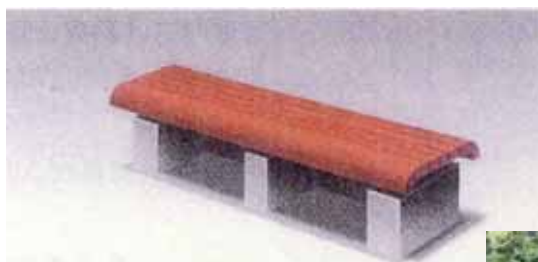
対策・改修後の銚立公園の全景 H18.10



地下防災倉庫



災害用トイレマンホール



かまどベンチ



使用イメージ



設置時

東京都北区豊島地区の土壌汚染に係るリスクコミュニケーション

豊島五丁目団地・・・化学工場跡地(約22,000m²)に当時の住宅公団が昭和46年に14階建、12棟(約5000戸)、公園、保育所、小中学校、スーパー、飲食店等を建設。当時の都条例による調査は実施



土壤汚染(ダイオキシン類, 重金属)問題の経緯

H17年 2月 小学校跡地開発に先立ち、土壤調査
ダイオキシン・鉛汚染確認

3月 土地履歴が同じ区有地を調査、汚染確認

5月 UR都市機構により専門家会議設置

10月 専門家委員会が北区により設置

H18年 2月 健康調査(問診、血液検査)の実施

3月 区有地をダイオキシン特措法による指定区域に、UR都市機構の区域は指定せず

12月 指定区域のリスク管理対策(舗装・盛土)計画の公開

H19年1月～20年3月 区有地の舗装・盛土の施工

H19年2月～ 東京都, 北区, UR都市機構, 住民と専門家からなるリスク管理協議会の設置・リスク管理の継続

島地「豊」の区北
目丁5北

ダイオキシシン類

53地点で基準超過

北区立豊島東保育園(豊島5丁)の園庭などからダイオキシシン類が検出された問題で、保育園がある「豊島五丁目団地」を管理する都市再生機構東日本支社は10日、団地内の27か所で進めてきたダイオキシシン類と9種の重金属類の土壌汚染調査について、最終調査結果を発表した。

それによると、ダイオキシシン類は、27か所のうち、土壌の表層から深さ7・5センチまでの計194地点で調べたところ、53地点(19か所)で環境基準値を上回り、そのうち1地点(地下30センチ)では最大で330倍に達した。

一方、カドミウムや六価クロムなど9種類の重金属類は深さ50センチまでを調査。27か所54地点のうち、鉛が26地点(16か所)、ヒ素が4地点(2か所)で基準値を超え、そのうち鉛は最大で約11・3倍(地表0～50センチ)、ヒ素は約2・7倍(地表0～5センチ)だった。

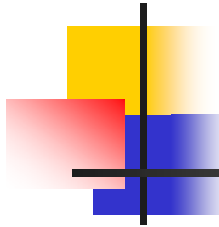
一方、カドミウムや六価

「日常生活にただちに支障はない」としている。ただし、鉛とヒ素が最表層

層(深さ5センチ)から確認されており、健康への影響など、詳細な調査を専門家に依頼したという。

同機構は19日午後3時から、区立こま若葉小学校で住民説明会を開催し、これまでの土壌調査結果や今後の対策について報告する。

同機構は今年5月、学識経験者による「豊島五丁目団地土壌汚染調査・対策等検討委員会」を設置。汚染地域は、通常人が立ち入りない植え込みであることや、団地のグラウンドなどについては緊急に舗装する対策が済んでいることから、



土壌鉛摂取による子どものリスク評価

	広場・遊び場・芝地	保育園	小学校	家・その他
0～5歳	252mg/kg(2~4時間) Max:1000mg/kg	360mg/kg (8～0時間)	-	260mg/kg (14～20時間)
6～11歳	同上	-	接触なし (8～0時間)	同上

0～5歳: 平均的 $2.85 \sim 1.73 \mu\text{g/kg/日}$

最悪ケース $4.24 \sim 2.57 \mu\text{g/kg/日}$

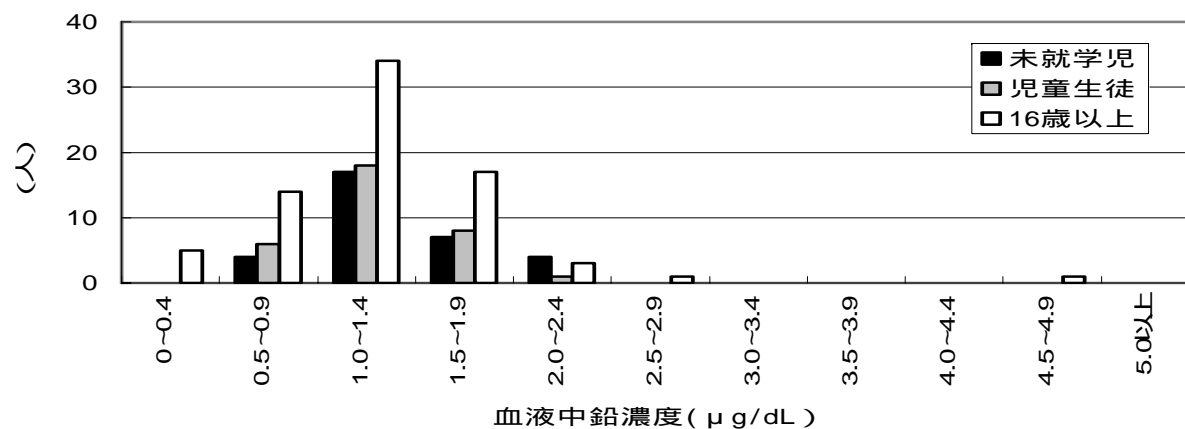
6～11歳: 平均的 $0.36 \sim 0.20 \mu\text{g/kg/日}$

最悪ケース $0.74 \sim 0.4 \mu\text{g/kg/日}$

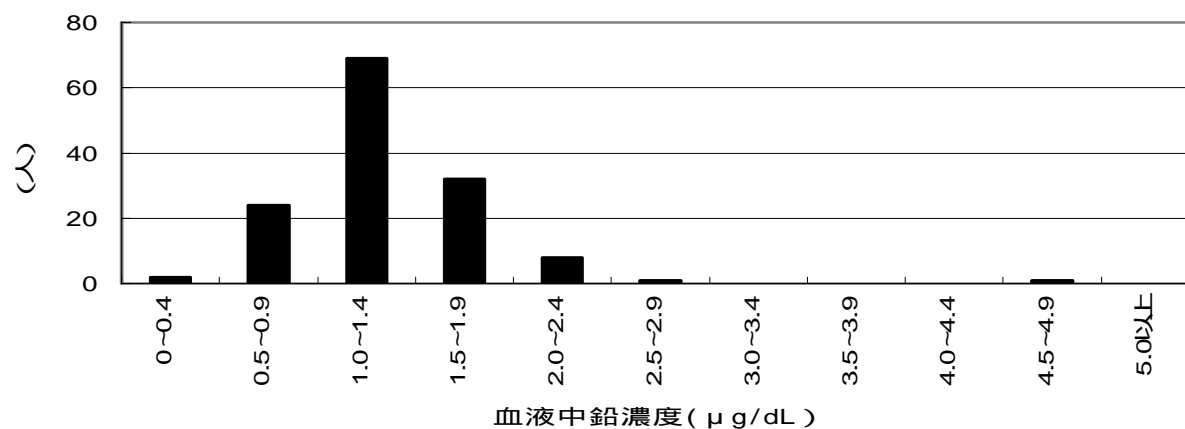
いずれの場合も、血中に貯留するとされる $5 \mu\text{g/kg/日}$ は下回ったが、一般の子どもよりは多くの鉛を摂取した可能性があるため、今後の鉛の摂取機会を減らすことが望ましい

血中鉛濃度の分布(北区報告書)

年齢別



対象者全員



豊島東保育園への通園歴による血液中鉛・砒素濃度の比較(北区報告書)

		通園歴あり		通園歴なし		対象者全員
			3～6歳(再掲) (現在通園中)		3～6歳(再掲)	
対象者数	(人)	48	22	89	10	137
平均年齢	(歳)	9.5	4.5	25.1	4.8	19.8
鉛 ($\mu\text{g}/\text{dL}$)	平均値	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3
	標準偏差	0.33	0.39	0.50	0.40	0.48
	中央値	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3
	範囲	0.6～2.3	0.6～2.3	0.4～4.5	0.9～2.1	0.4～4.5
砒素 ($\mu\text{g}/\text{dL}$)	平均値	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
	標準偏差	0.23	0.21	0.38	0.37	0.33
	中央値	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	範囲	0.2～1.5	0.2～1.1	0.1～2.3	0.1～1.3	0.1～2.3

盛土によるリスク管理



2005.6.18

現在の状況



元の盛土に覆土:擁壁が2段になっている)



大きな木を保存し、木の根元を覆土

リスクコミュニケーション事例から得られる教訓(織、2004)

情報開示の遅れは世間の批判をまねく。自主的積極的な情報開示は好印象を与える。

マスコミよりも前に住民・行政に対して状況説明を集中的に実施する。

日常的な苦情に対応していないと事故時に住民の不満が噴出する。逆に、日頃事業活動に信頼が得られていると事故時にも適切に対応すると信用してもらえる。

利害関係者の話を聴く窓口・体制を作り(できれば24時間)、よく聴く。

異論・反論を述べる人がいる。真摯に論理的に対応すると他の住民は、一部の反対者にはついていけない。

問題は、その背景・原因をみんなで徹底的に追究すること。

反対意見は、問題の本質を気づかせてくれる。

適切な時間配分と柔軟な進行に努める。沈黙の意味を考える。



おわりに

- 土壌汚染のリスク管理にリスクコミュニケーションは欠かせない
- 普段からリスクコミュニケーションによって信頼関係を構築しておくことが大切
- リスク評価には平均的な暴露評価のみでなく最大ケースの健康リスク評価を入れることも重要
- リスク管理はステークホルダーを加えて、透明性のあるものとする
- リスクファシリテーター, リスクマネージャ等の専門家の養成のシステム化と必要性の認識が重要