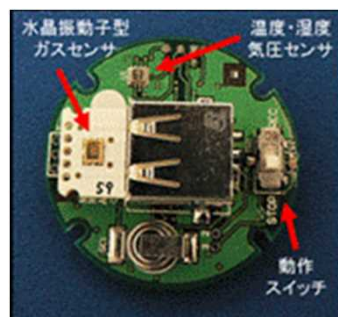


環境研究総合推進費令和元年度終了

水銀を利用する環境とその周辺における 水銀ばく露測定システムの開発 (5-1704)

研究キーワード: 水銀、水晶振動子、ガスセンサ、環境計測、個人ばく露測定



個人ばく露測定器例



金採掘場(スモールマイニングの現状)・現地でのばく露測定システム説明例



産業技術総合研究所



国立水俣病総合研究センター



鹿児島大学理工学研究科



東北大学環境科学研究科

◎野田和俊

愛澤秀信

○丸本幸治

丸本倍美

○富安卓滋

児玉谷仁

○駒井武

中村謙吾

◎研究代表者

○サブテーマリーダー

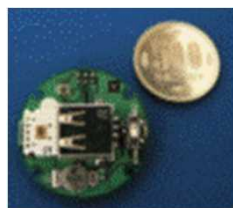
サブテーマ(1) 水銀計測システム開発に関する研究(産総研)

◎ WHO作業環境基準値($1\mu\text{g}/\text{m}^3$)測定可能な 100g 以下のシステム開発

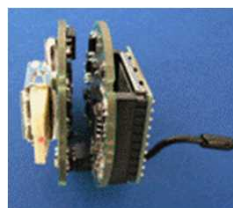
- ・水晶振動子金電極と金属水銀とのナノレベル表面反応メカニズムの評価



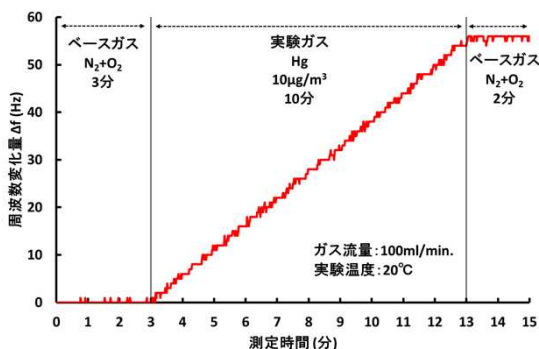
・リード型 20MHz素子
・表面実装型 30MHz素子
(五円硬貨との比較)



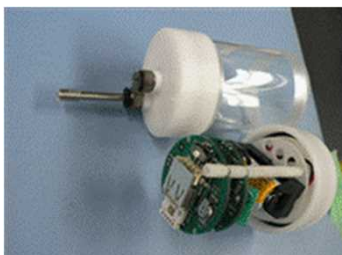
試作ロガーの一例



ロガー本体と無線ユニット



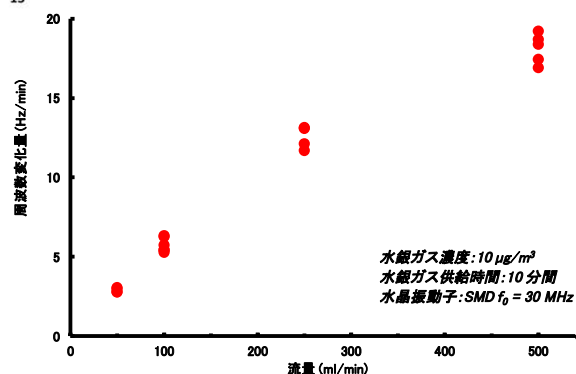
水銀に対する応答特性の一例



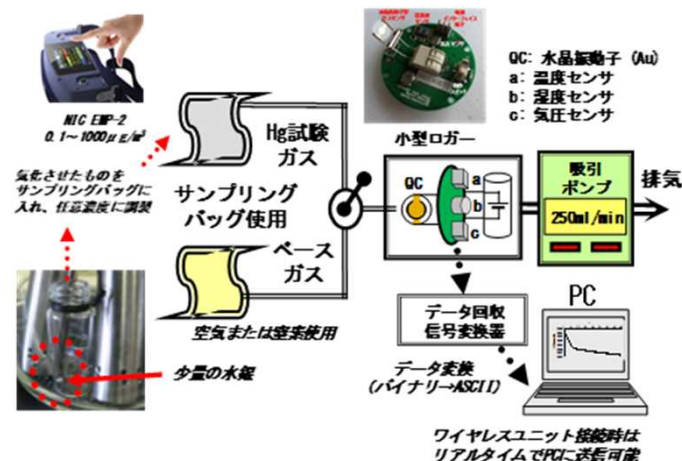
試作個人ばく露測定システムの一部



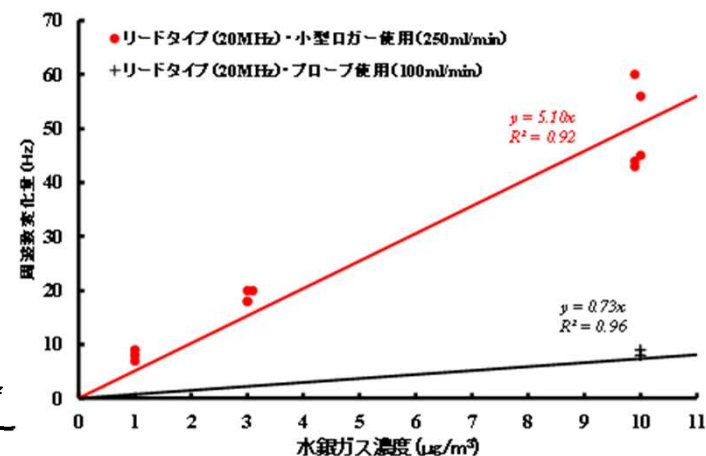
試作機器の性能評価試験の一例



測定流量の差異による周波数変化量の一例



実験構成の一例



検量線の一例

サブテーマ(1) 水銀計測システム開発に関する研究(産総研)

◎ WHO作業環境基準値($1\mu\text{g}/\text{m}^3$)測定可能な100g以下のシステム開発

- ・実際の現場で問題なく使用するための測定精度、安定性など総合的な検知特性



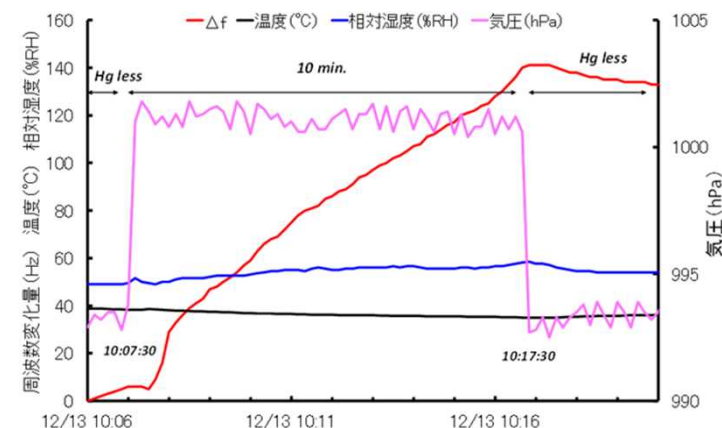
試作した個人ばく露測定システム使用の一例



スマートフォンによる測定機器使用説明の一例



ASGM(ブラジル)での試作機器使用の一例



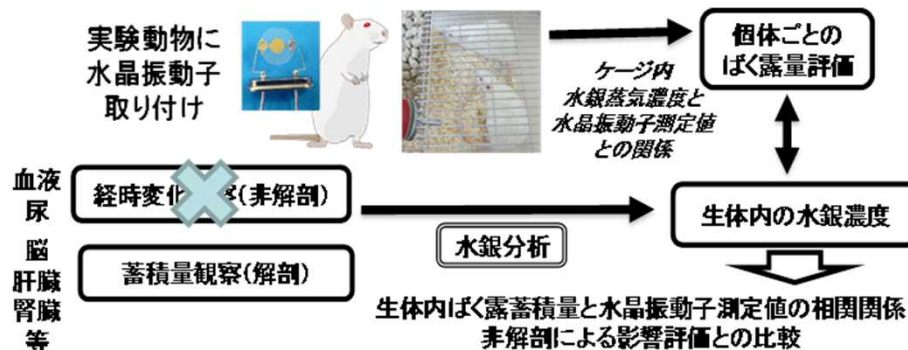
ASGM(ブラジル)作業場内QCM測定結果の一例

サブテーマ(2) 作業環境等における水銀蒸気の個人ばく露モニターの開発と評価(国水研) ◎水銀蒸気の個人ばく露評価におけるQCM-Hgセンサ有効性確認



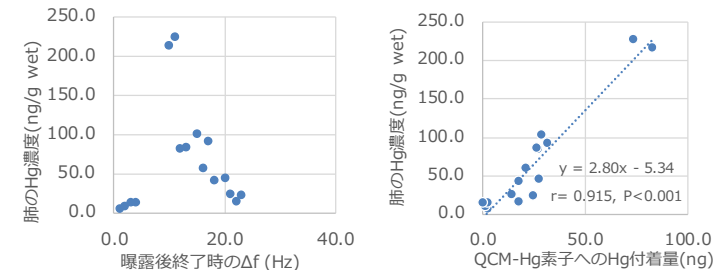
(動物実験によるQCMの有効性評価 ⇒ サブ1へのフィードバック)

1. パッシブ方式の検討 (最も簡便なモニタリング方法)



実験内容

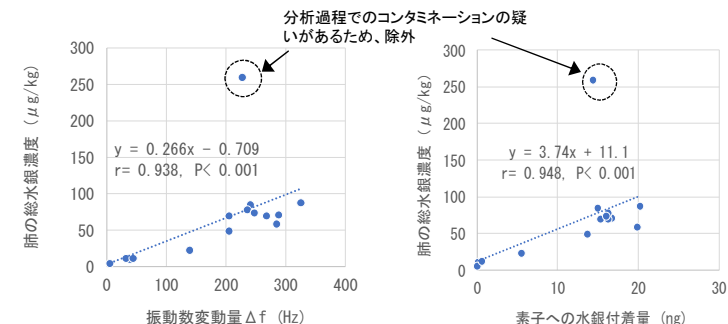
- ・ラット(Wistar・日本クレア)のオス成獣にジャケットを着せてQCM-Hgセンサを装着後(アクティブ方式では吸引チューブ)、チャンバーへ
- ・チャンバーの天井にも一か所ロガーを設置
- * 多頭数での同時実験は、ラットが体を寄せ合い折り重なってロガーがはずれるため、不可能なことから、1頭づつばく露実験を実施(N=4づつ)
- ・チャンバー内でのばく露実験(1h)後に、ラットを解剖(深麻酔下で心採血後、PBS灌流)し、以下の臓器を採取して、総水銀濃度を分析
全血・肝臓・脾臓・腎臓・心臓・肺・骨格筋(大腿四頭筋)・鼻粘膜・嗅球・小脳・大脳・脳幹・尿(13種類)



Hg蒸気1hばく露後の肺中Hg濃度と振動数変動量(左図)と素子へのHg付着量(右図)の相関関係

- * QCM-Hg素子へのHg付着量と肺中Hg濃度が高い相関関係 ⇒ 生体個人ばく露モニターとしての有用性
- * 振動数変動量と肺中Hg濃度の相関はない ⇒ 振動数の変動 → ばく露評価が難しい・水分の影響の可能性

2. アクティブ方式の検討 (センサ以外にポンプ、除湿システム等が必要)



Hg蒸気1hばく露後の肺中Hg濃度と振動数変動量(左図)と素子へのHg付着量(右図)の相関関係

- * 肺中Hg濃度の高濃度1点を除けば、QCM-Hgの振動数変動量及び素子へのHg付着量は共に肺中Hg濃度と相関性がみられる ⇒ 生体個人ばく露モニターとしての有用性 (除湿システム必要)

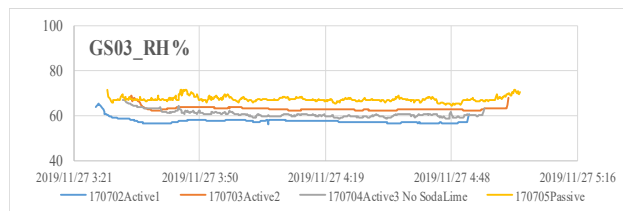
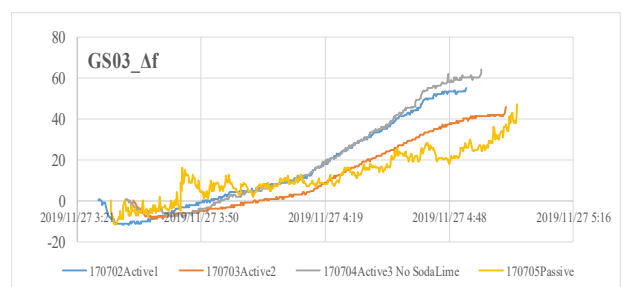
サブテーマ(2) 作業環境等における水銀蒸気の個人ばく露モニターの開発と評価(国水研) ◎ ブラジル国・金採掘現場及び金取引所におけるQCM-Hgセンサの有効性評価



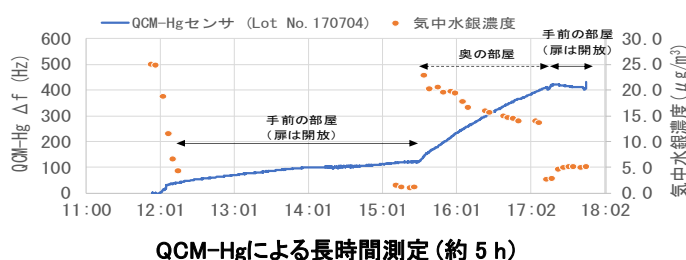
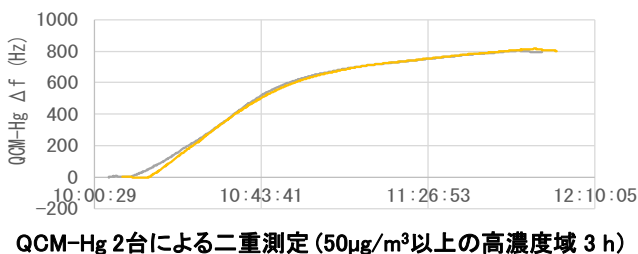
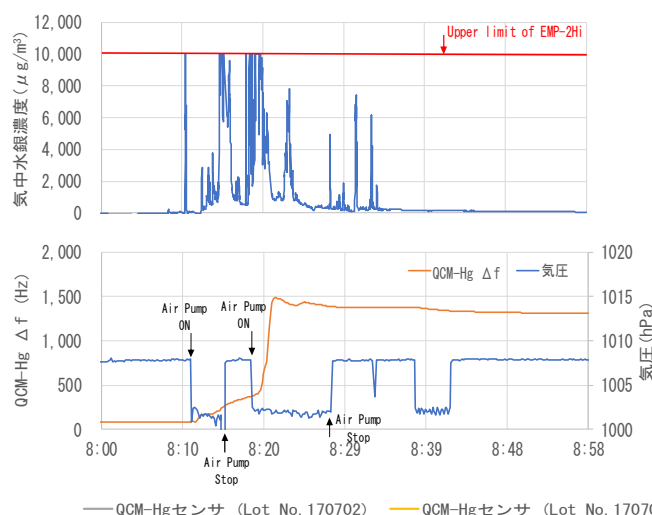
金採掘現場における調査



金取引所(ゴールドショップ)での調査



Active方式(Soda limeの有無)とPassive方式の比較

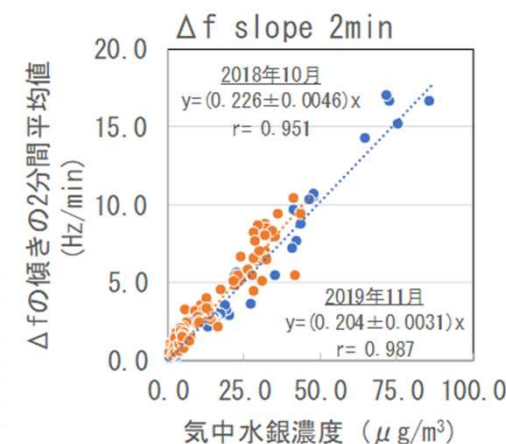


QCM-Hgによる長時間測定(約5h)



金属板上の水銀-金アマルガムを加熱し、銅板から削り取る作業

- ・作業時の気中Hg濃度は一時9,990 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を記録
- ・この濃度では、QCM-Hgの振動数が数十秒で1,000 Hz以上変動し、プラトー(飽和)となった



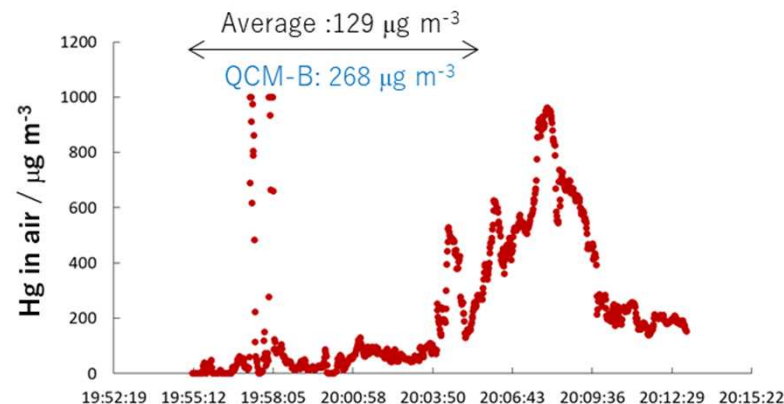
QCM-Hg振動数変動量 Δf の2minの傾きと従来法(金アマルガム-原子吸光法)による気中水銀濃度との関係



サブテーマ(3) 小規模金製錬活動地域における住民の水銀蒸気ばく露評価(鹿大)

◎ 個人ばく露モニター(QCMセンサ)信頼性評価用データ蓄積

- ・作業場、その周辺での水銀濃度測定
 - ASGM地域大気中の水銀濃度
 - 作業工程による水銀濃度変動: 大
 - 場所による濃度変動 : 大
 - 複数の検知法による変動の追跡・汚染状況評価
- ・市販測定器とQCMセンサとの相関 → 調和的な傾向
- ・素材状態(アマルガムのラップ等包装)
 - 地域などによる金-水銀アマルガム素材の違い
 - ～ QCMセンサへの影響有 → フィルタ等の使用



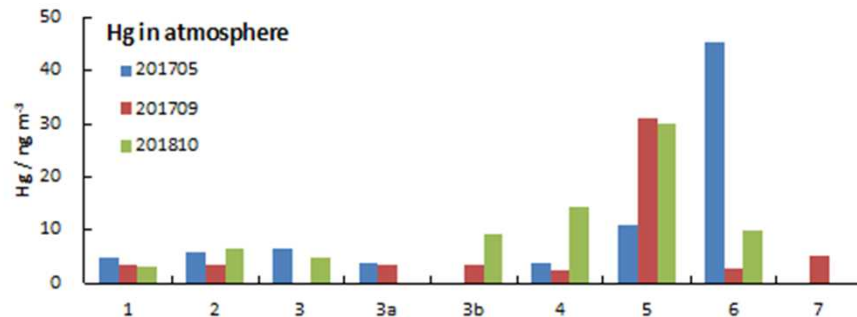
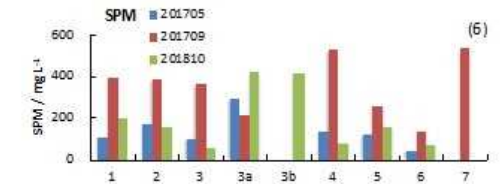
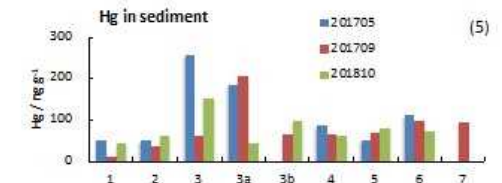
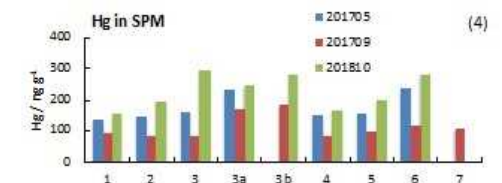
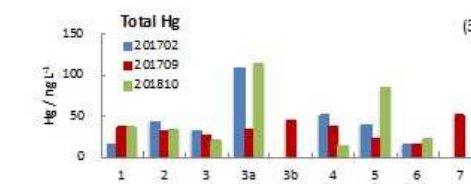
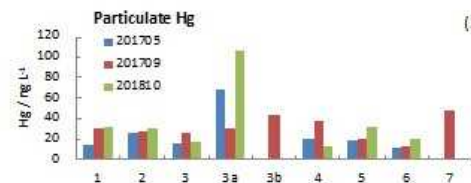
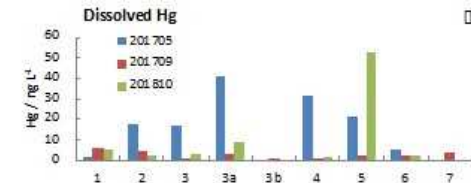
市販測定器による測定例

水銀濃度の大きく異なる気塊が市販測定器の吸引口付近を移動と考察



少しでも異なる場所の大気中の水銀濃度測定の場合、条件が異なれば大きく異なる水銀濃度を示す

サブテーマ(3) 小規模金製錬活動地域における住民の水銀蒸気ばく露評価(鹿大)



クアンタン川沿いの大気中水銀濃度変動の一例

川沿いの地点で大気中水銀濃度の上昇を確認

↓
金精錬活動があちこちで行われている可能性

クアンタン川の水銀濃度変動の一例

- ・河川水中では粒子に吸着して流れる水銀形態が主要
- ・水銀によって汚染された鉱さいが支流を流下し、クアンタン川まで影響を及ぼしている可能性大
- ・懸濁粒子 ~ 河川系における水銀の輸送媒体
- ・懸濁粒子が太陽光の供給を妨げる

↓
プランクトンの光合成活動などに大きな影響
河川生態系への影響

サブテーマ(4) 対象地域におけるばく露環境モデリング(東北大学)

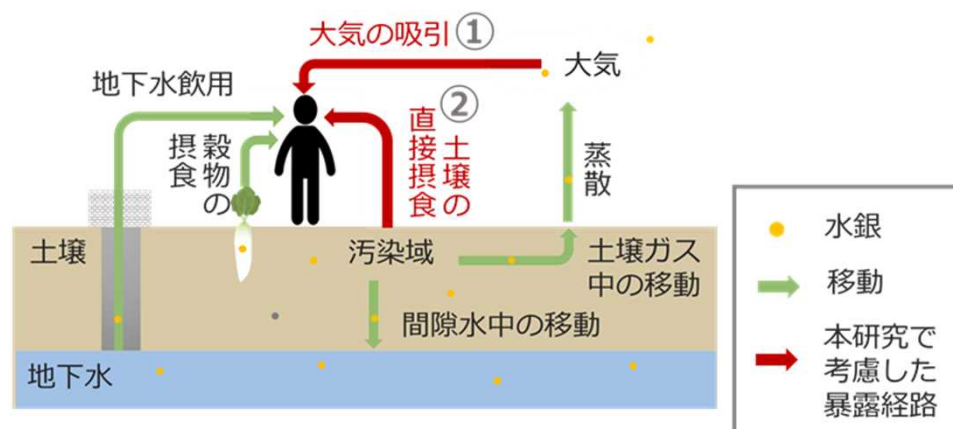
◎様々な環境(一般環境)での大気からの水銀のばく露量、ばく露経路・その寄与率評価

各環境での発生源(土壌、水、大気など)の明確化 → ばく露モデリング手法確立

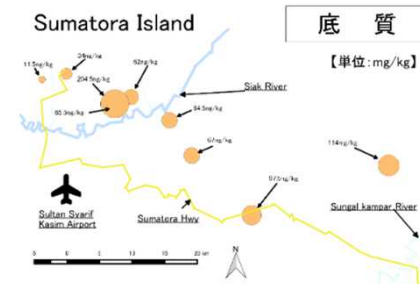
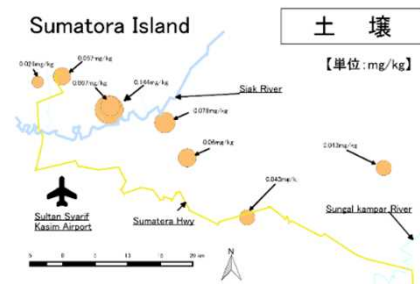
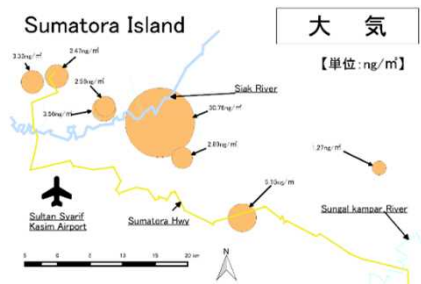
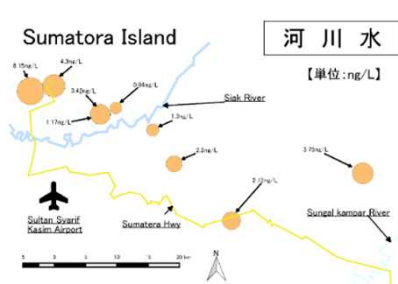
・環境パラメータの標準化とデータベース化

各種パラメータ(環境条件、ばく露ファクター)の評価システムへの組み込みを完了し、環境媒体を経由したモデリングにより、ばく露量の可視化と推計が可能

・対象地域におけるばく露評価の実施：インドネシア観測場所を用いた実証的検討



	子供	大人
年齢	～6	7～
体重W[kg]	15	50
土壌摂取量AID[mg/day]	200	100
大気吸入量 AV [m ³ /day]	6	15
地下水摂取量 Qdw [L/d]	1	2



各環境媒体におけるばく露量とその分布を可視化・総ばく露量の推計可能

サブテーマ(4) 対象地域におけるばく露環境モデリング(東北大学)

インドネシア観測場所: 土壌汚染対策法型のばく露評価結果

全ばく露量

$$E_T$$

[ng/day]

=

土壌の直接摂食に
よるばく露量 E_{DI}

$$E_{DI} = \frac{A_{ID} \cdot C_s \cdot f_a}{W}$$

+

大気の吸入に
よるばく露量 E_{IV}

$$E_{IV} = \frac{A_V \cdot C_a \cdot f_a}{W}$$

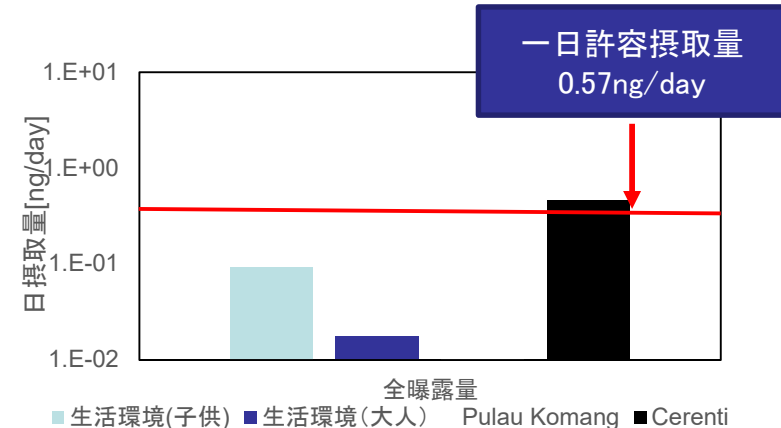
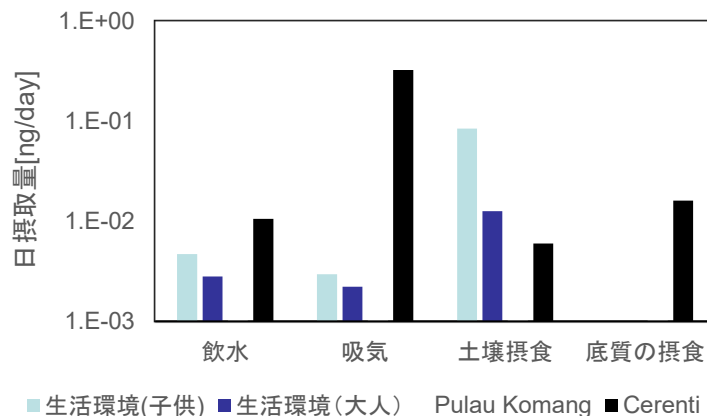
+

飲料水の摂取に
よるばく露量 E_{gw}

$$E_{gw} = \frac{Q_{gw} \cdot C_{gw} \cdot f_{gw}}{W}$$

 c : 濃度 f : 人体への吸収率

- ・雨季: 土壌の直接摂食
- ・乾季: 干ばつを想定して底質の直接摂食を計算し、土壌と質を比較して大きい方の値を採用
- ・生活環境: 通常的环境条件で実施した水銀フラックス測定及び土壌含有量



インドネシア観測所の事例: 吸入による水銀のばく露量が最大

環境を経由した土壌や飲料水からのばく露の寄与も大きい

ばく露センサの設置

~ 周辺環境の影響を考慮・作業員個人に取り付け、ばく露管理することが有用