

## 付録

### I. 環境モニタリング

#### I-1. 過去1年間の各国の実施状況

国	ターゲット材料	使用した技術
オーストラリア	鉱物	NAA ( $k_0$ )
バングラデシュ	土壌、河川堆積物、ダスト、石炭、 たばこ、薬用植物	NAA、AAS、XRF、ICP-OES
中国	PM10/PM2.5	NAA、PIXE
インドネシア	インドネシア国内の発育阻害発生地 域での食品と海洋水産物中の微量栄 養素の決定	INAA
日本	地質試料	INAA、RNAA
カザフスタン	ワイヤ・クロム、ニッケル、ニクロ ム、金	NAA ワイヤ「スネイル」(Wire “snail”)
マレーシア	土壌	NAA
モンゴル	土壌、エアフィルタ、堆積物、植物	ED-XRF、NAA、GAA、 (ICP、WD-XRF)
フィリピン	農業用土壌、堆積物、火山灰、飲用 水	NAA、HG-AAS
タイ	PM2.5、PM10、土壌、作物	PM2.5 (NAA、PIXE、ICP-MS) PM10 (NAA、PIXE、ICP-MS) 土壌 (HXRF、ICP-OES) 作物 (HXRF、ICP-OES)
ベトナム	土壌、植物、植生 (すべての元素)	$k_0$ 法 (INAA)

#### I-2. 目標はどの程度まで達成されたか

##### a. オーストラリア

目標：顧客の期待を満たす。

評価：これまでのところ良好で顧客の満足が得られているが、さらに提供できる余力がある。

##### b. バングラデシュ

目標：土壌と河川堆積物汚染、薬用植物の元素特性化、たばこに含まれる重金属などの研究

評価：98%

##### c. 中国

目標：PM2.5/PM10 試料中の元素濃度分析及び大気汚染源の評価

評価：100%

##### d. インドネシア

目標：目標は達成された。西ジャワ、バンテン、中央ジャワ、東ジャワ、東ヌサトゥンガラ州 (NTB)、西ヌサトゥンガラ州 (NTT)、西スラウェシ州内などの発育阻害発生地域における微量栄養素を決定することができた。このデータは国際セミナーで発表され、AIP カンファレンス誌で発表される予定である。

評価：得られたデータはインドネシアの食品に含まれる鉱物含有量に関するデータ表を完成するために使用される。このデータはインドネシアの発育阻害に対処するための方針を決定する上で非常に有用である。

##### e. 日本

目標：マントル中のハロゲン (Cl、Br、I) 存在度の不均一性の評価

評価：100%

#### f. カザフスタン

目標：反応度、ガンマ線スペクトル測定

評価：

#### g. マレーシア

目標：モンゴルのウランバートル市の領域内で収集された蘚類・地衣類試料中の K、Ca、Ti、Mn、Fe、Cu、Zn、Rb、Sr、Pb 含有量を決定する。

評価：研究結果によれば、ボグド山 (Mount Bogd)、ナライハ山 (Mount Nalaikh) の麓、及びウリヤスタイ山 (Mount Uliastai) から採取された試料中の Ni、Cu、Zn、Pb 等の元素の含有量は他の場所から採取された試料中に比べて高く、これはおそらく、発電所からの灰廃棄物の輸送と住宅地の排気煙によるものである。元素の分布は風向き、サンプリング場所及び試料のタイプによってさまざまであることもわかる。この研究の結果は、モニタリングを通して、将来の汚染レベル評価の基礎となるであろう。

#### h. モンゴル

目標：(i) 大気汚染 — 寒冷期のみに限った大気汚染調査の結果を比較する。具体的には、ブリケット燃料採用前の 2016～2019 年の時間枠内と、ブリケットが使用された 2019～2022 年の間。寒冷期について、10 月から 3 月の期間に、合計 74 の PM2.5 微粒子の試料が 2016～2019 年の間に収集され、さらに 76 の試料が 2019～2022 年に収集された。

(ii) XRF 及び放射化分析を用いて、トゥール川 (Tuul river) (ウランバートル市内) 近傍の堆積物及び土壌中の重元素・有毒元素を決定する。

(iii) X 線蛍光法と中性子放射化分析を用いて、車両バッテリー解体場近傍から採取した土壌試料中の V、Cr、Ni、Cu、Zn、Ba、As、Pb 等のいくつかの重元素・有毒元素のレベルを決定する。

評価：(i) PM2.5 の測定を実施し、黒色炭素 (BC) の含有量を評価し、EDXRF を通して元素組成を分析し、汚染源を特定した。冬季における 4 つの主要な大気汚染源を特定した。すなわち、ゲル (Ger) 地区の住宅区域 (料理用コンロ)、発電所及び小型ボイラ、自動車及び道路、そして工場である。全体的な汚染の割合を評価すると、ゲル地区の住宅区域からの PM2.5 放出量はブリケットの使用により半減していた。逆に、他の 3 つの汚染源からの割合は 2～3 倍増えていた。これは、都市化、輸送拡大、産業活動、人口成長といった要因により説明することができる。100%

(ii) 土壌試料中の V、Cr、Ni、Cu、Zn、As、Pb の濃度を決定し、モンゴル土壌規格 MNS 5850:2019 で定義された許容レベルと比較した。土壌試料中の V、Cr、Ni、Cu、Zn の濃度は受忍限度内であったが、As の濃度はわずかに限度を上回っていた。2018 年に、鉛 (Pb) 濃度が規格に定める許容レベルよりも 10.7 倍高いと決定された。この高い Pb 含有量は今日の自動車における鉛酸蓄電池の広範な使用に起因すると言われている。したがって、そのような施設周囲の環境を定期的にモニタリングする必要があると考えられる。2023 年、Pb 含有量は 2018 年の結果と比べて 5 分 1 に減少した。このバッテリー解体会社が過去 3 年間、業務を停止しているためである。

(iii) 研究結果によれば、ボグド山、ナライハ山の麓、及びウリヤスタイ山から採取された試料中の Ni、Cu、Zn、Pb 等の元素の含有量は他の場所から採取された試料中に比べて高く、これはおそらく、発電所からの灰廃棄物の輸送と住宅地の排気煙によるものである。元素の分布は風向き、サンプリング場所及び試料のタイプによってさまざまであることもわかる。この研究の結果は、モニタリングを通して、将来の汚染レベル評価の基礎となるであろう。

#### i. フィリピン

目標：火山灰及び土壌/堆積物試料を  $k_0$ -NAA 法を用いて処理し、ヒ素及び希土類元素の含有量を決定する。分析結果が利用可能である。

評価：分析のために送られた試料は、試料中のヒ素含有量が 1.4～7.8 ppm の範囲であったことを示しており、土壌試料としては安全であると考えられる。EPA の限度は 20 ppm に設定されている。REE については、

#### j. タイ

目標：発生源の特定と環境の質及び農産物の安全評価のための、タイのパトゥムターニー県における PM2.5、PM10、土壌及び作物試料の特性化と元素分析

評価：90%

#### k. ベトナム

目標：土壌、植物、植生

評価：試料中の合計 28 の元素を評価した。土壌中の重金属汚染のレベルを部分的に評価し、さらには、試料中の元素含有量を通して、植物の吸収係数も評価した。

## II. NAA を含む複数の測定技術

### II-1. 実施状況

国	使用した技術
オーストラリア	NAA (XRF 及び ICP と比較)
バングラデシュ	NAA-65%、AAS-30%及び XRF-2.5%、ICP-OES-2.5%
中国	NAA、PIXE 及び XRF
インドネシア	100% NAA
日本	INAA、RNAA
カザフスタン	NAA (100%)
マレーシア#	NAA、ICP-MS
モンゴル	ED-XRF、NAA、GAA、(ICP、WD-XRF)
フィリピン	NAA、EDXRF、IRMS、AAS
タイ	NAA (70%)、PIXE (70%)、ICP-MS (100%)、hXRF (100%)、ICP-OES (100%)
ベトナム	ICP/MS

### II-2. 比較の結果をどう使用するか

#### (a) オーストラリア

現況：自己遮蔽がない場合のマトリックスの測定の質には満足できる。高 REE 試料はなお作業が必要。新規顧客（シリカ）とのさらなる契約の可能性。

計画、アイデア：おそらく、(FNCA の) 焦点を鉱物から転換して他のタイプの環境試料（例えば、SPM）に戻すことができるかもしれない。

#### (b) バングラデシュ

現況：比較は行っていない。

計画、アイデア：将来は技術の比較を行う予定である。

#### (c) 中国

現況：NAA、PIXE、XRF といったさまざまな核分析技術による分析結果の使用

計画、アイデア：NAA の結果と、PIXE、XRF 及び ICPMS の結果との比較。ハロゲン元素等の多くの元素は、高い正確さと感度を持つ高中性子束炉で INAA によって決定することができる。

#### (d) インドネシア

現況：NAA を用いた分析から生じたデータの妥当性が、対照として類似のマトリックスを用いた SRM 分析を使用して試験された。NAA ラボは IAEA によって行われた準備試験（Provision test）においてアクティブな役割を果たした。

計画、アイデア：インドネシアは引き続き、食品と海洋水産物をターゲットとした昨年と同じトピックを有している。

#### (e) 日本

現況：試料の 50%が分析された。

計画、アイデア：マントル中のハロゲン存在度は他の元素と比較してあまり知られていない。マントル中のハロゲン存在度の推定から、地球マントルの形成と揮発性物質の起源について論じることができる。

#### (f) カザフスタン

現況：HEU 燃料を用いた原子炉（中性子物理特性）、MCNP 計算

計画、アイデア：NAA と化学分析との比較。INAA 法を用いて放射化有害元素を特定するために、原子力発電所原子炉の生物学的保護のためのコンクリートに関する計画。

**(g) マレーシア**

現況：環境試料（土壌）が工業地域から収集され、NAA 技術を用いて分析された。

計画、アイデア：元素汚染を特定し、また元素取り込みについて研究するために、土壌及び野菜の試料を収集し、NAA 及び ICP-MS 技術を用いて分析することが計画されている。

**(h) モンゴル**

現況：一部の結果は不正確である。

計画、アイデア：方法と技術の向上

**(i) フィリピン**

現況：NAA 技術を用いて、環境試料と食品を、それぞれヒ素及び REE 含有量とハラーム材料について分析した。これを通して、PNRI は、さまざまな分析技術を開発、最適化、評価することができるであろう。

計画、アイデア：環境試料について、EDXRF を利用して結果の比較を行い、結果はさらに、Ra-222 及びヒ素試験キット (arsenator) と関連付けられる。食品（有機／無機生産品）については、NAA から得られた結果とさらに関連付けるために IRMS データが完成される。

**(j) タイ**

現況：NAA と ICP-MS を使用した認定基準物質の比較

計画、アイデア：バイオマス燃焼、農業用土壌及び作物から放出される PM2.5 中のいくつかの元素の決定に関する、NAA と ICP-MS/ICP-OES との比較

**(k) ベトナム**

現況：分析プロセスの品質管理のために、ICP/MS と INAA を用いて分析した基準試料を比較した。

計画、アイデア：ICP/MS による元素濃度データとともに INAA から得た元素濃度データを使用することで、多変量統計解析 (PCA) を通して土壌と植物の環境汚染レベルへの洞察を提供できる。