

舞台の陰で：イラクの核査察で得られたサンプルの分析

IAEA のサイベルスドルフ研究所の科学者達の重要な発見の文書化のための共同分析作業

D.L. ドナヒュー,
R. ツァイスラー¹⁾

昨年、国連安全保障理事会によって認められた権限に基づきイラクの核開発の調査を行っていた IAEA の査察官は、たびたび、国際的にニュースのトップを飾った。しかし舞台の陰では、これほど目立ったわけではないが重要性においてはひけをとらない、現地核査察の結果の文書化という作業が、IAEA の国連アクションチームによって行われていた。

オーストラリアのサイベルスドルフにある IAEA の研究所では、科学・技術者たちが査察で集められた何百というサンプルの計測・分析

に力を注いでいた。サンプルには、イラクの未申告の核活動を探るため、さまざまなサイトで取られたスミアサンプル、ウランやプルトニウムのサンプル、黒鉛、鋼、ベリリウムなどの建築資材のサンプル、土、植物、水、岩石、鉱物などのサンプルがあった（表を参照のこと）。これから得られた結果は、査察官が、イラクの申告済みおよび未申告の核計画の全体像を描いていくのに役立った。

これらのサンプルの調査に、分子や化合物の化学的及び同位体の組成の情報を得るために、科学者達は広範囲に及ぶ、高度で敏感な分析技術を利用した（囲み記事を参照のこと）。これらの技術は、IAEA の計画に科学的な援助を与えるため、30 年前に設立されたサイベルスドルフ研究所で、日常的に使われている技術の一部である。

本記事では、このような科学的な共同作業と、得られた顕著な結果について報告する。特に、イラクでの査察で特徴的な、おもに環境サンプルや建築資材サンプル、および、新たな分析手法や手順の開発・利用の必要性等について概説する。

サイベルスドルフ研究所におけるアルファ粒子スペクトロメトリによる分析



1) ドナヒュー氏は IAEA サイベルスドルフ研究所の保障措置分析研究室 (SAL) の同位体分析課長。ツァイスラー氏は物理・化学計測研究室 (PCI) の化学課長である。著者は同僚の協力に謝辞を示している。

サンプルの取扱い手順

非核物質に関する分析方法は、精密さの意味ではそれほど厳密さを求めずに、むしろすばやく選択的な測定を行うという、査察官のニーズに合わせて開発されたものとなっている。通常、サンプルにウラン、プルトニウム、放射性核種等の重要な物質が含まれているものをふるい分けるために、予備計測が行われる。

これは通常、高分解能ガンマスペクトロメータとエネルギー分散X線蛍光スペクトロメータ(XRF)によっておこなわれる。前者の方法は、多くの核分裂生成物質やいくつかのプルトニウムの同位体のように、比較的半減期の短い放射性核種に対して、ナノグラムからマイクログラムの検出レベルの高い感度を持っている。XRFは、ウランの存在を、約1平方センチあたり1マイクログラムの限度で調べる場合に使用される。しかし、ウランは天然に存在する物質であり、土の中には1グラムあたり1マイクログラム程度の割合で含まれていることは忘れてはならない。この事実は、特に環境サンプルを扱う際、いわゆる「ブランク」レベルに関して、分析上の問題をもたらすことがある。

ふるい分けのための予備計測後、ウランやプルトニウムのレベルが高かったサンプルは、非破壊分析を行い、その後、化学分解と分析を行う。ほとんどのサンプルは、汚染の危険を避けるため、サイベルスドルフ研究所の物理・化学計測(PCI)研究室の化学課で、処理・分解が行われる。分解の前に、いくつかのサンプルは、中性子放射化分析によりフッ素と塩素を分析するために、ウィーンにあるオーストリア大学の原子力研究所に送られる。

ウランが含まれているかどうかを決める主要な手法は、レーザー励起による蛍光と同位体希釈マススペクトロメータである。後に述べるように、この2つの手法の補助手段とともに使うことは、アルカウムからのウラン鉱石を分析する際、特に有効であった。

ウランやプルトニウムを含むサンプルの処理に使われる化学薬品は以下のものである。フィルターペーパー・スミヤには硝酸、土、鉱石、岩石は硝酸かフッ化水素酸で溶解し、表面汚染の疑いのある金属・黒鉛の小片は硝酸か塩酸で浸出する。同位体希釈マススペクトロメータなどのいくつかの分析技術には、かなりの化学処理段階が必要である。一つのサンプルの分析には、数種類もの分析技術を用いることや、何人もの化学者や分析者が関わることもある。1991年中には、サイベルスドルフ研究所で、8回のイラクでの現地査察で得られた900近いサンプルの処理を行った(表を参照のこと)。

分析結果の概要

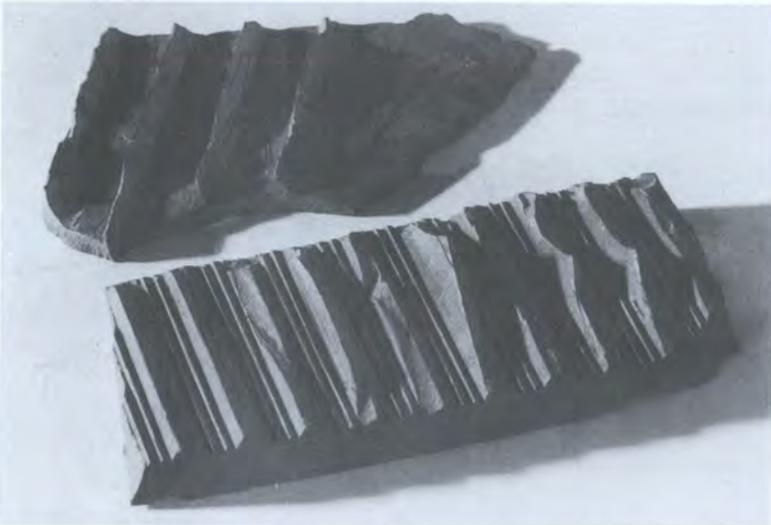
分析結果は、IAEAの国連アクションチームに重要な情報を提供した。査察官のイラクでの

1991年にサイベルスドルフ研究所で処理されたイラクからのサンプル

査察	非核物質	核物質
第1回	48	31
第2回	35	0
第3回	139	51
第4回	41	0
第5回	49	61
第6回	7	0
第7回	139	141
第8回	66	105
合計	464	389

要請されていた計測内容

サンプルのカテゴリー	サンプルのタイプ	要請されていた分析内容
非核物質	スミア 植物 土 破片 岩石、鉱物 水	ウラン、プルトニウムが放射性核種の存在 ウラン、プルトニウムの量 フッ素、塩素の存在 ウラン、プルトニウムの同位体 高性能爆薬の存在
(建設物質)	黒鉛 鋼材 ベリリウム 不明物質	純度、タイプ、種類
核物質	ウラン金属 ウラン化合物 プルトニウム化合物 ポロニウム ウラン、プルトニウム廃棄物	ウラン、プルトニウムの量 ウラン、プルトニウムの同位体 ポロニウムの量 ウラン、プルトニウムの化合物 ウラン化合物中の痕跡物質



イラクのカルトロン計画に使われていた分析されたサンプル
上：イオン源
下：黒鉛のコレクター

観察と一緒にして、それらの情報は調査中の核活動について、より完全な理解をもたらした。

電磁分離ウラン濃縮法の証拠 イラクがウラン235の分離に、電磁同位体分離法 (EMIS) を使っていたことがわかったことは、科学者の多くに驚きをもたらした。イラク当局は、1991

年7月の第3次査察まで、この計画の存在や、その活動の詳しい性格については、明らかにしなかった。

イラクが申告した情報の中には、タルミヤやアッシュ・シャルクアットの大規模施設、ツワイサとタルミヤで運転中の多くのカルトロンを使った同位体分離機、分離されたウラン235の量などの情報が含まれていた。第3次査察団は、この計画を隠そうとして解体・破壊し、埋められた同位体分離機の一部を見せられた。イオン源とコレクタのいくつかの部分が、分析のためにサイベルスドルフ研究所に持ち帰られた。さらに、生産物のバッチとされたものからサンプルが取られ、ウラン235濃縮度で減損ウラン (重量比0.1未満) から6%程度であることがわかった。

イオン源とコレクタの破片は、カルミヤで運転されていたされる大きな (1200 ミリメートル) カルトロンのものであった。これらの破片は、剃刀の刀を使って、約1グラムの粉末として表面から掻き取ったもので、その後、ウランを溶かすために硝酸で浸出し、サイベルスドルフ研究所の保障措置分析研究室 (SAL) でマスペクトロメータを使って同位体比を計った。

サンプル分析の結果、イオン源には天然ウランしか含まれていなかった (表参照)。コレクタのサンプルからは約6%未満の濃縮度のウランが発見された。

イラクの申告には、タルミヤのEMIS施設からの生産物の硝酸ウラン溶液5バッチが含まれていた。これらには、ウラン235を3~6%含む濃縮ウランが数百グラムと回収物質として減損または天然ウランに近いウランが入っているとされていた。生産物の溶液は5つのタンクに入れられてタルミヤから持ち出され、プラスチック・ボトルに入れて埋められていた。IAEA 査察官はそれぞれのボトルからサンプルを取り、サンプルはSALへ送られて、熱イオンマスペクトロメータで同位体構成比を、同

カルトロンの破片のアイソトープ計測結果

サンプル	²³⁵ Uの割合 (重量%)	注
イオン源 1	0.71	天然ウラン
イオン源 2	0.71	天然ウラン
コレクター 1-1	0.76	微濃縮
コレクター 1-2	5.82	濃縮
コレクター 1-3	4.76	濃縮
コレクター 1-4	0.39	微減損
コレクター 1-5	6.84	濃縮
コレクター 2-1	0.06	高減損
コレクター 2-2	5.94	濃縮
コレクター 2-3	4.22	濃縮
コレクター 2-4	0.79	微濃縮

位体希釈マススペクトロメータでウラン含有濃度が分析された。

分析結果によると、同位体に関する情報は申告ときわめてよく一致していた。濃度のデータはボトル中の溶液の量と組み合わせられ、全核物質の量として発表された（表を参照のこと）。

プルトニウム分離の証拠 イラクは1991年7月、プルトニウムを回収するための使用済み燃料の再処理計画の存在を申告した。ソ連製 IRT-5000 研究炉の10%濃縮の1本の使用済み燃料集合体を溶解して、約2.26グラムのプルトニウムが得られた。さらに天然ウラン燃料ピンを照射していたことがわかったので、これからも2.7グラムのプルトニウムが得られた。IAEA 査察官はこれらすべてのプルトニウムを含む物質のサンプルを取り、SALで直ちに分析するために送った。もっとも早い分析手段として、高分解能ガンマ線スペクトロメータが選ばれた。この方法は、プルトニウム242を除くプルトニウムのアイソトープとアメリカウム241を計測できる。得られたデータから、サンプルが化学処理を受けた最新の時期がわかり、照射と再処理が行われていた大体のタイムテーブルがわかる。分離された時期の推測値は、1988年10月から1990年12月の間というものであった（表参照のこと）。

磷酸塩鉱から回収したウラン EMIS 計画のための原材料物質のかなりの部分は、アルカウムにある国内のウラン鉱山から来たものであった。得られたウランの量は、処理された鉱石の重量と、鉱石中のウランの割合から割り出せる。またこの情報により、イラクでEMISや他の方法で扱うウランの量のうち、国内で生産された量の上限を決めることができる。

いくつかの鉱石のサンプルが、査察団によってサイベルスドルフ研究所にも持ち帰られた。ウラン含有量は、ガンマ線スペクトロメータで、また、溶解後、PCIでレーザー励起による

蛍光が、SALで同位体希釈マススペクトロメータによって行われた。サンプル中のウラン含有量が少ないことを考えると、さまざまな手法による計測値はかなりよく合致している。

建築資材等の特定 査察中に、秘密の原子力開発活動との関連の可能性を破断するために、査察官は、イラクの特定の産業プロセスで使われていたものの性質を調べるためにサンプルを採取した。この一例には、ウラン濃縮のための遠心分離機に使われていたのではないかと疑われる、いくつかの鋼の破片の分析があげられる。マレージング鋼という特殊鋼が、高い応力に耐えなければならない遠心分離機のロータに必要である。これらの鋼は、冶金学的な特性と、その構成元素から、特定することができる。得られたサンプルは、不規則な形をした、それぞれが約5グラムの破片であった。これらの計測には、SALで波長散乱XRFが用いられた。

分析結果によると、3つの鋼のタイプがわかったが、その中には遠心分離機ロータに使われる特殊なタイプのものはなかった。

このようなふるい分けのための分析は、査察官が現地での活動をより効果的に行えるように、すばやく結果を出すことができる。XRFのような方法がこのような計測に必要なのは、これが扱うことのできる元素の幅が広く、サンプルを化学処理なしに直接計測できるからである。

このような方法で分析されたもう一つのサンプルの例として、核兵器関連の開発作業に使われていたのではないかと疑われていた、長さ15センチ、直径2.5センチの重い金属シリンダーがある。分析の結果、これには50%のタングステン、20~25%のコバルト、1~2%の銅、1~2%のニオブが含まれていることがわかった。しかし、これらの元素を足していても約80%にしかならず、計測にかかわらなかった元素があることを示唆している。XRFは、この場合は塩素以下の、軽い元素を計ることがで

イラクのサンプルに対してSALで使われた技術

分析方法	計測—保障措置
高分解能ガンマ線スペクトロメータ	プルトニウム同位体の割合 アメリカニウム-241とネプツニウム237の量（放射性核種の存在）
アルファ粒子スペクトロメータ	プルトニウム-238の割合（ポロニウム-210の存在）
X線蛍光スペクトロメータ	主要、少数の痕跡物質の分析
K-エッジ濃度計 ハイブリッドXRF Kエッジ	溶液中のウラン、プルトニウム、トリウム、ネプツニウムの量
マグドナルド/サベージ 電位差測定	純粋な核物質中のプルトニウムの量
NBL改良型 デービス/グレイ電位差測定	純粋な核物質中のウランの量
光放出分光計	ウラン化合物中の痕跡物質
熱イオン化マススペクトロメータ	ウラン、プルトニウムの同位体組成
同位体希釈 マススペクトロメータ	小サンプル中のウラン、プルトニウムの量

分析技術、能力およびその支援

IAEAのサイベルスドルフ研究所内の2つの研究室が、イラク査察で得られたサンプルの分析にあたった。それらは、保障措置分析研究室(SAL)と物理・化学・計測研究室(PCI)である。ほとんどの作業は、SALの化学分析・同位体分析課とPCIの化学課が行った。

また、サイベルスドルフのリサーチ・センター(ARC)、オーストリア大学原子力研究所、海外の民間研究所と政府の分析研究所が、追加の支援を行った。ARCは、非核物質中のウランの存在を分類するために、アルファ粒子の迅速な計測を行っている。

鋼のサンプルは、それが遠心分離機の部品に使えるかどうかを調べるために、民間の冶金研究所に送られた。政府の研究室は、非常に敏感で精度の高い計測のために、サンプルを受け入れている。このような技術が非常に有用である一例は、純粋なウラン化合物を含む微細な粒子の同位体分析であった。

保障措置分析研究室(SAL) 従来から、SALは、以下の2つの基本的な目的のために、分析能力を発達させてきた。

●有意量のウランやプルトニウムを含む通常の保障措置査察サンプルの分析

この現地外での破壊分析は、保障措置下にある物質の少量の累積欠損を探知するためには、最高度の精密がある。

●各国の保障措置システムやIAEAの査察官

が現地での計測に用いる化学分析の応用技術

この分野では、SALは査察官の訓練場となり、また保障措置課で用いる分析手段について、IAEAに対して助言を行う立場にある。

イラクで用いられた技術は第1の、通常の保障措置サンプル用で、その理由は、高い精度と、ウランやプルトニウムに対する選択性との感受性にあった。というのは、大きいサンプルの輸送には問題があったからである。

高分解能ガンマスペクトロメータやX線蛍光スペクトロメータは数多くの同位体や元素を計測することができるため、この方法は非核物質のサンプルの分類にしばしば使われた。一方、核物質のサンプルは、従来の分析技術が用いられた。

物理・化学・計測研究室(PCI) PCIは、IAEAの計画を支援するために幅広い計測を行っている。その活動には、国際チェルノブイリ計画での環境放射性核種の計測から、分析品質管理サービス(AQCS)計画における品質保証基準の規定を作るために行われたものもある。

イラクでの査察のサンプルの分類・分析には、PCIで様々な計測技術が使われ、それらは、非破壊分析と破壊分析に大きく分けられる(表参照)。ここでの非破壊分析としては、

中性子放射化分析(NAA) これは、特別な査察サンプル中にあるフッ素と塩素を特定するために用いられる方法である。NAAは、炉内でサンプルを照射して、存在する元素の放射性同位を作り出し、ガンマ線スペクトルを測る。特徴的なガンマ線の強さから、サンプル中の物質の濃度を計算することが可能である。NAAはかなり速く、数多くのサンプルの自動的計測が可能で、本質的には非破壊的である。

ガンマ線スペクトロメトリ この方法は、サンプルの放射能の評価や、サンプル中にバックグラウンド・レベルより多い1グラムあたり1マイクログラム以上のウランがあるかどうかを評価するために、しばしば用いられる。またよく計測されるのは、使用済み燃料の再処理から発生する核分裂生成物である。繰り返すと、この方法の利点は、手の込んだサンプルの準備が必要なく、分析が早く、サンプルの成分について事前の知識がなくとも、幅広い種類の放射性核種を探知できることである。

X線蛍光分析 カドミウム-109のようなアイソトープによって励起するにせよX線管で励起するにせよ、この方法は、1平方センチあたり約1ミリグラムの検出限界内で、ウランの存在をすばやくふるい分けることのできる方法である。他の関心の対象となるような元素も、もっとも軽い元素をのぞけば、この方法で計測可能なので、金属、粉末、溶液などの組成を調べる理想的な手段となっている。適切な基準さえ設ければ、量的な情報も得られる。

PCIで行われている破壊分析技術としては、以下のようなものがある。

レーザー蛍光計 この方法は、ウランについてはもっとも高い感度と正確さを持ち、ウラン化合物を紫外線レーザーで照射したときに出る可視蛍光を用いている。計測のためのサンプルの準備には、まず、空気中で500°Cで資料を灰にして全ての有機物を除去し、その後で熱硝酸で溶解する。時には、溶媒抽出法により、邪魔になる元素を化学的にウランから分離する必要がある。最終的なレーザー蛍光計による計測は、大きな発光を得るため燐酸中で行う。

インダクティブ・カップル・プラズマ原子分光分析 (ICP-AES) この方法は、溶液中に溶けているウラン等の元素の濃度を知るために行われる。この方法は、サンプルの原子を高温のアルゴン・プラズマで原子化し、励起する。励起された原子は、それぞれに特有の波長の光を放出するがこの光が放出される強さが、もともとのサンプルにある元素の濃度を示すことになる。この方法は、イラクのIRT-5000 研究炉のプールと使用済み燃料貯蔵プールから取られたサンプル水の痕跡元素をはかるのに、特に有用であった。サンプル中に燃料被覆管の原子が検出されれば、それは重要な結果を引き起こしかねない燃料の腐食や損傷を示す。ICP-AES から得られた結果は、pH や誘電率等の計測値と併せて、ここにあった燃料棒が健全だったとの一致した結論を示していた。

アルファ粒子分光分析 イラクで得られたいくつかのプルトニウムの計測はこの方法を用いて行われた。この方法のプルトニウムの感度と選択性は、計測限界値が1ナノグラム以下と、非常に高い。含まれているプルトニウムの量の計測は、わかっている量のプルトニウム236をトレーサとして加えることによって行われた。そして、シリコン半導体検出器を用いて、アルファ粒子のエネルギー・スペクトルを集積

イラクのサンプルに対してPCIで応用された技術

非破壊分析	
分析方法	計測
中性子放射化分析 (NAA)	フッ素、塩素、ウラン、その他の構成元素の素
ガンマ線スペクトロメータ	ウランと核分裂生成物等の放射性核種の量
X線蛍光分光分析機	ウランの量と構成元素の量
誘電率と pH	溶液中のイオン濃度
破壊分析	
レーザー励起光学蛍光計	ウランの量
誘導結合プラズマ原子放出分光分析機	ウランと痕跡物質の量
アルファ粒子分光分析機	ウランとプルトニウムの量

し、プルトニウム 238, 239, 240, そしてトレーサーの線が計測された。ウランが存在しても、計測はほとんど阻害されなかった。これは、その半減期が長く、放出するアルファ粒子のエネルギー・レベルが低いからである。



X線蛍光分光分析機は、イラクでの検査で得られたサンプルを分析した技術の1つである。

イラクのサンプル
の分析結果の概要

硝酸ウラン溶液の計測結果

サンプル	申告された ウラン235の量 (重量%)	計測された ウラン235の量 (重量%)	計測された ウランの濃度 (ミリグラム/グラム)
タンク 1-1	<0.1	0.088	0.781
タンク 1-2	<0.1	0.094	0.787
タンク 2-1	0.1-0.5	0.176	0.583
タンク 2-2	0.1-0.5	0.176	0.581
タンク 3-1	0.5-1.0	0.614	0.294
タンク 3-2	0.5-1.0	0.614	0.295
タンク 4-1	1-5	3.23	0.702
タンク 4-2	1-5	3.26	0.130
タンク 5-1	5-10	5.80	1.221
タンク 5-2	5-10	5.81	0.647
タンク 5-3	5-10	5.81	0.992
タンク 5-4	5-10	5.80	0.517
タンク 5-5	5-10	5.81	0.800

高分解能ガンマ線分光器によるプルトニウムの同位体組成の分析

サンプル	Pu239の割合 (重量%)	プルトニウム含有量 (グラム)	指定分離時期
使用済み燃料-1	87.38	0.565	89/02
使用済み燃料-2	87.38	0.902	89/01
使用済み燃料-3	87.38	0.100	89/02
使用済み燃料-4	87.36	0.097	88/10
天然ウラン-1	94.54	0.047	90/07
天然ウラン-2	94.57	0.036	90/07
天然ウラン-3	95.89	0.050	n/a
天然ウラン-4	98.32	1.087	90/08
天然ウラン-5	99.10	0.498	90/03
天然ウラン-6	97.95	0.842	90/12

燐鉱石中のウランの存在

サンプル	レーザー蛍光法に よるウランの量 (ppm)	IDMSによる ウランの量 (ppm)	ガンマ線スペクトロメータ によるウランの量 (ppm)
鉱石-1	63.8	56.7	61.5
鉱石-2	73.0	72.8	69.0
鉱石-3	84.5	—	87.7
鉱石-4	160.0	—	175.0

X線蛍光法による鋼材の分析

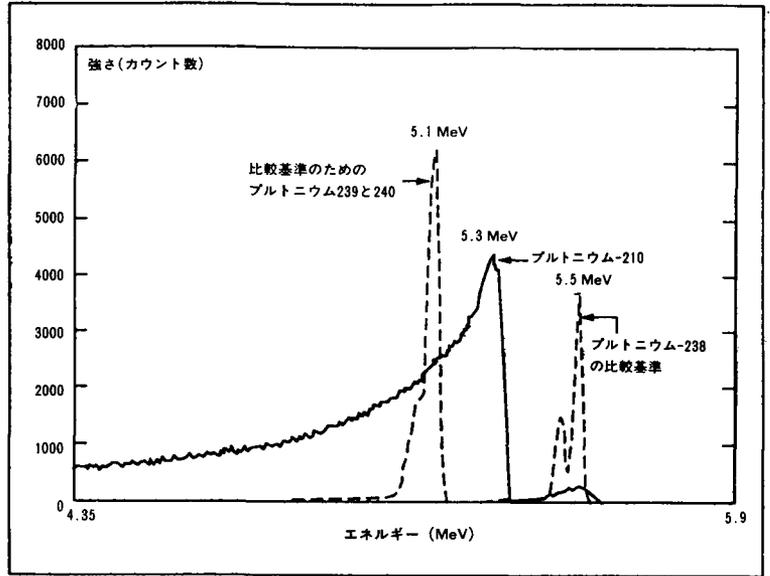
サンプル	元素の割合 (重量%)						
	Fe	Cr	Ni	Mn	Mo	Co	Cu
1	47.4	18.8	25.7	1.1	4.7	0.2	1.1
2	67.5	15.2	12.2	1.4	2.2	0.2	0.3
3	67.0	16.0	11.8	1.5	2.1	0.3	0.3
4	64.6	16.6	13.4	1.5	2.7	0.2	0.2
5	64.8	16.2	13.3	1.5	2.8	0.1	0.3
6	64.8	16.2	13.3	1.5	2.8	0.1	0.3

きない。一番可能性のある構成要素は炭素である。この場合、シリンダーは、コバルトをバインダーとして用いた浸炭タングステン・カーバイドのロッドであろう。このサンプルの密度(1立方センチあたり13.5グラム)は、この解釈と一致する。この物質は、機械部品を作るによく用いられるものである。

ポロニウム-210の検出 第6次査察団が持ち帰った文書によって、イラクが核兵器の起爆材料として中性子源の開発を進めていたことがわかった。このような中性子源は、アルファ粒子を発生するアイソトープであるポロニウム-210と、ベリリウムによって作られる。したがって、イラクのサンプルにポロニウム-210の存在が証明されれば、核兵器開発計画と、それがどこまで行われていたかが明らかになる。

ツワイサ原子力研究所から持ち去られて砂漠に埋められていたグローブボックスのスミア・サンプルの1つに、現地での汚染メーターの計測値によると、異常に高いアルファ放射能を示すものであった。スミア・サンプルをサイベルスドルフ研究所に持ってきて、アルファ粒子のエネルギー・スペクトルが計られた。その結果、スミアサンプルのピークは5.3 MeVで、予想されていたポロニウム-210のそれと一致した(グラフ参照)。この解釈は、政府所有の研究室での試験でも確認された。

燃料貯蔵プールのサンプル水の計測 IAEAの国連アクション・チームの任務の一つに、未照射および照射済みのすべての高濃縮ウランを、イラクから撤去することがあった。これらの燃料は現在、IRT-5000の炉プールと使用済み燃料プール、およびツワイサ研究所の外側の14ピットの貯蔵所などの数カ所にある。この燃料の輸送の手筈を整える前に、この燃料がまわりの水に核分裂生成物質を放出する程までに腐食しているかどうかを知る事が重要である。約100ミリリットルのサンプル水が、IRT-5000



と、ほとんどのピットから取られ、分析のためにサイベルスドルフ研究所に持ち帰られた。サンプル水の放射能は、SALとPCIでガンマスペクトロメータで計り、その後、pHの計測と、痕跡物質の特定と被覆(アルミニウムとマグネシウム)の腐食の形跡がみられるかどうか、インダクティビティー・カップル・プラズマ・アトミック・エミッション・スペクトロメータを用いた分光分析が行われた(表参照)。

スミア・サンプルのアルファ粒子エネルギー・スペクトル

これらについては、もしpHが10ぐらいの高さだと起こっていたはずの燃料要素の腐食は認められなかった。もし腐食が起こっていたならば、マグネシウムやアルミニウムの濃度は数桁高かったはずである。もし燃料のウラン・コアが影響を受けるほどであれば、水中に核分裂生成物質が検出可能な程度にあったはずである。

得られた教訓

昨年、IAEAのサイベルスドルフ研究所のさまざまな分析能力は、イラク査察で得られた結果を評価し、その後のフォローアップ活動を行う上で、貴重な資産であることが証明された。このような分析結果の価値は、申告されていない原子力計画に関する説得力のある証拠といっ

燃料貯蔵ピットのサ
ンプル水の計測結果

サンプル	pH	マグネシウム	アルミニウム
1	8.0	47	0.03
2	7.9	57	<0.01
3	7.9	62	0.03
4	8.0	72	0.03
5	7.1	24	<0.01
6	7.7	52	0.04

た、いまだに現実には発見されていないものにも有効であった。この面では、サンプル中のウラン、プルトニウム、その他の重要元素の分析に関しては、分析手法の感度と選択性への信頼性があった。このような分析は、サイベルズドルフ研究所で行われたにせよ、民間の研究室や政府の研究所で行われたにせよ、未申告の有意な原子力計画の察知を確実にする手段を与えたのである。

今回の分析業務に関しては、いくつかの教訓が得られた。それらは以下のようなものである。

●サンプル採取に関しては、分析者と事前に打ち合わせをすることが重要である。この打ち合わせでは、有効な結論に達し、干渉、不正、誤った結論などを避けるために、サンプルの選択と分析方法に重点が置かれる。

●十分に有効的なサンプル方法を用いることが重要である。このためには、用いる技術に関する要求と潜在的な問題を考慮にいれなければならない。

●迅速かつ信頼性のある結果を出す分析方法を選択することが重要である。

●データにつきもののランダムまたは系統的なエラーを考慮に入れて、得られた結論に推論を加えることが重要である。多くの場合、分析上の不確実性が、正しい結論と誤った結論の分かれ道になる事がある。

全体的な重要な結論は1つである。効率的な科学インフラストラクチャーと有能なスタッフに支えられた、IAEA 独自の広範囲にわたる分析能力を持っていて、IAEA は幸運であったということである。IAEA が組織内に分析能力を持っていなかったら、調整の必要性から、サンプルの分析はもっと難しかっただろうし、遅延や誤った結論を出してしまう可能性もあったであろう。遅延は、有効性の証明されている分析方法を使って、多数のサンプルを短い事前予告で引き受けてくれる研究所間で、分析のためのネットワークを作り、それを作動させることが必要なため、引き起こされたであろう。

さらに、このような計測が、国連の関連機関により、国際的な研究室で、国際的な科学者と技術者によるチームによって行われたことの利点を過小評価することはできない。これは、結果の独立性と公平さを確保する上で重要であり、そのために、その結論の信用性も高められたのである。

将来も、IAEA がその変化に富むニーズに対応していくためにも、これまでに得られた経験に基づき、その分析能力をさらに強化していくことが重要である。