放射線管理における測定の有する特殊性に関する考察

安 齋 育 郎* 吉 沢 康 雄**

Some Considerations of Special Characteristics of Measurements for Radiation Protection Practice

By Ikuro ANZAI and Yasuo YOSHIZAWA

Some basic considerations were made on the special characteristics of measurements for radiation protection activities. The authors emphasized that the measurement techniques should be thoroughly re-examined, not from the standpoint of pure radiation dosimetry, but from the standpoint of routine radiation protection practice. It is one of the most important characteristics that complicated uncertain factors are inevitably concerned with the measured value in the field of radiological protection. The authors indicated some error-introducing factors in several measurement techniques and emphasized that these techniques are yet fully effective in spite of those quantitative uncertain factors which are difficult to evaluate. The accuracy of the measured value is allowed to be less precise unless that quantitative uncertainty produces the qualitative uncertainty which has a hindrance in the normal performance of the radiation protection activities. This important understanding, being interdependent with the necessity of simplification of the techniques, can make a drastic improvement of measurement method really possible. From the standpoint mentioned above, the authors gave a typical example of the simplified method of urinary uranium analysis using sodium fluoride pellet, in which the trouble was remarkably saved and the time required for analysis was shortened to one third of that of the former method.

現在、放射線管理においては、多種多様な形態の『測定』が用いられている。放射線管理業務は、放射線取扱作業に伴う作業者の被曝線量を、實際上可能な限り低減することをその主要な目標としており、したがって、このために応用される『測定』行為の目標もまた、究極的にはこの点になければならない。放射線管理のこの目標を達成するためには、単に計測的な手段のみならず、総合的な施策が講ぜられねばならないことは当然のことであるが、一方、測定行為そのものもまた、つねに、放射線管理としての特殊性を明確に考慮したものでなければならない。

放射線管理における測定行為は、『測定という量的手段による管理行為の一形態』と規定されるべきものであ

る。したがって、それは単に量的な側面のみならず、作業環境、作業主体および作業行為という質的な側面をつねに担っているのである。しばしば指摘されるように、管理のための測定は、単なる“dosimetry”に陥らず、あくまでも“monitoring”としての明確な目的意識に、あらゆる点で裏づけられていなければならない。現在、多様な形態で取り入れられている測定もまた、従来の、

* 東京大学大学院工学系研究科原子力工学専門課程放射線健康管理学教室 (Tokyo Univ. Post-graduate Course, Faculty of Technology, Dept. of Engng.)

** 東京大学医学部放射線健康管理学教室 (Tokyo Univ. Faculty of Medicine, Dept. of Radiological Health)

いわゆる“測定技術学的な”見地とは基本的に異なる、いわば“放射線管理測定学的な”見地から再検討されるべき余地が残されていると考えられる。

このような観点に立つとき、まず第一に問題となることは、放射線管理測定学的な立場の特殊性は何かという問題である。この問題が明らかにされない限り、測定方法の具体的な改善はなされ得ない。

放射線管理において測定の対象とされる量は、一般に本質的な不確定要因を作っている。管理の対象が第1図に示されるごとく、放射線環境において何らかの作業行為を行なう主体としての人間であるから、量的管理行為としての測定に付随する不確定要因もまた、つぎの3つの範疇に分類して考えることができる。すなわち、

- ① 作業環境条件の複雑な変化に起因するもの。
- ② 作業行為の複雑さに起因するもの。
- ③ 作業主体構造や生体機能における複雑さに起因するもの。

第1図

実際の測定値には、これらの異なる原因に基く誤差が、複雑に重畳しているのであるが、放射線管理実務における測定値の有する意義とその限界を、正しく評価するには、これらの不確定要因が、管理の具体的諸局面に応じて正しく分析されなければならない。ひとつの具体的な実例として、著者らがフィルム・バッジに関連して行なった簡単な実験の結果について述べる。第2図に実験系の略図を示す。人体を模擬した直径25cmの型水フ

第2図

第1表

A. Water Phantom Standing Still

Film No.	Relative Response
1	100%
2	46
3	36
4	12
5	10

B. Water Phantom Rotated 65° Around Its Axis

ァントムの周囲に、図のように5枚のγ線用バッジ・フィルムを貼り付け、ファントム表面から65cmの位置に置いた²²⁶Ra線源に一定時間被曝させる。このとき各バッジ・フィルムの相対的正味黒化度は、第1表A欄に示される通りであり、1の位置と5の位置とではほぼ1けたの差異が認められる。また、少しでも実際の作業条件を近似するために水ファントムを回転させながら照射すると、第1表B欄に示すように65%の相対値が得られる。実際の放射線取り扱い作業では、線源と作業者との幾何学的位置関係は複雑に変化している場合が多く、また、たとえ作業行為そのものは静的であっても、複数の線源が環境系内に分散している場合や散乱放射線が存在する場合には、程度の差こそあれ、本質的には上述と同様の問題が生ずる。すなわち、バッジ・フィルムの黒化度から求められる線量の測定値は、そのバッジ・フィルムが照射を受けた作業諸条件（作業主体、作業環境およびその中の作業行為）に関する具体的な情報が与えられない限り、厳密な意味での評価は困難である。フィルム・バッジによる個人被曝線量の測定では“radiation detector”は確かにフィルム・バッジであるが、われわれの測定目的にとって重要な意味を持つのは、フィルム・バッジ単独の方向依存性等ではなく、「フィルム・バッジ+身体」という“radiation detection system as a whole”の方向依存性等なのである。バッジ・フィルムの現像液の温度等に関しても厳密な条件を課しても、上に述べたような本質的な不確定要因を正しく把握しない限り、測定値の解釈は一面的であることを免れない。

この種の本質的な困難は、体内汚染の検出法としての尿中放射性物質濃度の測定等においても存在する。この場合には、被測定主体の生体機能上の変動傾向が問

題となるのみならず、尿中濃度の測定という技法そのものの背負っているハンディキャップ、すなわち、人体が multi-component system であるのに対し、各臓器からの放射性物質排出に関する情報量が、尿というほとんど唯一の channel に再不可分的に集約されてしまうという困難を付随している。したがって、尿中放射性物質濃度からの体内量の推定は、少数の特殊なケース（特定の核種の、しかも特定の被曝様式の場合）を除いては、一般に非常に困難な問題であることは多言を要しない。

しからば、このように推定困難な不確定要因を本質的に担っている測定値は、放射線管理の目標の実現にとってまったく無力であろうか。

答は明白に“否”である。われわれは、上述のごとき多様な不確定因子の存在を正しく認識した上でなお、管理行為の1つの形態として、しかもかなり重要な1つの形態として、測定行為を位置づけることが可能である。表面汚染検査法としての Smear Test あるいは空間線量率測定法としての Survey Meter による測定などにその好個の例を見ることができる。Smear Test では、汚染

核種の物理的・化学的性状により、また被汚染面の諸条件により、さらには sampling 箇所の選定や測定者による Smear の実施法の差異等により、測定値は多かれ少なかれ不可避免的な変動を伴う。しかしながら、loose contamination の発見の手段としての Smear Test は、かかる不確定誤差を伴いつつも、管理上最も有効な方法である。Survey Meter についても同様のことが言える。 ^{60}Co の γ 線で校正されている Survey Meter は、他のエネルギーの γ 線に対しては一般に異なる response を示すが、われわれはいちいち厳密な補正を施すことなく、 ^{137}Cs の γ 線のチェックにも利用できるし、場合によっては、散乱線等が混在しているために明確なエネルギー・スペクトルがわからない γ 線や、さらには X 線や β 線の存在のチェックにさえも有効に役立てることができる。

放射線管理における測定値は、単に量的な側面を有するのみならず、他の一面において質的な要素を強く担っている。しかも、具体的な放射線管理の場においては、われわれの判断にとって微妙な量的差異が重大な意味を

第3図

有する場面は比較的稀であって、多くのケースでは大まかな質的判断の段階で十分な管理効果をあげることができるのである。第3図は、通常における放射線管理の流れ図の概略を示したものである。作業主体および作業環境に関する測定値 (dosimetry information) は、一般に、判断の基準となる値との比較検討を経て、処置や勧告の必要性の有無といった質的な情報 (monitoring information) に止揚される。この場合に比較の対象とされる基準値は、ICRP 勧告値や法規上の規制値であることもあるが、管理上の実測値はそれらの設定値に比して十分に低い値をとることが多いため、管理担当者が実際の判断に用いる比較規範は明確な量的形態をとらない累積された経験的知識の総体であることも少なくない。それゆえ、放射線管理における測定値は、その量的な側面に不可避的に随伴している諸々の不確定要因がかかる質的な判断を誤りに導かない範囲内において、必要かつ十分な重要性を保持できるのである。このようにして、管理のための測定の精度は、純測定技術学的な意味で要求されるほど高い必要がないという認識に至る。

一方、測定行為があくまでも日常管理業務の中で位置

づけられなければならないという観点とは、具体的にはつぎの3つの要請として現われる。

第1は、測定行為は管理行為の重要な要素ではあるがそれがすべてではなく、したがって日常業務としての測定の立場からは man power 等をも考慮すると、可能な限り簡単な方法であることが必要であること。

第2は、放射線管理に限らず管理業務一般における基本的原則 “Plan, do and see.” という立場からすれば、測定結果の迅速な分析とその情報の作業条件への早期フィード・バックがなされるべきであること。

第3は、管理の場が私的企業体であると否とを問わず、測定方法の経済性が重要な意味を有すること。

測定技法の単純化・迅速化および経済性というこれらの要請は、先に指摘した放射線管理における測定精度の有する特殊性を考慮することによって、実現可能なものとなることができる。著者らはこれらの考察に基いて、ひとつの具体的な測定方法、すなわち、放射線管理のための尿中ウラン分析法について若干の実験と検討を行なったので、つぎに述べる。

尿中ウラン濃度の測定は、通常、蛍光分光分析によって行なわれる。著者らの試みた分析方法は、NaF 粉末製のペレット (直径 12mm, 厚さ 4mm) に化学的な処理を加えない尿を一定量滴下し、乾燥後、電気炉中において約 950°C で一定時間焼結し、放冷後ペレットを紫外線照射したときに発せられるウランに特有な波長の蛍光 (約 550nm) の強さを測定するという方法である。(本分析方法の詳細については、安斎らの論文⁽¹⁾を参照されたい。)

さて、第4図はこの尿中ウラン分析法についての厳密な方法(A)と簡略化した方法(B)の手順を示したものである。方法(A)においては、ペレットへの尿試料の滴下に 0.1ml のオストワルド・ビベットを使用し、電気炉中の焼結は10分間、さらに蛍光量の測定は、ペレット表面におけるウランの不均衡分布を考慮して3ヶ所についての繰り返し測定を行ない、その平均値をとる方法である。一方、方法(B)においては、尿試料を攪拌したガラス棒から落ちる雫を一滴滴下し、電気炉での焼結は3分間、蛍光量は1回のみ測定する方法である。方法(B)は方法(A)に対して所要時間は約1/3で済み、さらにオストワルド・ビベットの洗浄等の手間も省かれる。この2つの方法で同一の尿試料を比較分析した結果を第5図に示す。試料尿は、正常人の尿は一定量の硝酸ウラン溶液をスパイクしたものを用いた。

この結果は両者の間に極めて高い相関関係があること

第4図

放射線管理のための尿中ウラン分析

←第5図

第6図
↓

を示している。方法 (B) が、方法 (A) に比してより大きな誤差を含んでいることは、論を俟たない所である。滴下量は 1 滴の半よりはオストワルド・ピベットによる定量操作の方が高精度を期待できるし、蛍光量の焼結時間依存性が第 6 図のごとくであることを考えれば、3 分間の焼結よりは 10 分間の焼結の方が安定した結果を与え得るに相異ない。しかしながら、著者らは、放射線管理のための測定技法としては、方法 (B) で十分であると考えている。厳密な方法 (A) に代って著るしく簡略化された方法 (B) を採用することによる定量的な不利は、ウランによる体内汚染管理の実際の局面において、必要な定性的判断を誤謬に導くほどの大いさではなく、簡略化に伴って生ずる種々の利点を考えると、その明白な優位性は多言を要しないであろう。著者らが本実験において試みた例は、尿中ウラン分析というやや特殊な実例についてであるが、放射線管理のための測定手法においては、従来の分析科学的な見地からは一見非常識と思われるような手段が、實際上重要な意味を有するに至るという経緯を単的に示している。

以上、本論文における著者らの放射線管理のための測定に関する観点は、つぎの 2 点にまとめることができる。

- (1) 放射線管理における測定値は本質的な不確定要因を付随していることが多く、したがって、測定値は

それらの不確定要因の具体的な分析によってのみ正当に評価され得るということ。

- (2) 量的管理行為としての測定の有する質的側面を正しく認識し、測定方法の大胆な簡略化を試みることで管理上大きな有効性を持ち得ること。

本論文の著者らの立場は、放射線管理における測定の精度が無原則的な意味で低くてよいと主張する場立ではない。厳密な測定技術学的な検討から徒らに遊離した測定方法の安易な簡略化は、厳に戒められなければならないが、一方、放射線管理業務の場において測定値の有する意義とその限界を正当に評価することなく、徒らに過当な厳密さを要求することは、管理上労多くして実効が少いということ、換言すれば、放射線管理のための測定行為はあくまでも管理行為の量的形態であるという規定に徹すべきことが強調されなければならない。現在用いられている各種の測定方法もまた、このような観点から再検討されるべき余地があるものと考えている。

なお、本論文の要旨については、昭和 42 年の保健物理協議会第 2 回研究発表会において口頭発表した。

参 考 文 献

- (1) 安斎育郎, 前田和甫 : 日本原子力学会誌
Vol. 9 (1967)