放射線管理の日常業務における

ホールボディ・カウンタの位置づけに関する一考察

吉沢康雄*, 内藤 香*, 安斎育郎*, 今堀 彰*

(1970年6月19日 受理)

The Role of Whole-body Counting in Routine Monitoring Program

Yasuo YOSHIZAWA*, Kaoru NAITO*, Ikuro ANZAI* and Akira IMAHORI*

The principle of whole-body counting is widely applied to various fields of science. Much emphasis has so far been laid on the detection of a very small quantity of radioactivity, thus strenuous efforts having been made to improve sensitivity and energy resolution of equipments. In order to accomplish the purpose of radiation protection effectively, however, the following three points become more important. Namely,

- (1) Clarifying the role of whole-body counting in the radiation protection service.
- (2) Giving the whole-body counter the function as an individual monitor of internal exposure.
- (3) Utilizing the whole-body counter more easily and frequently, feeding the result back to the radiation protection service rapidly.

The present paper gives some basis for the argument that a simplified whole-body counter can meet these requirements satisfactorily, and that effective and economical radiation protection can readily be accomplished by this simplification. The basic properties required of the simplified whole-body counter for the monitoring purpose are considered in view of efficiency of detectors, its mechanism, and the way of utilizing it in the routine monitoring program. As an example, the paper describes the outline of the simplified whole-body counter intended to be installed in a certain nuclear power station.

1. ま え が き

全身放射能測定(whole-body counting)は, Schlundtらが電離箱を用いた原始的な装置で, 1929年に人体中のラジウム量の推定を行なって以来, 測定方法の幾多の改善や, 計測器系の目覚しい進歩を経て, 今では, 天然放射性物質やフォール・アウトの研究, 放射線防護の分野, 医学および生物学の分野など, 各方面で広汎に利用され

ている¹⁾²⁾。しかしながら従来は, 微量放射能の検出が強調され, 装置の感度や, エネルギー分解能の向上にのみ重点がおかれていたため, 装置は大きかりで高価なものとなり, 測定結果の解析にも, 特殊な技能を要する現状となっている。

わが国における, 放射線管理業務へのホールボディ・カウンタ(いわゆるヒューマン・カウンタ)の利用に関する主な問題点は, 次の3点である。

(1) 日常業務の一環として全身放射能測定を行なっている事業所は, まれである。

(2) 全身放射能測定の実務における位置づけが明

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

確でない。

(3) 測定結果の管理業務へのフィード・バックに対する関心が薄い。

しかしながら、放射線管理の本来の目的を効果的に実現するには、全身放射能測定を管理業務の中に明確に位置づけ、個人外部被曝に対してフィルム・バッジなどの個人モニタが果しているのと同じ役割を、個人内部被曝に対してホールボディ・カウンタに持たせ²⁾、さらに、日常業務の一環として、もっと手軽に、かつ、頻繁に利用し、測定結果を積極的に管理業務へ、フィード・バックさせることが重要である。

以下において本論文は、(1)簡易化したホールボディ・カウンタが、この目的を充分に果し得ること、しかも簡易化して初めて、効果的な放射線管理のできることを論じ、(2)このような目的で利用されるホールボディ・カウンタに要求される特質について考察し、(3)このような特質を備えた具体例として、原子力発電所での使用を想定したホールボディ・カウンタの構想について、その概要を紹介する。

2. モニタリングとしての全身放射能測定

放射線管理業務における全身放射能測定には、計測(Measurement)とモニタリング(Monitoring)との2側面がある。計測は放射性核種による体内汚染量を測定し、内部被曝線量を評価することに重点があるのに対して、モニタリングは、体内汚染という観点から、作業者とそれを取り巻く環境とからなる系(作業者一環境系)の異常をチェックし、その結果を管理業務にフィード・バックさせることに力点が置かれる。

ICRP Publication 12 (第3項)によれば³⁾、「放射線管理の主目的は、……安全で満足のゆく作業状況を作り出し、維持すること……」すなわち、作業者一環境系を正常状態に保持することにある。この目的を充分に果すには単なる計測に留まらず、測定結果を解析し、これを管理業務に積極的にフィード・バックさせるモニタリングの方向こそ重要である。動力炉の増設や、燃料再処理施設の操業開始などに伴ない、今後、作業者が内部汚染を起す機会の増加が予想されるので、“管理へのフィード・バック”は、ますます重要となるであろう。

3. 固定概念の抜本的変革の必要性

ICRP Publication 10 (第54項)は、内部被曝の場合に、測定頻度が次の4つの因子に依存すると述べている⁴⁾。

(1) 作業の性格、とくに取扱い放射性核種の量と種類

(2) プラントの設計と、作業者防護のための構造物の適切さ

(3) 取扱い放射性核種の検出のしやすさ、および、その化学的・物理学的・生物学的挙動

(4) 過去のモニタリングの結果

これらのうち、(1)と(3)に関しては、安齋・吉沢が若干の検討を行なっている⁵⁾。

測定頻度は、上記の諸因子に依存しているが、適切なモニタリング・プログラムを遂行するには、頻繁な測定が必要である。その理由は、放射線管理の目的を達成するために、

(1) 作業者一環境系の変化に充分即応できる測定

(2) 測定結果の迅速な分析と評価

(3) 分析結果の管理業務への頻繁かつ早急なフィード・バック

の3条件が要求されるからである。とくに、内部被曝の場合には、作業者環境系の変動が大きいので、測定間隔が長いと、実効半減期の短い核種による汚染などを見落してしまい、変化に即応した測定は望めない。しかるに、Vennartによれば、われわれが遭遇する放射性核種の大部分は、実効半減期が10日以内である⁶⁾。したがって、経験により必要な情報が得られるまでは、ある程度頻繁な測定が必要である。

先に挙げた適切な管理を実現するための3条件は、要約すると、(1)頻繁な測定、(2)迅速な結果分析、(3)頻繁かつ早急なフィード・バックとなり、これらを満すには、手軽に利用できるホールボディ・カウンタの開発が必要となる。このためには、ホールボディ・カウンタに対する従来の固定化した概念を抜本的に変革する必要がある、その際の基本的方向は、(1)機械装置の簡易化と、(2)管理上での有効な活用法の確立である。

計測に力点を置いて作られた、従来の研究用大型ホールボディ・カウンタでは、どうしても線量評価の精度を上げることに重点が置かれて、(1)データ解析のための特殊技能や、(2)長時間にわたる測定が必要であり、(3)高価で複雑な機構を有する装置となってしまう“手軽さ”の3側面、(1)人手、(2)時間、(3)費用のいずれにもムダが多く、頻繁な測定は望み得ない。簡易化して初めて、ICRP Publication 12 (第1項)に言う、真に効果的で、経済的な放射線管理³⁾が実現できるのである。

4. 装置に必要な特質と活用法の検討

以上のような観点に立って、管理実務用のホールボディ・カウンタに要求される特質を、(1)検出器の性能、(2)装置の機構(測定、保守、および、データ解析)、(3)管

理業務上での活用法の3点から検討を加えてみた。

検出器について、われわれは、プラスチック・シンチレータの有用性に注目している。その理由として、NaI (Tl) との比較において、(1)時間分解能が良いこと、(2)大型検出器を容易に製作できること、(3)経済性や、(4)検出器系全体としての安定性も秀れていることの4点が挙げられる。

次に、機構の検討のうち、測定簡易化に関しては、(1)測定方法と、(2)測定操作の簡易化が考えられる。測定方法については、被検者に肉体的、精神的負担をかけない工夫、たとえば、短時間測定、着衣したままでの測定、本来の業務を妨げないような測定計画の作成(作業終了毎測定、退社時測定、定期的測定、サンプリング測定など)を考慮すべきである。測定操作については、人手を省くための自動化を行なうべきで、被検者自身がスイッチ操作をして、専従の操作要員を必要としないことが考えられる。

また、保守を簡略化するには、(1)機構を単純にして、

安定性を高めること、(2)補修や補充の容易な器材を使用することの2点に留意すべきである。

さらに、データ解析の簡易化には、(1)データの自動的読み出しや、(2)限られた量の入手データから、有益な情報を多く得る努力が必要である。後者ではICRP Publication 12(第6項)にいう、データの解釈系(system of interpretation)の確立と²⁾、その簡易化が要請されるが、その1例として、われわれは、スクリーニング・レベルの設定を提唱したい。

検討事項第3点、ホールボディ・カウンタの活用法に関連して、Fig. 1に、日常業務におけるホールボディ・カウンタ活用のフロー・チャートを示した。

放射線作業者は、定期的な測定ばかりでなく、作業一環境系の実態によって被検者をいくつかのグループに区分し、各グループから抽出された対象について行なうサンプリング測定をも受ける。得られた測定値が、前述のスクリーニング・レベル以下であれば、作業一環境系は正常であると見なされ、作業はそのまま続行される。しかし、スクリーニング・レベル以上の測定値の場合には、放射線管理担当者によって、作業一環境系の検討がなされる。検討の結果、詳細調査は必要ないと判定されれば、直ちに、管理方式の検討へと移り、その結果が管理方式へフィード・バックされて、状況に応じ、

Fig. 1 日常業務におけるホールボディ・カウンタ活用のフロー・チャート

作業手順や、防護手段の改善、および、スクリーニング・レベルの改訂などが行なわれる。

通常、現場で遭遇するのは、おもに以上のルートであるが、作業環境系の検討の結果、詳細調査が必要と判定された場合には、破線枠内のサブルーチンに移る。

サブルーチンでは、まず、事態の緊迫性などに応じて、精密測定が必要かどうかの判断がなされ“NO”であれば、ただちに、作業環境を検討し、環境データから、汚染核種や、身体負荷量をだまかに推定し、これらのデータを得た上で、メイン・プログラムの管理方式の検討へと移る。一方、精密測定が必要と判定された場合には、大型ホールボディ・カウンタ測定や、バイオ・アッセイなどを実施し、核種決定、身体負荷量の決定を経て、被曝線量の評価を行なう。しかしながら、通常、これらの結果を得るまでには、かなりの日時を要し、この間、何らの管理上の方策を取らないで待つことは許されないで、精密測定と並行して、作業環境の検討を行ない、メイン・プログラムに戻る。

以上は極く一般的なフロー・チャートであって、細部については、個々の事業所の特殊性を考慮した上で検討を加え、予想される事態に対処しうるマニュアルを作成する必要がある。

ここで、スクリーニング・レベルをどのように設定したら良いかという問題が残されているが、われわれは、次のような4つの方法を考えてみた。

A. 個人に依存しない一律の値を、全放射線作業者に適用する方法

(1) その値を守っていれば、ICRP 勧告を遵守していると言える値 (Derived Working Limit³⁾ の性格を有する) を設定する。

(2) バック・グラウンド計数の m 倍の値を設定する。

B. 各作業者の個人差を考慮した上で、その値を越えると追加調査 (further investigation) が必要となる、Derived Investigation Level⁴⁾ 的な決め方

(3) 各個人について、各回の測定値に何らかの統計的处理を加え、これがスクリーニング・レベル値にフィード・バックされるようにする。例えば、前回までの測定値の平均値 $\pm 2 \sim 3\sigma$ (σ : 標準偏差) をスクリーニング・レベルとし、今回の測定値を棄却検定したのち、それまでの値に組み込んで、新たなスクリーニング・レベルとする。

(4) 正常人の体内放射能のバック・グラウンド値の n 倍と決め、これに体格や年齢などの補正を施す。

これらのうちのどれを採用するかは、現場の諸事情に

より異なるが、初期は(2)、次第に(4)、さらに(3)へと移行するのも、1つの方法であろう。

5. 具体例の紹介

最後に、管理業務への頻繁なフィード・バックを行なう、モニタリング用ホールボディ・カウンタとしての特質を備えた具体例として、某原子力発電所での使用を想定したホールボディ・カウンタの概念設計について、その概要を紹介する。

このホールボディ・カウンタは、次のような特徴を持っている。

(1) 検出器には、長さ40cm、幅20cm、厚さ10cmのプラスチック・シンチレータを用いており、これに54" $\times$ 5" 光電子増倍管を3本マウントしてある。これを、従来の高価な鉄室の代りに、簡易型のシャドウ・シールド (shadow shield) 方式^{7,8)} で遮蔽し、主として被検者の体幹部に存在する放射能を、2チャンネル波高分析器で分析し、2系列のスケアラードで計数している。

(2) 測定開始から測定値の読み出しまでが、全部、被検者自身の簡単な操作で自動的に短時間で行なえる構造を有しており、専従の操作要員を必要としない。

全身ではなく、体幹部のみを測定することは、ホールボディ・カウンタの名称と必ずしも一致しないが、実用上著しい支障はないと考えられる。経験によれば、内部汚染は多くの場合に、吸入や嚥下 (えんげ) によって起っているが⁹⁾、移行しやすい (transportable な) 核種の場合、前者では、一部は肺深部に沈着したのち、また一部は、気管系上部から線毛運動で消化管系へ移行したのち、後者の場合と同様の経路で系統 (systemic) 汚染⁴⁾ を形成し、それぞれの critical organ (その大部分が体幹部に存在) に沈着する。一方、移行しにくい (non-transportable な) 核種の場合にも、事情は類似しているが、系統汚染は起しにくく、消化管系へ移行したものは糞として排泄され、被曝線量の面で、あまり重要ではない。しかし、吸入されたもののうち一部は、長い半減期で肺に沈着する⁴⁾¹⁰⁾。いずれの場合でも、体内に取り込まれた放射性核種の大部分は、体幹部の外部計測によって、検出が可能である。

また、わずかに2チャンネルの波高分析しか行なっていないのは、プラスチック検出器からくる制約というよりは、むしろ、迅速なデータ解析のためであって、モニタリングの目的では、實際上、2チャンネルで充分有用な情報が得られるので、Chhabra も述べているように400

チャンネルもの波高分析は不必要である¹¹⁾。

6. む す び

これまでに、ホールボディ・カウンタを放射線管理の日常業務上どのように位置づけ、また、活用すべきかについて論じてきたが、以上の論点をここに要約してみる。

- (1) ホールボディ・カウンティングを実施するにあたっては、その主目的が、モニタリングにあるのか計測にあるのかを明確にすべきであって、要求される装置の適切な感度や複雑さは、それぞれの場合で、自ら異なってくる。
 - (2) 日常の管理業務に使用するホールボディ・カウンタは、管理へのフィード・バックを主眼とした、モニタリング用のものであるべきで、この場合に、従来の研究用大型ホールボディ・カウンタの固定化した概念を、抜本的に変革——主として、装置を簡易化し、活用法を確立——すべきであり、簡易化して初めて、効果的で経済的な放射線管理が実現できる。
 - (3) こうしたモニタリング用ホールボディ・カウンタの具体例として、従来の鉄室の代りに、シャドウ・シールド方式を採用し、全身ではなく体幹部の放射能をプラスチック検出器で測定し、2チャンネルに波高分析し、データの読み出しまで被検者自身の簡単な操作で自動計測のできる装置の構想を紹介した。
- 現在のところ、外部被曝におけるフィルム・バッジのように簡便ながらも多くの有益な情報を提供する内部被曝用の個人モニタは、残念ながら存在していないが¹²⁾、実務上十分な感度を有する簡易型ホールボディ・カウンタをスクリーニングの目的で頻繁に活用するならば、こうした要請を満たすことができる。将来、作業者が内部汚染を起す機会の増加が予測されるだけに、ここに紹介したような安価な簡易型ホールボディ・カウンタが、数多くの事業所に設置され、個々の事業所の特殊性に応じ

た効果的なモニタリング・プログラムの中で活用されることが望まれる。

参 考 文 献

- 1) B. Rejewsky, et al.; Assessment of Radioactivity in Man 1, 15, IAEA, Vienna (1964).
- 2) W. C. Roesch; *Health Phys.*, **11**, 945 (1964).
- 3) General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers. A Report by Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 12, Pergamon Press, Oxford (1968).
- 4) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Report of Committee 4 on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure. ICRP Publication 10, Pergamon Press, Oxford (1968).
- 5) 安斎育郎・吉沢康雄, 保健物理, **3**, 296 (1968).
- 6) J. Vennart; *Health Phys.* **13**, 61 (1967).
- 7) H. E. Palmer and W. C. Roesch; *ibid.*, **11**, 1213 (1965).
- 8) D. N. Brady and F. Swanberg, Jr.; *ibid.*, **11**, 1221 (1965).
- 9) D. Parker and J. I. Anderson; *ibid.*, **13**, 141 (1967).
- 10) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Report of Committee 2 on Permissible Dose for Internal Radiation. ICRP Publication 2, Pergamon Press, London (1959).
- 11) A. S. Chhabra; *Health Phys.* **16**, 719 (1969).
- 12) J. Vennart; *Nature*, **204**, 1041 (1964).