

論文の内容の要旨

論文題目 Study on proficient dosimetric approach for establishment of radiation safety qualification in Vietnam.

(ベトナムにおける放射線安全の質の確立のための熟達した線量学的アプローチに関する研究)

氏名 Tran Ngoc Toan

1. 序

ベトナムでは平和利用の目的のため、また人々と環境の利益のために、原子力の開発を行ってきたが、同時に、法的規制による放射線の安全、リスク管理を、線量学を通じ定着していくことが重要である。本論文の目的はベトナムにおける放射線安全の質の向上を達成するための線量学的アプローチを明らかにすることである。本論文は8章からなりその構成を図1に示す。

第1章では論文構成と共に、本研究の背景と目的を示す。最近、ベトナムでは放射線とラジオアイソトープの利用が急激に増加しており、又、2020年までに動力炉の導入を計画している。従って、質の高い放射線防護の確立が喫緊の大きな課題である。

放射線安全管理の目標は、放射線作業員や公衆の放射線健康リスクを低く抑えることであり、この目標は次の3分野の活動を通して達成される。

- 自然及び人工起源の環境放射線の評価
- 質の高い環境モニタリング・警報システムの整備
- 放射線医療のための線量学および品質管理システムの整備

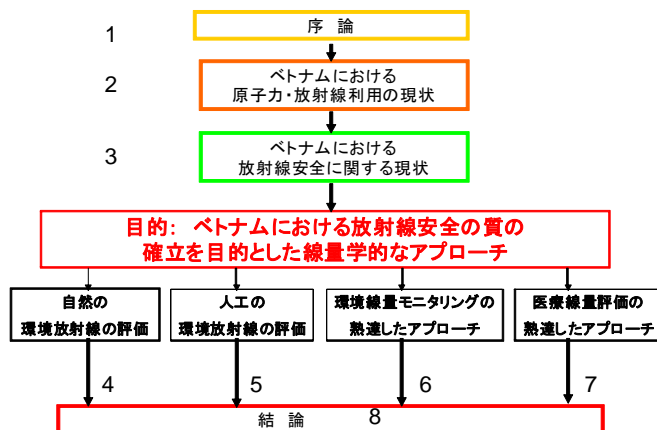


図1. 論文の構成図

2. ベトナムの原子力利用、放射線安全の現状

2章ではベトナムの原子力利用の現状と将来計画を紹介する。放射線および放射性核種利用は、特に医療分野において大きく増加する傾向にある。さらに2020年までに動力炉が導入される。このような状況の中、原子力安全体制のグレードアップが喫緊の課題である。

3章では自国の原子力の利用と呼応した将来の放射線安全の方向付けに必要な情報を提供するため、ベトナムにおける放射線防護についての諸活動について紹介する。

3. ベトナムにおける自然環境放射線の評価

4章で自然及び人工起源の環境放射からの人の被ばくをまとめる。自然放射線被ばくは主として2つの要素、つまり大気圏に入射してくる高エネルギー宇宙線と、環境の至る所に存在する地表面近くの土壌を起源とする放射性核種である。

初めに、ベトナムにおける宇宙線成分の解析を行った。地方自治体ごとの宇宙線線量が、大気中宇宙線スペクトル計算コード EXPACS(日本原子力研究開発機構)を用い評価、ベトナム全土の詳細な中性子成分を含む全宇宙線線量のマップを初めて作成した。本研究によれば、電離成分による周辺線量率は 24.4 nSvh^{-1} から 62.7 nSvh^{-1} 、中性子成分の線量率は 6.4 nSvh^{-1} から 54.6 nSvh^{-1} と評価された。

土壌中の自然放射性核種からの外部被ばく量評価には、①土中に含まれる核種の濃度の測定値から計算により外部 γ 線線量を求める方法と、②大気中の外部 γ 線線量率を直接測定しそこから宇宙線成分を差し引いて求める方法の2種類を適用した。全国から収集した464個の土壌試料を測定した平均放射能強度は、 ^{238}U が $(43.6 \pm 19.0) \text{ Bqkg}^{-1}$ 、 ^{232}Th が $(59.7 \pm 19.8) \text{ Bqkg}^{-1}$ 、 ^{40}K が $(403 \pm 244) \text{ Bqkg}^{-1}$ であった。ベトナムの人工加重吸収線量は $(71.6 \pm 30.3) \text{ nGyh}^{-1}$ であった。この値は世界の線量率の変動の範囲内 ($32 - 93) \text{ nGyh}^{-1}$)におさまるが、世界の平均値の 59 nGyh^{-1} に比べると高めである。人工加重実効線量率は $(50.2 \pm 21.2) \text{ nSvh}^{-1}$ となった。宇宙線の影響を差引いた後のデータは土中の ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K の放射能濃度から計算した値とよく一致した。

ベトナム全土の正確な自然放射線線量分布を作成する為に以下のアプローチをとる必要がある。

- 過去の放射線バックグラウンドの測定や測定値の宇宙線寄与を補正するために用いたサーベイメータを校正すること。
- 地上での線量率の測定に、最新のソフトウェアを装備した NaI(Tl)サーベイメータを使用し、そこでの宇宙線線量率値を合算すること。
- 異常な大気線量率の発生時にはその場所での放射性核種の土中濃度を知る必要がある。

4. 人工放射線環境と放射線安全のための線量評価

5章では放射線物質の環境への漏えいと人の諸々の活動に伴う公衆の被ばく量をまとめた。ベトナムにおける人工放射線による影響の予備評価も紹介する。全出力4GWの動力炉が2020年までにベトナムで運転を開始するため、公衆の放射線安全確保を計画的に考えていく必要があり、

この問題については6章で議論する。

他方で、ますます増大する X 線発生装置、放射線療法、核医療機器と共に原子力技術の利用や取扱い数も急激に増大している。医療分野における放射線線量評価と放射線安全については7章で扱う。

5. ベトナムの高品質な環境モニタリング・警報システムの整備

6章では定常時及び緊急時の環境放射線の放射線モニタリングシステムについて、又、環境用線量計の改良の研究について考察する。ベトナムにおける高品質の環境用モニタリング・警報システムについても提案する。

線量計システムを構成するサーベイメータを海上の木製ボートに持ち込み、宇宙線の応答を決定した。これらの検出器はベトナム原子力科学技術研究所 (INST) において、種々の外部環境放射線成分に対する応答を決定するため、検出器と遮へい体を様々に配置して測定を行った。

これらの結果は、海上での測定結果との間で整合がとれていた。最新のソフトウェアを装備した NaI(Tl)サーベイメータは宇宙線に対してほとんど感度がなく、かつレスポンスの角度依存性が少ないことから地上 γ 線の測定には非常に有用である。

TLD-100 と Harshaw4000 読取り機で構成される熱蛍光線量計システムの研究を、国際標準書 IEC-1066 「個人及び環境モニタリング用熱蛍光線量計」(国際電気工学委員会)に則って実施した。

外部環境 γ 線線量計の校正のプロトコルが、ベトナム国立線量計校正研究所 (NDCL) で整備された。測定結果は空気カーマ率と比較され、その差が ^{137}Cs で5%以下、 ^{60}Co で5%程度、 ^{226}Rn で2%から10%であると評価され、各線源の空気カーマの標準放射線場が5%以下の精度で確立された。NaI(Tl)スペクトロメータで低レベルの環境放射線線量率を連続的にモニタリングし、重要な核種同定を行う手法を開発した。

以上のスタディを踏まえ、ベトナムの総合放射線モニタリング・警報ネットワークを考案した。そのシステムは、ベトナム原子力研究所(VAED)内に設置する中央モニタリング局、ハノイ、ダナン、ホーチミン、ニントゥアンの地方モニタリング局、地域境界での地方モニタリングポイントから構成される。モニタリング局には、モニタリングポストとステーションが配備される。首都ハノイとホーチミンには全土に責任を持つ緊急時対応チームが配置され、ベトナム国内で原子力事故が起こったときの対応に当たるシステムとした。

6. ベトナムの医療応用における線量計および品質管理システムの進展

7章では放射線医療機器の品質管理や患者の線量管理を通じたベトナムの放射線医療における線量計および品質管理システムの進展を議論する。

X線システムの品質管理試験では、X線管の印加電圧 kV (その精度、再現性、一貫性) の検証が最も重要である。kV は像の画質と患者の被ばく線量の両方に影響を及ぼすため、kVp メータでチェックする必要がある。ここでは新しい PPV メータを含むすべての種類の kVp メータの校正法を開発、整備した。

ここでの成果に基づき、これまで定期的にベトナム全土を対象とした放射線治療施設の品質管理を実施してきた。その結果、このプログラムに参加している放射線治療施設間ではバラツキは5%以下に抑えられるまでになった。物理士、医師、技術者の放射線取扱いの知識と技能はこの外部検査プログラムを通して改善された。

診断用放射線医学による被ばくは人工放射線からの国民線量の大半を占める。これらの線量を管理する為、X線イメージング手法の設計と使用の最適化を図ることが必要である。ベトナム2次標準線量施設(SSDL)では診断医療のための新たな放射線の特性を表すRQR、RQA、RQTを確立することに成功した。これら一連のRQR、RQA、RQTは、IAEAコードの基準及びIEC標準61267と共に編集されている。これらの編集により医療用X線装置の特性決定や臨床用X線線量評価のためのSSDL・ベトナムの体制が整った。

ここでの校正のシステムは、ギリシャの2次標準線量施設を介して、ドイツ1次標準施設(PTB)とのトレーサビリティがとれており、その確認は相互比較により行われた。それによれば、ここでの結果は大変良好で、他のSSDLの値と2%以内の精度で一致していることを示している。

7. 結論

8章では各章における成果をまとめている。主要なものは以下である。

- ① ベトナムにおける宇宙線線量の詳細な全体像の評価を行い、それらを初めて分布図として示した。
- ② ベトナムにおける環境放射線線量率を調べる実際的な方法を提示した。又、これまでに調べられた結果は宇宙線の寄与に対する補正をする必要がある。さらに、新たに最新のソフトウェアを装備したNaI(Tl)サーベイメータを用いて線量率の測定をすべきである。
- ③ 外部環境γ線線量計の校正法のプロトコルはベトナムでは既に確立されていて、環境放射線のモニタリングに用いる測定器の評価は可能である。
- ④ ここでの検討により、ベトナムの環境放射線モニタリング・警報システムを提案した。
- ⑤ ベトナムSSDLにおいて、診断用放射線医学のための新たな概念であるRQR、RQA、RQTの確立に成功した。
- ⑥ X線を使った患者の検査の適正化のために、ハノイ病院でX線検査のための標準ESDを決定した。
- ⑦ X線システムの品質管理に用いるkVpメータ(新型のPPVメータを含む)に対する校正法を確立した。
- ⑧ ベトナム全土を対象に、定期的に放射線医療の品質管理および放射線医療装置の検査プログラムを実施した。

ここで示した、ベトナムにおける放射線安全の質的向上を確立するための線量学的アプローチに沿って、ベトナム全土に対し、自然及び人工の放射線源からの環境放射線評価を基礎とし、原子力発電所並びに放射線医療施設に関連する放射線安全の活動を拡大し続ける必要がある。