

屋外飛び込みプールの放射能管理について

村瀬陽介¹⁾, 安藤邦彬¹⁾, 荒井信成²⁾, 鈴木耕太郎¹⁾,
武政 徹¹⁾, 椿本昇三¹⁾, 田神一美¹⁾

The estimation of radioactivity entering the outdoor swimming pool located in the area of radioactive contamination

Yosuke MURASE, Kuniaki ANDO, Nobunari ARAI, Kotaro SUZUKI,
Toru TAKEMASA, Shozo TSUBAKIMOTO, Kazumi TAGAMI

Abstract

The Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant failure occurred at the Temperate Zone where are suited to install a outdoor swimming pool. The radioactive materials could be removed if swimming pool water are completely drained off, but it's not clear whether we can use a swimming pool removing the radioactive materials from radiation-contaminated environment. We estimated about the amount of radioactive materials blown into the swimming pool for projection what percentage of blown radioactive materials are mixed into the swimming pool water, and the radioactive accumulation of thies swimming pool water when those radioactive materials are fully stirred up. We compared the radioactive accumulation with the legal level set for safety swimming, and discuss about the difference between the two levels.

In the outdoor swimming pool at the Tsukuba University, the dust from contaminated soil were blown into the swimming pool water (radionuclide migration) and the radioactive accumulation was 500Bq/m² (187,500Bq) in a recent one year period. This radioactive accumulation is equal to the result of simplified measurement by drain trap (0.82Bq/m²/day). In this outdoor swimming pool, the concentration of radioactive materials are calculated 0.1Bq/l, if those radioactive materials were agitated fully by swimming people. This concentration was 1/100 of legal level set by the Ministry of education, culture, sports, science and technology. We discussed about the possibility of the radioactive accumulation exceeding the legal limit, if we daily use a one-meter-

1) 筑波大学体育系

2) 筑波大学人間総合科学研究科

deep outdoor swimming pool what is contaminated by the radionuclide migration continuously.

はじめに

2011年3月の福島第一原子力発電所の放射能漏出事故による汚染を受けた地域にある屋外飛び込み競技用水泳プールを学生に安全に提供して行くことは、設置者である筑波大学体育センターにとって重要な課題である。法規的には学校保健安全法とその関連する法規類が定め、水道水に準ずる20Bq/lが適用されている(文部科学省スポーツ・青少年局学校健康教育課, 2012)。我が国の水道水は、飲用されることを前提に製造と供給が行われており、その全量がろ過・消毒される上に、その後の汚染を受けることが無いように給水されている。プール水は水道水に準ずる水質の水を水源としているが、その後の汚染については必ずしも保証されないという相違点がある。

放射能漏出事故直後の7月に当該プールの水と沈殿物を採集して放射能測定した結果、沈殿物を多く含んだ水の放射性セシウム(^{134}Sc と ^{137}Sc)は439Bq/l(33,000Bq/m²に相当する)、プール水は測定器の検出感度以下の低値であることが知らされた。法規に従って運用するのであれば、この測定値は問題にならない数値と言う事になる。しかし、プールの沈殿物には、藻類の遺骸などの軽くて容易に舞い上がる成分が含まれているので、プール内の沈殿物の放射能を考慮する必要があるかもしれないとの考えは妥当である。これには、ヒトが入って泳いでいる状態で採水して測定する方法や、使用前の沈殿物の放射能を測定してこれがプール水全体に均等に分散すると仮定する方法などで対応ができる。その上で、より高い安全性を保證できるプールを提供する方策として、沈殿物の除染が必要になる汚染レベルに関する見通しと除染の方法についても情報提供を目指した。除染方

法については、水を抜いて洗い上げることも検討したが、継続可能な維持管理方法とコストを勘案して、プールクリーナーを採用した。この除染後のプール水底の沈殿物の放射能の数値は41Bq/m²となり、初期値を100%とした場合の99.88%がこの方法で除去できたことになる。なお、この時に除染した放射能の多くは、発生源から漏出したものが気流によって当該プールの上空に運ばれ、降雨と共にプールにもたらされたものと解釈している(田神, 未発表)。事故から4ヵ月後の試料収集であったために、放射性ヨウ素は既に検出限度以下に減衰していた。

その後、セシウムの様な長寿命核種は、環境中を移動(migration)して特定の場所に濃縮することが紹介された(Sehmel, 1977)。例えば、屋根にうっすらと附着していたセシウムが、降雨によって洗い流されて雨水桝に集まるといった具合である。大学のキャンパスは既に、かなりのレベルに汚染されている(Kinoshita et al., 2011)ので、これらが風で巻き上げられてプールに吹き寄せられる可能性が指摘されたことになる。これを検証するために放射能を集める水トラップを全国の36地点に配置して、地域の汚染状態とトラップに集まった放射能との関係を解析した。この結果は、他誌の審査を受けているところなのでこの場で詳細を記載することは出来ないが、指摘は事実であることを確認している(田神, 未発表)。

放射能漏出事故の直後に、学校の屋外プールが安全に使用できるのかどうか問われ、学校プールを所管する文部科学省(スポーツ・青少年局学校健康教育課, 2012)と学校以外の公共プールを所管する厚生労働省(健康局生活衛生課, 2012)は、事故直後の国の水道水の暫定基準値(200Bq/l, 厚生労働省食品局食品安全部

長通知、2011年3月17日)をプール水に適用して、福島県内の避難地域外の学校プールや公共プールを再開させた。これまでのところ、この基準値に抵触する程に放射能汚染したプールは見つかっていない。なお、プール以外の河川や海浜の水泳場に関して環境省は、 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 50Bq/lと ^{131}I 30Bq/lを2011年度限りの暫定基準値と定めて各県に通知し、実施した(環境省水・大気環境局水環境課長通知、2011年6月24)。福島県は、6月23日から28日にかけて事故現場から遠く、比較的環境放射能汚染の低い地域である県北と県西地区の県営・市営プールと学校プールの計144プールから採水して検査し、この環境省の基準に従って2011年度の福島県内の水泳プールの使用が決定された(福島県、2011年7月4日)。なお、環境省は1年後に水浴場の放射能の基準値を10Bq/lに戻した(水・大気環境局水環境課長通知、2012年6月8日)。プール水についても、同時期に震災後の暫定基準から平時の基準値に戻されている。

各行政機関が取り組んでいるように、水源が放射能汚染しているのであればプールへの給水(多くは水道水)は重要な汚染源となり得るが、この他の汚染源、例えば利用者の身体に付着して持ち込まれる量や汚染している土壌が埃となって侵入する量がどれほどになるのかについて公表された資料にたどり着くことは出来なかった。広島・長崎の被爆時には、プール自体が稀な体育施設であり、チェルノブリヤスリーマイル島は、何れも北方の冷涼地域で発生した事故であり、屋外プールが立地する環境にはなかったことにより、給水以外の放射能汚染ルートを調べる必要性すらなく、屋外水泳プールの放射能汚染についてのデータが無いものと考えている。東北地方南部に位置する福島県内でも学校プールの多くは屋外に設置されており、今後激しい土壌放射能汚染と共存することを余儀なくされている。こうした地域に設置された水泳プールが、給水以外のどのような放射能侵入に、どれほど曝されているかを把握しておくこ

とは、プールの提供者側として必要な情報である。

1986年4月26日のチェルノブイリ原子力発電所事故の際の環境放射能汚染についてKryshch (1995)は、水系汚染について調査して、原子炉の冷却水の水源となっていた池水の事故直後(1986年5月30日)の ^{134}Cs (半減期2.1年)と ^{137}Cs (半減期30.1年)の放射能はそれぞれ $200 \pm 100\text{Bq/l}$ と $400 \pm 200\text{Bq/l}$ に達し、この池の総汚染量は $30 \pm 15\text{TBq}$ 、 $60 \pm 30\text{TBq}$ と見積もっている。その後、この池の水の ^{137}Cs 放射能は、年を追って $60 \pm 40\text{Bq/l}$ 、 $19 \pm 7\text{Bq/l}$ と急速に減衰して行き、4年後の1990年には $14 \pm 6\text{Bq/l}$ まで低下する一方、この間の水底堆積物の放射活性は $170 \pm 100\text{Bq/kg}$ (湿重量)から $140 \pm 100\text{Bq/kg}$ (湿重量)までしか減衰していかないことを示した。静止水に分散しているセシウムは時間を追うごとに沈降して大幅に減って行くが、堆積物中のセシウムには、新たに周辺から流れ込んでくる成分が沈降することと長寿命核種であるために自然減少していかないことが原因でこのような相違となると述べている。

本学の飛び込み競技用のプールも屋外プールである。しかし、一般の学校用プールと異なるのは、水深が5メートルと深いことと、プールサイドから水面までが1メートルほど掘り下げられて埃を集めやすい構造になっている点である。水は放射線の遮蔽効果が大きく、沈殿物から放射されるガンマ線を完全に遮断するので、泳者が放射線被ばくすることは無い。問題は、水泳によって水が攪拌された際に舞い上がった放射能が、10Bq/lの基準値を超えることがあり得るかどうかにあり、この値に達するほどの放射能蓄積が核種移動によって起こるかどうかを検証することに意味がある。屋外プールがこのような自然の作用を受ける可能性について検討されていないことは、屋外プール施設やプールでの授業などの事業を提供する体育指導者の不安材料である。

方法

採泥器の作成

プールは底質がコンクリートで硬く、沈殿物は比重の重い砂粒から藻類の遺骸のようにフワフワと漂う物まで幅広い物質で構成されている。プールで使われる採泥器は、このような物質を沈殿した状態のまま全量を一挙にすくい取る性能を有し、5メートルの水底まで人が潜って両手で作業できるサイズが求められる。市販品は無いので、ホームセンターを歩いて1リットルほどのキッチン用の油缶と1mm厚のアルミ板で代用することにした。アルミ板には短辺の一方にグリップを取り付けて水中での操作性を高めた(図1)。油缶に水を入れ、口が下になるように左手に持ち、右手にアルミシャッターを持って潜水する。水底の測定箇所に沈殿物が舞い上がらないようにそっと水底に置き、シャッターをこじ入れてから油缶とシャッターを一体として逆さまにしてシャッターを蓋として押さえながら浮上する。油缶の口の面積は、データを面積当たりで表示するので重要な値である。油缶は卵型をしていて正確な値を求めるのは難しいが、長軸140mm、短軸105mmの油缶では、 0.011m^2 を得られることが分かった。(図1)

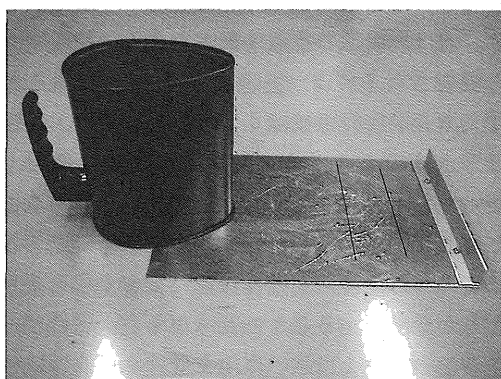


図1 自作水泳プール用採泥器
A sediments collector steal mug with a shutter

サンプリングと測定

プールの底の6ヵ所から採泥し、それぞれをゲルマニウム半導体検出器に入れて4時間以上カウントし、6ヵ所の平均値を測定値とした。水と共に採泥した試料は、ポリタンクに移して番号を付し、実験室でろ過して濾紙上に残った残渣を5cmの正方形に折りたたんで乾燥させてポリ袋に入れた状態でカウントした。検出器の計測値(トータルカウント)は、実計測時間(秒)で除し、この値を更に放出確率(604keV: 0.976; 661keV: 0.851)と標本の形態による検出効率(604keV: 0.0350; 661keV: 0.0364)で除してベクレル値を算出した。

清掃の方法

前年度の清掃用具は、いわゆるプールクリーナーと呼ばれる装置で、吸い上げた沈殿物をろ過機で濾し取り、水をプールに戻す方式であった。これによる清掃効率は計算上99%以上であったが、ろ過機の容量が小さくオーバーフローして、沈殿物を巻き上げることがあった。今回の装置は、揚水ポンプ方式で吸引した水とゴミをそのまま下水道に放流する仕組みである(図2: クリーピークラウリー・TUF250型)。この器材は、自走機能もあるが今回は全て手操作で清掃した結果、取り残しを小さくできたと考えている。(図2)

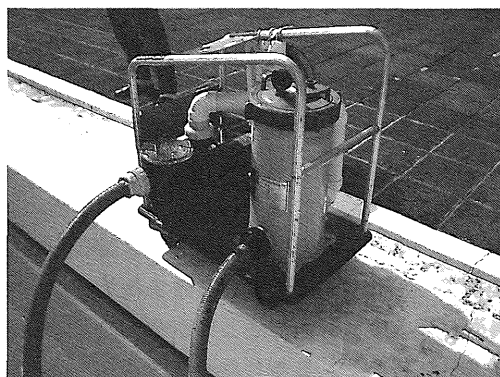


図2 吸引式プールクリーナー
A vacuum pool cleaner unit

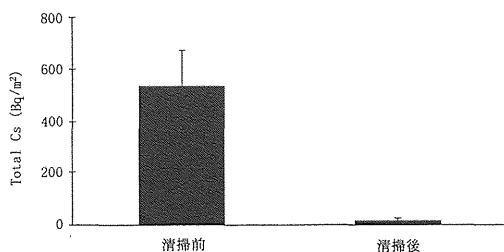


図3 1年間の放射能移動量（プールへの侵入量）と除染の結果

An annual radionuclide accumulation of an outdoor swimming pool in Tsukuba, and a result of high-power vacuum cleaning.

結果

清掃前の沈殿物の放射能は、159-1891 Bq/m²の範囲にあり、平均値と標準偏差は539 ± 131 Bq/m²であったが、清掃後は、10-31 Bq/m²の範囲にあり、平均値と標準偏差は17 ± 8 Bq/m²となった（図3）。この値から算出するプール内の全放射エネルギーは、202,000 Bqと6,000 Bqであり、攪拌されて均等に分散した場合の放射能濃度は、0.53 Bq/lと0.02 Bq/lであり、清掃による除去率は97%が得られた。

筑波地区の土壌を汚染している放射能が風雨によって移動して屋外プールに混入する量は、水トラップ法を用いた測定により、およそ0.82 Bq/m²/dayと見積られた。

考察

規制値と測定値との関係

現行のプール水の法的な放射能規制値は、通常の採水方法で得られた水に関して10 Bq/lである。屋外プール水は、この基準に照らして何ら問題のない値であることを確認できた。しかし、屋外に設置されているプールの場合は、法律が想定していなかった汚染経路があるとの指摘を受け、この研究による測定値がこれを追認する結果となった。前年度の清掃後の値41

Bq/m²から539 ± 131 Bq/m²まで増加した背景は、水トラップ法によってプールサイドで測定した0.82 Bq/m²/dayという風や降雨による周辺からの「放射能混入」と考えられる。プール内の測定値539 Bq/m²と年間の放射能混入総量299 Bq/m²とは2倍以内ではほぼ一致していると考えてよい。この屋外プールは冬季に使われることがほとんど無いので、循環水量を落として運転され続けている。しかし、こうした運転では、一旦沈殿した埃は除去されることが無いためにこのような数値になったと考えられる。

500 Bq/m²/yearと10 Bq/lとの関係は、まずプールの面積（375 m²）を乗じてプール全体に沈んでいる放射エネルギー（187,500 Bq）を求め、プールの水量（1,875,000 l）で除した値（0.10 Bq/l：完全に攪拌されて均等に分散したと仮定した値）との関係から読み解くことになる。スイマーの力だけで水深5メートルのプールの水を攪拌することはあり得ないが、小・中学校の水深1メートルのプールに2クラスの子供が入って一斉に泳ぐことはあり得るので、放射能混入を考慮に入れた推計が求められる。

放射能混入量は周辺環境の汚染状態を反映している。先の本学プールサイドで測定した値は、関東地方の平均的な値であり、我々が手にしている最大値は、プールサイドではないが福島市内の個人の庭先に水トラップを設置させていただいて測定した45 Bq/m²/dayである。この値から1メートルの水深のプールに漂う放射能の濃度を、ろ過機の循環速度（ターンレイト）を3ターン/日、実際に子供たちが水泳している時間を6時間/日と設定して算出してみた。沈殿物が使用中に均等に分散した場合に、3ターン/日の循環速度で運転するとカオリン（陶土）の様な微小粒子の除去率を10%（室谷, 1968）と見積ることができると言われている。毎日45 Bq/m²/day（一日当たり16,875 Bq）の放射能がプールに運ばれて来て沈殿し、プール使用中に巻き上げられて拡散した放射能の10%がろ過機で取り除かれてい

るので、30日後にこのプールに蓄積している放射能は、145,000Bqに達し、この時の使用中のプール水の放射能濃度は、0.387Bq/lと予測できる。その後この蓄積放射能は152,000Bq/l未満の値で飽和すると考えられるので、この地域のプール水は、特段の人為的な除染操作をしないとしても0.40Bq/lの値で平衡するという解が得られる。筑波地区の混入量0.82Bq/m²/dayを用いた予測値は、0.007Bq/lが得られる。

では、屋外水泳プールはどの程度の放射能汚染地域まで、法定準拠して使用することができることになるのかを放射能移動量から逆算して求める事ができる(図4)。25m×15m×1mのプール内に蓄積した全放射能量が3,750,000Bqの時に水中に均等に分散すれば放射能濃度が10Bq/lの法定基準値に達する。これに達し得る放射能移動量は、1000Bq/m²/day以上に激しく汚染されている地域となる。(図4)

このような汚染地域が実際にあるか、そしてそこで水泳プールが開かれているか否かについ

ては、把握できていない。我々は既に放射能漏出事故現場から50km離れて一般生活が営まれている地域で45Bq/m²/dayという数値を観測しており、漏出源に近づくに従って指数関数的に汚染度が上昇する性質を考慮すれば、1000Bq/m²/day以上という値はあり得ない数字ではないかもしれない。居住制限区域はこれから徐々に狭まって行き、学校が再開されてゆくことになる。その際、プール開放の是非を巡る提供者と利用者に説明する必要がある。

本論では、放射能汚染地域で新たに使用を開始するプールに関して、プールサイドで放射能移動量を観測することにより、シーズン前にプールの放射能汚染状況と、どのようなプール管理が適しているかを予測する方法を提案した。更に、放射能移動量が1000Bq/m²/dayを超える強度汚染地域であったとしても、安全な上水が供給されていて、且つ適切な頻度で沈殿物を吸引除去する除染が行われるのであれば、子ども達に水泳の授業を提供することは可能であることが判明した。

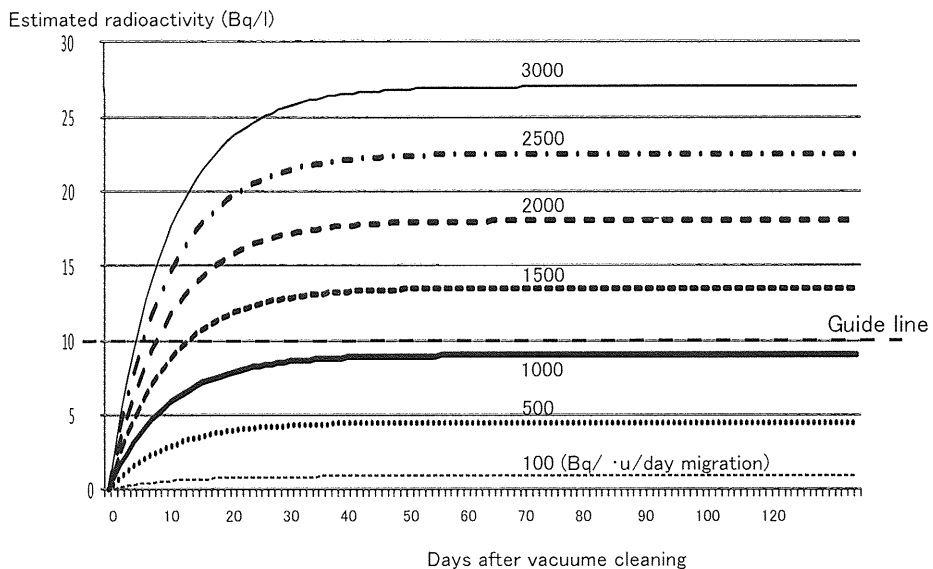


図4 放射能移動量（プールに侵入する放射能量）と使用中のプール水に拡散する濃度の予測

Higher radionuclide migration and the estimated usual school pool accumulation or contamination.

文献

- 1) Kinoshita, N., Sueki K., Sasa K., et al. Assessment of individual radionuclide distributions from the Fukushima nuclear accident covering central-east Japan. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 108 (49)19526-19529, 2001.
- 2) Kryshev, II, Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobyl accident. J. Environ. Radioactivity 27: 207-219, 1995.
- 3) Food Safety Commission of Japan (2011 October 27) Remarks from the chairperson of Food Safety Commission of Japan (FSCJ) -About the assessment of the effect of food on health of radioactive nuclides in foods-. http://www.fsc.go.jp/english/emerg/remarks_fsc_chair.pdf (2012年7月6日参照).
- 4) Sehmel, GA, 1977 Radioactive particle resuspension research experiments on the Handford reservation. Battelle Pacific Northwest Laboratories. (BNWL-2081, UC-11)<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/7216598-Dq2152/7216598.pdf> (2012年6月25日参照).
- 5) 原子力災害現地対策本部（放射線班），福島県災害対策本部（原子力班），福島県教育庁学校生活健康課（平成23年7月4日）福島県学校等屋外プールの放射線モニタリング調査結果（速報）について http://radioactivity.mext.go.jp/old/ja/1580/2011/07/1308131_0705.pdf (2012年9月1日参照).
- 6) 環境省水・大気環境局水環境課長（通知2011.6.23）水泳場の放射性物質に関する指針について. <http://www.env.go.jp/jishin/attach/no110624001.pdf> (2012年6月22日参照).
- 7) 環境省水・大気環境局水環境課長（通知）2012.6.8水浴場の放射性物質に関する指針について（改定版）<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/no120608001.pdf> (2012年6月25日参照).
- 8) 厚生労働省健康局生活衛生課（事務連絡）平成23年6月23日 福島県内における野外に設置された遊泳用プールの利用について. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001fxb8-att/2r9852000001fxgd.pdf> (2012年6月25日参照).
- 9) 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課，スポーツ・青少年局学校健康教育課，平成23年6月16日，福島県内の学校の屋外プールの利用について（事務連絡）http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/06/1307437.htm (2012年6月25日参照).
- 10) 文部科学省スポーツ・青少年局学校健康教育課，平成24年4月10日，福島県内の学校の屋外プールの利用について（事務連絡）http://www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/syousai/1319722.htm (2012年6月22日参照).