

原 著

放射能泉の保健物理学的考察

富山医科薬科大学医学部放射線医学教室

柿下 正雄, 羽田 陸朗, 熊谷 道朝

(昭和55年10月4日受理)

Health physical consideration on radioactive hot springs

Masao Kakishita, Mutsuo Hada & Michitomo Kumagai

Department of Radiology, Toyama Medical and Pharmaceutical University

Abstract

Radiation doses from ^{226}Ra and ^{222}Rn in Masutomi, Misasa and Okuhida hot springs were estimated and its health physical consideration was described.

External radiation doses were too small during taking a bath and they were negligible under the ICRP recommendation.

Internal radiation doses due to taking hot spring water were assessed. Even though a bather took a glass of hot spring water (180ml) every day in Masutomi or Misasa, internal radiation doses were only $2.8 \sim 6.7 \times 10^{-1}$ mrem. If one percent of ^{226}Ra deposited on the skeleton, it was far from the maximum permissible body burden.

Radiation doses to the lung were calculated from air concentrations of ^{222}Rn in the bath rooms. Radiation dose to the bronchus in Shinhodaka hot spring was found to be 31.3mrem/year, which was less than the permissible dose of 1.5rem/year. However, if air concentrations of ^{222}Rn in the bath rooms of Misasa and Masutomi hot springs were estimated from the data of Shinhodaka hot spring, radiation doses were 2.1~34.1rem/year, which were beyond the permissible dose. Therefore, accurate measurements of air concentrations of ^{222}Rn in the bath rooms of these hot springs should be performed.

1. はじめに

ラジウム、またはウランウミ鉱山従業員の放射能による障害については古くから知られているが、近年におけるX線や放射性物質、特に人工放射性同位元素の医、薬、理、工学領域における大量利用は、原子力発電に関する地域住民の反応に見られるように一般に大きな関心を集めていることは事実である。

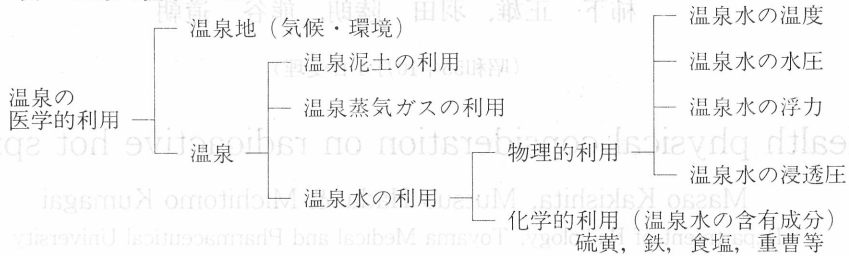
放射線に対する健康管理については放射線業務従事者、被検者及び一般住民を含めて、戦後は国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告に基づく詳細で具体的な規制が先進各国においてとられており、この問題を取扱う保健物理学という領域が注目されるようになり、大学における講座設置も見られるに至った。特に自然放射能を基準とした催奇性あるいは遺伝有意線量を目標とした低レベル放射能の影響については、未解決のものが多く今後の研究によらねばならない。放射能泉

に関する保健物理学についても未だ継続的研究を見ない。

温泉医学の分野では、リハビリテーションに温泉を利用することが盛んとなり、各地にその施設が作られ温泉の医学的な利用も見直されるようになって来た。

温泉水の医学的利用を大別すると表1のように温泉水の物理的作用を利用する方法と温泉水に含まれる成分の化学的作用を利用する二つの方法に分けられる。放射能泉においてもこの両作用を期待するものであるが、放射能泉である以上放射線による人体への影響を無視するわけにはいかない。今回この問題につき二三の見解を述べたい。

表1 温泉の医学的利用



2. 放射能泉の身体への影響

放射能泉による身体への被曝は、外部被曝と内部被曝とに別けられる。外部被曝は入浴、蒸気浴等であり、内部被曝には飲泉、吸入等によるものである。

(a) 入浴による身体への影響

放射能泉である三朝及び増富温泉の ^{222}Rn 、 ^{226}Ra の定量値²⁾及び1日30分入浴すると仮定し、身体の標準面積を 1.5m^2 としての年間皮膚吸収線量の計算を行い、その結果は表2の如くである。

表2 温泉中の ^{222}Rn 、 ^{226}Ra の定量値：並びに年間皮膚線量

		$^{222}\text{Rn} \times 10^{-12}(\text{Ci}/\ell)$	$^{226}\text{Ra} \times 10^{-12}(\text{Ci}/\ell)$	30分入浴による ^{222}Rn 年間皮膚線量 (rem)	30分入浴による ^{226}Ra の照射線量率 (R/h)
増富	津金楼下道	27200 ± 10	8.18 ± 0.56	68.75	6.7×10^{-9}
	不老閣2	16000 ± 30	4.44 ± 0.50	40.32	3.7×10^{-9}
三朝	大橋中の湯	1623 ± 19	8.02 ± 0.04	3.96	6.6×10^{-9}
	山田区共同湯	14718 ± 69	3.45 ± 0.36	37.08	2.8×10^{-9}
	西藤館飲泉	13755 ± 63	5.42 ± 0.50	34.74	4.5×10^{-9}
奥飛驒	新穂高(笠山荘)	13400 ± 1.8	—	0.648	—
	蒲田(今田館)	400 ± 0.5	—	0.001	—
	平湯(水石)	1600 ± 0.8	—	0.0396	—
	一重ヶ根(飛越山荘)	3.0 ± 0.5	—	0.00756	—

放射能泉においては、 α 線、 β 線、 γ 線が含まれるがその主体は α 線である。表3に、 ^{226}Ra 及び ^{222}Rn により放出される α 線の性質を示した。

表3 ²²⁶Ra及び²²²Rnのα線の性質

	α線のエネルギーと放出の割合	空中飛程	水中又は、組織中飛程
²²⁶ Ra	4.589 Mev(5.7%)	31.2mm	0.0624mm
	4.777 Mev(0.43%)	33.2mm	0.0664mm
²²² Rn	5.49 Mev(100%)	40.9mm	0.0818mm

²²²Rnのα線のエネルギーの放出の割合は²²⁶Raより非常に多く、ほとんど²²⁶Raよりのα線の影響はないと考えられるので²²²Rnのみで計算を行った。

身体への吸収線量をもとめると、年間約4~69remとなり、この値は放射線防護委員会勧告の一般人の年間皮膚許容線量3remの約1.3倍~23倍である。

奥飛騨温泉郷における浴槽水の²²²Rnの濃度及び30分入浴における年間皮膚線量を計算し表2に示した。

三朝及び増富の放射能泉における年間皮膚線量と新穂高温泉の年間皮膚線量を比較すると約50倍~10,000倍の差があったが、α線の最大飛程が水中0.08mmであるため人体の表皮不感層においてα線の影響はほとんどないものと思われる。

²²⁶Raのγ線について三朝、増富温泉について被曝線量を計算した。

計算にあたって、温泉水1m³中に含まれる放射能を点線源として考え、10cmの距離における、照射線量率を求めると表2に示す如く2.8~6.7×10⁻⁶mR/hで、一般公衆の1年間被曝許容線量0.06mR/h以下でありほとんど人体の傷害はないものと考えられる。

以上により我が国の放射能泉への入浴による身体への影響はほとんどないものと考えられる。

(b) 飲泉による身体への影響

放射線防護委員会勧告による飲料水としての最大許容濃度は表4に示す如く1×10⁻⁷μCi/cm³である³⁾

表4 放射線防護委員会勧告

	許容水中濃度 (μCi/cm ³)	許容空气中濃度 (μCi/cm ³)
²²² Rn	—	1×10 ⁻⁸
²²⁶ Ra	1×10 ⁻⁷	1×10 ⁻¹¹

三朝及び増富の²²⁶Raの濃度は表2に示す如くであるから飲料水としては適格であるが、飲まれた²²⁶RaはCaと似た挙動を取り骨に沈着するので骨髄に対する被曝を考えておかねばならない。骨髄の最大許容被曝線量は1週間に0.56remであり、摂取された量の約1%が骨に沈着するとの報告がある²⁾

三朝及び増富の放射能泉を1日コップ1杯(約180cc)飲むと仮定して1週間の内部被曝線量を計算し表5に示した。

表5 コップ1杯(180cc)を毎日飲泉した場合の²²⁶Raによる内部被曝量(全身被曝量)

	増 富		三 朝		
	津金楼下道	不老閣(2)	大橋中の湯	山田区共同湯	西藤館飲泉
内部被曝量(mrem/w)	6.7×10 ⁻¹	3.6×10 ⁻¹	6.5×10 ⁻¹	2.8×10 ⁻¹	4.4×10 ⁻¹

増富及び三朝の放射能泉の飲泉による内部被曝線量は ^{226}Ra の体内導入による骨髄最大許容身体負荷量 0.56rem/w よりもはるかに小さい値であった。

(c) 吸入による身体への影響

^{222}Rn と ^{226}Ra の空気中の最大許容濃度は表 4 に示す如くであり、世界各地の地表における ^{222}Rn の平均濃度は表 6 に示す如くである⁴⁾

表 6 地表付近の空気中の ^{222}Rn 及び ^{226}Rn 濃度 (pCi/l)

国	^{222}Rn	^{226}Rn
オーストリア	0.1~0.3	
チェコスロバキア	0.03	0.002
フランス	0.2	0.006
オランダ	0.15	
スウェーデン	0.1	
英国	0.3	
米国	0.25~3 (最高のスモッグの場合)	0.004
ソ連	0.005~0.5	0.05

表 7 奥飛騨温泉郷の浴室及び泉源付近の空気中の ^{222}Rn の濃度⁷⁾

	浴室の空気 $\times 10^{-8} (\mu\text{Ci}/\text{cm}^3)$	泉源付近の空気 $\times 10^{-8} (\mu\text{Ci}/\text{cm}^3)$
新穂高温泉	0.53 ± 0.10	ND
蒲田温泉	ND	6.41 ± 0.18
平湯温泉	ND	ND
一重ヶ根温泉	ND	4.05 ± 0.14

ND: 検出できず

奥飛騨温泉の浴室の空気中の ^{222}Rn の濃度は表 7 の如くで、世界各国地表値の約 50 倍であった。この浴室に 1 日 30 分いるものとして年間吸収線量を Desrosiers の式で気管支上皮より $30\mu\text{m}$ のところで、計算を行い、一方、気管支全体にあてる年間吸収線量を Haque の式により求めた。表 8 に Desrosiers⁵⁾ 及び Haque⁶⁾ の式を示す。

表 8

Desrosiers の式 $\frac{0.79 \text{ rad/yr}}{0.375 \text{ pCi/l}} \times \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = 0.8 \frac{\text{rad/yr}}{\text{pCi/l}}$
Haque の式 $D = \frac{C \cdot t \cdot R}{168(\text{MPC})a}$
D: 気管支に吸収された線量 (mrem) C: 空気中の ^{222}Rn の含有量 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$) (MPC) a: 最大許容濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$) t: 1 週間での吸入時間 (hr) R: 器管の年間最大許容量 (rem/yr)

新穂高温泉の浴室における ^{222}Rn の濃度より計算した気管支上皮より $30\mu\text{m}$ 及び気管支全体の吸収量を計算し表 9 に示した。

表9 ^{222}Rn による呼吸器官系の年間被曝線量⁷⁾

	^{222}Rn 濃度 $\times 10^{-8}$ ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)	A.E. Desrosiers の 式より算出した気管 支上皮より $30\mu\text{m}$ の 吸収線量 (mred/yr)	NPC 気管支全体の線量当 量 (mrem/yr)
通常の大気中	0.01	80	150
新穂高温泉の 浴室内の空気	0.53	166	313

(毎日30分浴室内で呼吸しその他は通常の大気中で呼吸するとして被曝線量を計算した。)

通常の大気中の ^{222}Rn の濃度を 10^{-1} pCi/ℓ とするならば新穂高温泉の浴室に30分いるだけで気管上皮より $30\mu\text{m}$ で約2倍吸収線量であり、気管支全体でも約2倍の吸収線量となる。

温泉水の ^{222}Rn の濃度は、温泉の状態により異ってくる。奥飛騨温泉の調査では自噴及びポンプにより温泉水を地下より得ている地点では温泉中の ^{222}Rn の濃度も高く、浴室及び泉源附近の空気中の ^{222}Rn の濃度も高く、蒸気をバルブさせている温泉では低かった。空気中の ^{222}Rn の濃度は空気の状態、即ち、気温、湿度、気圧、風量等により変化を受け、また1日においても夜明け前に最高の濃度となり、日中の午後最低となる。その変化の幅は1桁以内である。季節によっても夏期に低く、冬期に高いと報告されている¹⁾。

肺の被曝を考える場合、呼吸により ^{222}Rn が吸収され気管支に付着することにより起るが、呼吸が鼻呼吸か口呼吸かによっても肺への移行が異なり、鼻呼吸の場合は鼻粘膜に ^{222}Rn が付着するため、口呼吸より ^{222}Rn の気管支に達する量が少くなる。また、 ^{222}Rn は空気中においてエアロゾルに付着するため、エアロゾル粒子の大きさによっても気管に付着する部位が異ってくる。エアロゾルに付着しない ^{222}Rn は鼻呼吸により大部分が鼻粘膜に付着して除かれるが、エアロゾルに付着したものは約10%が肺に付着すると云われている¹⁾。

我々が調査した新穂高温泉においては年間被曝線量は浴室に30分いるだけで通常の大気中の約2倍にあたる ^{222}Rn を吸入することになり、放射線防護委員会勧告の年間最大許容線量1.5remに達しない。一方新穂高温泉の温泉水と浴室内の空気中の ^{222}Rn の割合は温泉水の濃度の約4%に当るので、これより三朝及び増富温泉の浴室内の空気中の ^{222}Rn の濃度を推定し、30分入浴による上皮より $30\mu\text{m}$ の吸収線量と気管支全体の線量当量の計算を行うと表10の如き結果が推定された。この値は年間許容線量1.5remより非常に大きい値であるが推定値であるため今後の正確な測定が望まれる。

表10 放射能界による ^{222}Rn の呼吸器管系の年間被曝量 (推定値)

		A.E. Desrosiers の 式より算出した気管 支上皮より $30\mu\text{m}$ の 吸収線量 (red/yr)	NPC 気管支全体の線量当 量 (rem/yr)
増富	津金楼下道	18.2	34.1
	不老閣 (2)	10.7	20.1
三朝	大橋中の湯	1.2	2.1
	山田区共同湯	9.9	18.5
	西藤館飲泉	9.2	17.3

3. ま と め

増富, 三朝温泉及び奥飛驒温泉の ²²⁶Ra 及び ²²²Rn の測定値より人体におよぼす影響につき検討を行った.

入浴においては被曝量は放射線防護委員会の勧告よりもはるかに大きい, α線であるためその最大飛程を考えればほとんど傷害はないと考えられる. 又γ線については放射線防護委員会の勧告よりもはるかに小さいので問題はないものと思われる.

飲泉による内部被曝について考察を行うと増富, 三朝温泉の温泉水を毎日コップ1杯(180cc)飲んでも1週間で2.8~6.7×10⁻¹mremであり, これが1%骨に沈着するとしても骨の最大許容身体負荷量には達しない.

浴室内の空気中の ²²²Rn の測定値より肺の年間被曝線量の算出を行った. 新穂高温泉では気管支全体の線量当量は313mrem/yrで許容線量1.5rem/yr以下であるが, 放射能泉である三朝, 増富温泉の浴室内の空気中の ²²²Rn を新穂高温泉の測定値より推定し肺の年間被曝線量を算出すると2.1~34.1rem/yrと高い値が得られたので放射能泉における浴室内の空気中の ²²²Rn の正確な測定が望まれる.

文 献

- 1) 放射線医学総合研究所監訳: 放射線の線源と影響, アイ・エス・ユ株式会社(1978)
- 2) 堀内公子, 村上悠紀雄: 鉱泉中のラジウム, ラドン同時定量に関する研究. 2の1三朝, 勝浦, 白浜, 湯ヶ島, 網代, 増富におけるラジウム, ラドンの同時定量値について, 温泉科学, 29:68(1978)
- 3) 北島隆, 森田皓三: 放射線生物学, 通商産業研究社(1977)
- 4) 山県登: 放射線衛生, 光生館(1967)
- 5) A.E. Desrosiers: Comments on "Decay products of ²²²Rn in the living Environment", Health Physics, 34:397(1978)
- 6) A.K.M.M. Haque and A.J.L. Collinson: Radiation dose to the Respiratory System due to Radon and its Daughter Products, Health Phys, 13:431(1967)
- 7) 柿下正雄, 羽田陸朗, 横井清美, 本田昂, 天野良平, 真田茂: 奥飛驒温泉郷でのラドン測定と保健上の物理学的考察, 温泉科学, 30:57(1979)
- 8) 国際放射線防護委員会勧告, 日本アイソトープ協会(1977)

表10 放射線防護委員会の呼吸器系への吸入による年当り線量

温泉名	測定値 (dpm/l)	換算値 (rem/yr)	温泉名
増富	1.0	0.2	新穂高温泉
三朝	20.1	10.7	増富温泉
勝浦	2.1	1.1	湯ヶ島温泉
白浜	3.8	0.9	網代温泉
湯ヶ島	17.3	9.2	増富温泉