
総 説

放射能温泉地の医学—補遺

岡山大学

森 永 寛

Medical Aspects of Radioactive Spa-resort

Hiroshi MORINAGA

Okayama University

Abstract

- I Misasa Spa is one of the most highly radioactive hot springs in Japan, the waters of which contain mainly ^{222}Rn . The springs were discovered during 12th century. Thermal waters originate either at the surface spontaneously or are pumped from fissures developed in granitic rocks. There are 70 wells and surface springs of which 60 are used for bathing. The total rate of hot water delivery was about 2,080 l/min. The temperature ranged from 36.5 to 86.1°C, averaging 54°C. The hot water is of the dilute neutral NaCl-HCO₃ type.
- II Three million litres of thermal water with a mean radon concentration of 437 Bq/l (11.8nCi/l) are delivered daily by the 70 springs and cause a significant rise in the atmospheric radioactivity. A total of about 130×10^7 Bq (35mCi) per day of gaseous radon diffuses from the water and soil into the air of this district. Table 1 shows mean values of the concentration of radon in outdoor and indoor air at various places. Table 2 shows radon contents in the air of a room with facilities using spring waters at Misasa Branch Hospital of Okayama University.
- III The frequencies of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes are generally accepted as a suitable measure of the quantitative effects of ionizing radiation. Chromosome analysis were carried out by Prof. A. Tonomura on 14 persons who had been living in the central area of the spa for more than 10 years and 5 therapists for hydrotherapy of Misasa Branch Hospital of Okayama University who had been there for more than 5 years. Twenty persons resident in the peripheral area of the spa were investigated to serve as a control group. The number of chromosomes and aberrations were scored in about 1,000 cells for each person. The frequency of dicentric, which is generally considered to be related to *in vivo* radiation exposure, ranged from 0 to 5 per 1,000 cells and mean values of 0.21%, 0.10% and 0.12% were found for different groups (see Table 4).
- IV Hormesis is stimulation of physiologic functions by sub-harmful doses of any agent. Radiation hormesis in animals was reviewed by Prof. T.D. Luckey in 1980. The above-stated data present the stimulatory effect of radioactive environments on the blood cells of residents. The concept of radiation hormesis is useful to explain the efficacy of the radioactive environments of Misasa with their low-dose- α -activity.

I 三朝温泉地の位置

鳥取県三朝温泉は1164(長寛2)年、源義朝の臣・大久保左馬之祐によって発見せられたと伝えられ¹⁾、すでに800年以上の歴史を有する。鳥取県のはぼ中央部、中国山地の北麓に位置し、山陰本線倉吉駅から南東方向10kmの地点にあって三徳川の溪流沿いに湧出する温泉地である。

三徳川は西に流れて竹田川と合流し、下流は天神川となって日本海に注いでいる。

三朝温泉は三徳川によって三朝群と山田群のそれぞれ南と北の2つの温泉群にわかれており、何れもNaCl・HCO₃—泉に属する泉質で、一部には硫黄泉や単純泉の性格を有するものもあり、およそ70有余の源泉からなっている²⁾。海拔50~60mの山合いの平地で、東は900mの三徳山をはじめ700m前後の山々が並び、北は300m程度の山地、南は中国山地につながり、三方を山で囲まれているため強風をはばまれている³⁾。

三徳川河床は花崗岩が多く、また安山岩を混えた砂礫からなり、基盤は花崗岩で、岩石は黒雲母花崗岩が多く粗であるが、東部地域ではやや斑状をなしている。

1955(昭和30)年に発見せられた人形峠鉱山は三朝温泉地の南側に相隣しており、三朝温泉水中に含有されている放射性成分の起源とウラン鉱床とは関連が深い⁴⁾。

II 三朝温泉の特徴⁵⁾

1914(大正3)年、石津によって三朝温泉の1源泉(現岡山大学分室泉)水中に142.14M.E.(1943Bq/l)*のラドンの存在することが知られて以来、本邦最強の放射能温泉として、主にリウマチ性疾患や消化器病患者の療養に応用せられてきた。1939(昭和14)年、当時の岡山医科大学はこの地に温泉療養所を設立し、ついで1943(昭和18)年放射能泉研究所に改組、新制岡山大学発足(1949, 昭和24年)とともに大学附置の研究所となった。大島良雄先生とその門下によってわが国の放射能泉の医学研究が開始せられたのであった⁶⁾。

III

三朝温泉地ならびにその周辺地域岩石や、温泉水とその沈澱物、さらに温泉地域内の地下水・地表水中の放射性物質含有量に関しては大島・御船・古野らの報告に詳しい⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

IV

三朝温泉地の60源泉水中の²²²Rn含有量は、古野⁸⁾によると $1.4\sim 686.9\times 10^{-10}$ Ci/l ($5.2\sim 2544.3$ Bq/l)で、 182×10^{-10} Ci/l (50M.E., 673Bq/l)以上の源泉数は15源泉で、三徳川左岸(南)の岡山大分室付近と三徳川右岸(北)の山田区共同湯付近に遍在している。60源泉水中の平均²²²Rn含有量は 117.2×10^{-10} Ci/lとなっている。

* 1 M.E. = 3.64×10^{-10} Ci/l = 13.7Bq/l

V 三朝温泉地空気中の ^{222}Rn 含有量⁹⁾ (表 1)

三朝温泉水の総湧出量は 3.02×10^6 l/日と推定せられているから、上述古野の報告⁸⁾からは1日に35.4mCiの、また大島・御船の報告⁷⁾では1日に49.3mCiの温泉水由来のラドンが地上に拡散されていることになる。

古野は振動容量型電流計を用いて三朝温泉地外気中の ^{222}Rn 含有量を測定し、0.2~1.7pCi/l、平均 0.7 ± 0.4 pCi/l (25.9 ± 14.8 mBq/l)の成績を得、放射能泉の存在しない対照の倉吉市街地外気中の 0.3 ± 0.2 pCi/l (11.1 ± 7.2 mBq/l)にくらべて有意に高値であったと述べている⁹⁾。またアロカ製NaI (TL) γ 線用シンチレーションサーベーターTCS-121型により測定した三朝温泉地の100KeV以上の総 γ 線量は7.0~17.0 $\mu\text{R}/\text{h}$ 。平均 11.8 ± 2.3 $\mu\text{R}/\text{h}$ 。で、倉吉市街地の 8.6 ± 1.2 $\mu\text{R}/\text{h}$ よりも高かった¹⁰⁾。外村らは宇宙線・大地・大気の影響を含む場合の三朝温泉地の放射線測定値 14.2 ± 2.3 $\mu\text{R}/\text{h}$ 、非温泉地 13.5 ± 1.8 $\mu\text{R}/\text{h}$ 。をあげている¹¹⁾。

外気中の ^{222}Rn 含有量は気象の影響を受けるものの如くで¹²⁾、快晴日、及び降雨の翌日には低値を、晴れおよび曇りの日にはやや高値を示す傾向があり、雨量とは負の相関が、気温とは正の相関がみとめられた⁹⁾。

温泉湧出地域内にある家屋内空気中の ^{222}Rn 含有量は $0.5 \sim 3.5$ pCi/l ($18.5 \sim 129.5$ mBq/l)平均 0.9 ± 0.2 pCi/l (34.5 ± 6.0 mBq/l)であり、総 γ 線量は、分室浴室 17.9 ± 1.2 $\mu\text{R}/\text{h}$ 、大橋旅館浴室 22.0 ± 3.0 $\mu\text{R}/\text{h}$ 、郡是浴室 30.1 ± 9.0 $\mu\text{R}/\text{h}$ 。などであった¹⁰⁾。

温泉水を利用する治療室内空気中の ^{222}Rn 含有量は表2の如くであったが、その中央部に毎分3~4 lの温泉水(Rn量： 58.0×10^{-10} Ci/l)が流出するようになっている容積 290m^3 ($12 \times 9 \times 2.7\text{m}$)の飲泉ホール内での空気中 ^{222}Rn 濃度は流出開始後12時間まではほぼ直線的に、以後はゆっくりと増加し、48時間でplateauに達し、 $47.0\text{pCi}/\text{l}$ ($=1.75\text{Bq}/\text{l}$)となった(図1)。この室内に30分以上滞在するときには呼気中に排出されるRn濃度は室内空気中ラドン濃度の85%に達することもわかった(図2)。

Table 1 Mean air activities in the area of Misasa Spa.

	^{222}Rn mBq · litre ⁻¹	Dose rate $\mu\text{R} \cdot \text{h}^{-1}$
Open air (Misasa Spa)	25.9 ± 14.8 (7.4-62.9)*	11.8 ± 2.3 (7.0-17.0)+
Room air (hotels and private houses)	34.5 ± 6.0 (18.5-129.5)**	14.0 ± 1.8 (11.0-17.0)++
Open air (area without hot springs)	11.1 ± 7.4 (3.7-22.2)***	8.6 ± 1.2 (6.5-12.0)+++

* 11 samples ** 19 samples *** 9 samples

+ 40 samples ++ 11 samples +++ 42 samples

Table 2 Radioactivity of the air in a room with facilities using radioactive hot spring waters (Misasa Branch Hospital of Okayama Univ.).

	Radon (mBq · l ⁻¹)	γ radiation (μR · h ⁻¹)
Bathroom	807 ± 78	13.0 ± 1.0
Exercise pool	274 ± 30	
Hubbard-tank bathroom*	5306 ± 2568	
Drinking hall	1491 ± 178	11.8 ± 0.7
Thermal grotto	2653 ± 988	18.2 ± 1.7

* A tank in which a patient may be immersed the purpose of permitting him to take under-water exercise.

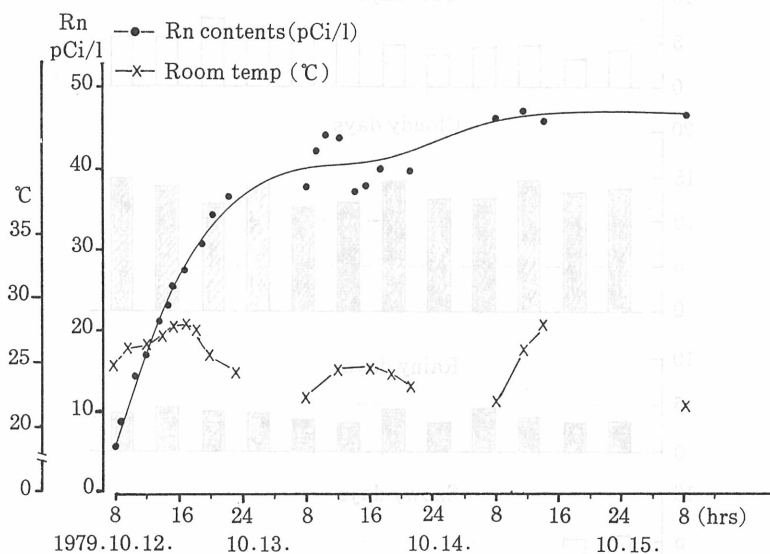


Fig. 1 Changes in ²²²Rn contents in the air of the drinking hall at Misasa Spa, Okayama University.

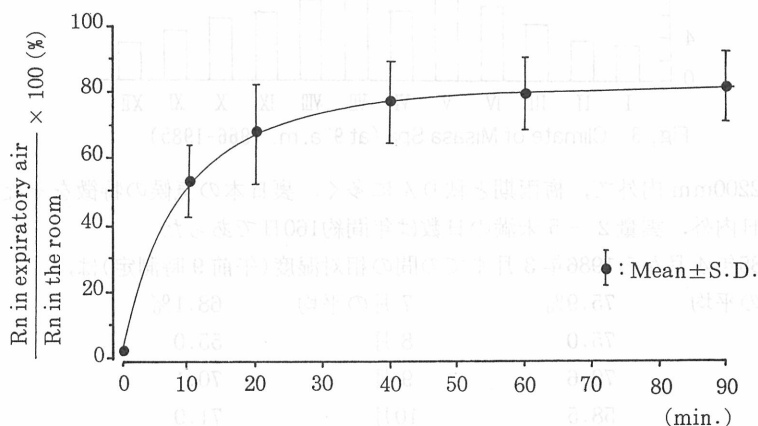


Fig. 2 Changes in ratio of ²²²Rn in the expiratory air to ²²²Rn in the air of the drinking hall at Misasa Branch Hospital, Okayama Univ.

VI 三朝温泉地の気候

1966(昭和41)年1月から1985(昭和60)年12月までの20年間の三朝温泉地の気候は次の如くであった(図3).

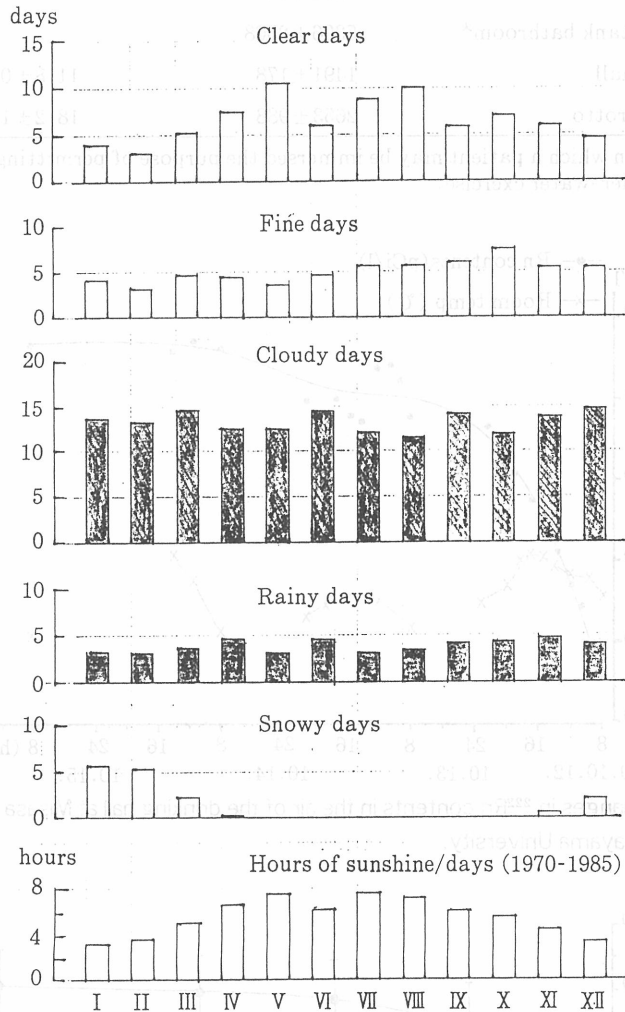


Fig. 3 Climate of Misasa Spa (at 9° a.m. 1966-1985)

1. 降雨量は年間2200mm内外で、梅雨期と秋りに多く、裏日本の気候の特徴をそなえている。雨天日は年間50日内外、曇量2-5未満の日数は年間約160日であった。

2. 相対湿度：1985年4月から1986年3月までの間の相対湿度(午前9時測定)は、

1月の平均	75.9%	7月の平均	68.1%
2月	75.0	8月	55.0
3月	70.6	9月	70.1
4月	58.5	10月	71.9
5月	57.4	11月	69.8
6月	71.9	12月	76.9

であった。

3. 風向は概して南西・西方向が多く、風速階級は2-3の場合が多かった。
4. 日照時間の平均は、冬期間3.5時間/日、夏期間7時間/日であった。

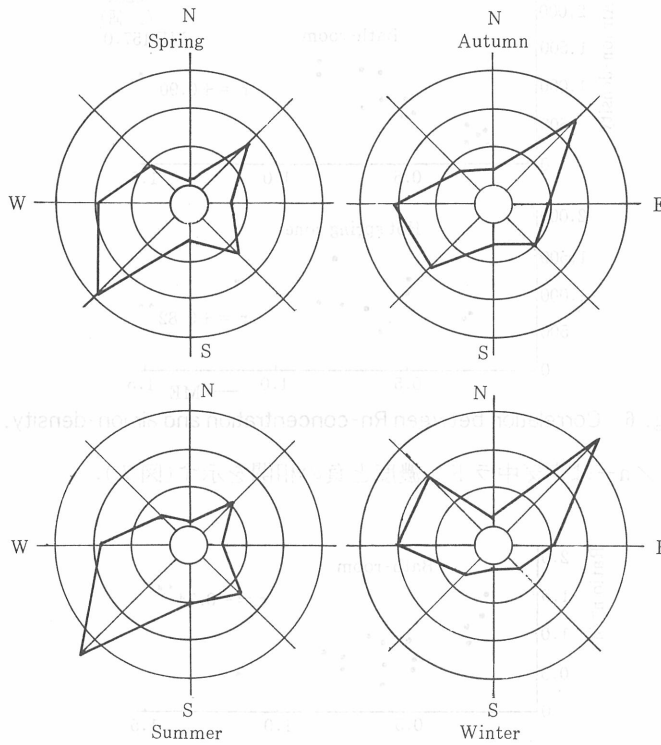


Fig. 4 Seasonal wind directions at 9° a. m. (Misasa Spa, 1966-1985)

安部教授によると日本の温泉地の空気イオン分布は次の如くであるという¹³⁾。

1. 風向が北・西に偏する時には空気イオン比は低くなる。すなわち陰イオンが相対的に増加する。
2. 温泉地の空気イオン密度は雨天さらに曇天の場合には晴天の場合に比して増加する(図5)。

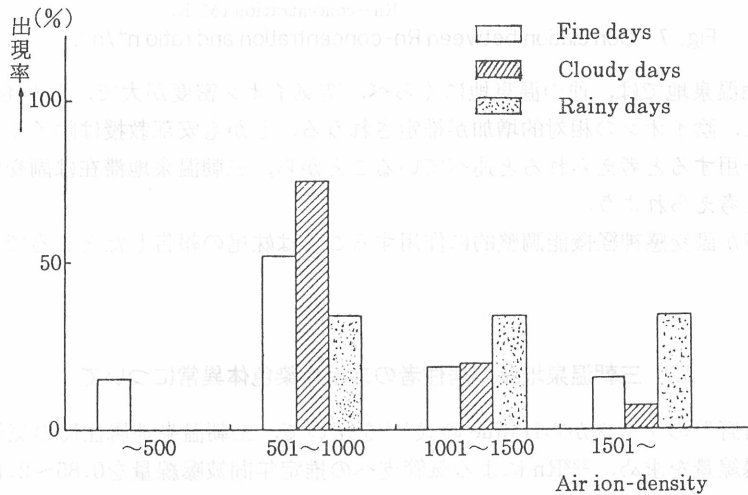


Fig. 5 The weather of spa resorts in Japan and air ion-density.

3. 空気中のラドン濃度と空気イオン密度とは正の相関を示す(図6).

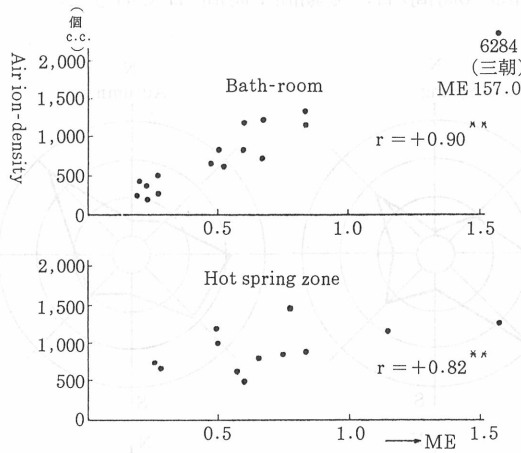


Fig. 6 Correlation between Rn-concentration and air ion-density.

4. 空気イオン比 n^+/n^- は空気中ラドン濃度と負の相関を示す(図7).

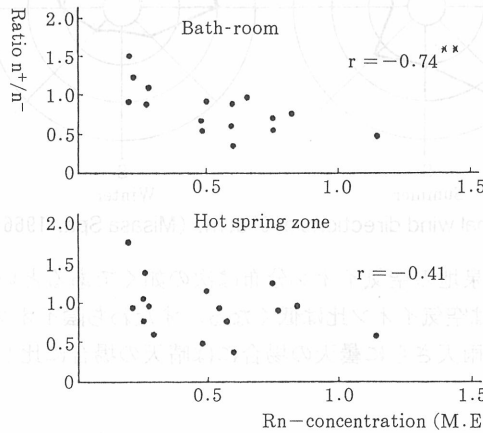


Fig. 7 Correlation between Rn-concentration and ratio n^+/n^- .

従って、三朝温泉地では、他の温泉地にくらべ、空気イオン密度が大で、しかも n^+/n^- は小さいと考えられ、陰イオンの相対的増加が推定される。しかも安部教授は陰イオンは副交感神経系緊張的に作用すると考えられると述べていることから、三朝温泉地滞在は副交感神経緊張的に作用しうると考えられよう。

三朝温泉入浴が副交感神経機能調整的に作用することは妹尾の報告したところでもある¹⁴⁾。

Ⅶ 三朝温泉地長期居住者の末梢血染色体異常について

御船は上述古野⁹⁾のデータからHaqueの式¹⁵⁾を用いて、三朝温泉地住民の気管支に与えられる吸収被曝線量を求め、²²²Rnによる気管支への推定年間被曝線量を0.85~2.15レム/年とした。岡大分院医療従事者とくに水治療を行う理学療法士のそれは1.8レム/年となった⁵⁾。

Table 3 気管支への年間被曝線量を計算するHaque の式

$$D = \frac{C \cdot t \cdot R}{168 (\text{MCP})_a}$$

D : 気管支の被曝線量 [mrem]

C : 空気中の ^{222}Rn の含有量
($^{222}\text{Rn} \cdot 10^{-14} \text{ Ci/cm}^3$)

(MCP)_a : 空気中に存在する放射性物質の最大許容濃度
($^{222}\text{Rn} \cdot 10^{-14} \text{ Ci/cm}^3$)

t : 1 週間の呼吸時間 [h]

R : 気管支における年間最大許容被曝線量
(15rem/y)

外村らは著者らとの協力により、三朝温泉地に長年月居住している健康成人の末梢血リンパ球の染色体を検索した¹¹⁾。

1. 対象：20歳から40歳の男女で、当地域内に10年以上居住している者39名。そのうちの14名は温泉湧出中心地域に、20名は温泉周辺地域に居住しており、5名は理学療法士である。

2. 結果：調査対象それぞれについて末梢血リンパ球細胞1,000個以上の染色体を観察し、総観察細胞数は39,552個であった。染色分体型異常の種類や程度による特異性は認められなかった。染色体型異常については放射線被曝により誘発されると推定されている二動原体染色体dicentric chromosomeの頻度が、温泉水湧出中心地域内に居住している者では $0.21 \pm 0.08\%$ 、温泉地周辺地域居住者では $0.12 \pm 0.06\%$ 、温泉水治療従事者では $0.10 \pm 0.11\%$ であった(表4)。調査対象が少数であること、対象者の中には医療被曝(X線胃透視など)の影響も考慮せねばならぬ者も含まれているので、放射能温泉地環境による個人の被曝線量の推定は困難であることなどから、断定的な結論は出せないとしているが、関東および関西地区の一般集団における異常頻度よりも一般に高かったと述べている。

Table 4 Frequencies of dicentrics and rings in different population groups.

Population group	No. of subjects	No. of cells observed	Dicentrics	Rings
Residents in central area	14	14,506	30 ($0.21 \pm 0.08\%$)	2 ($0.014 \pm 0.032\%$)
Residents in peripheral area	20	20,120	24 ($0.12 \pm 0.06\%$)	3 ($0.015 \pm 0.016\%$)
*Therapists for hydrotherapy	5	4,926	5 ($0.10 \pm 0.11\%$)	2 ($0.041 \pm 0.132\%$)
	39	39,552		

* They work 5-6 hours daily in the room with facilities using radioactive hot spring waters (Okayama University).

オーストリアのBadgasteinで、J.Pohl-Rülingら¹⁷⁾は($\alpha + \gamma$)が $10 \sim 30 \text{ mrad/月}$ (γ が主で α は $1 \sim 10\%$)の範囲の自然放射能をうけている住民群の異常染色体の出現率は、線量に比例して直線的に増加した(表5, 図8, 図9)が、Thermalstollenkur(坑道内温熱治療:坑道内空气中 $^{222}\text{Rn} : 22 \sim 62 \times 10^{-10} \text{ Ci/l} \div 81 \sim 230 \text{ Bq/l}$, 温度: $37 \sim 41.5^\circ\text{C}$, 湿度ほぼ 100%)¹⁶⁾で1日2

～4時間分割的に α 線をうけ約200mrad/月の線量となる群の異常染色体出現率はむしろ低下していることを見出し、 ^{222}Rn ・温熱によるヒト末梢血リンパ球のDNA修復機構が亢進したのであろうと推定し、回復不能の染色体障害を惹きおこさない量である限りにおいては、むしろ生体防衛に役立つと考えられると報告している。 α 線と β 線・ γ 線とは拮抗的に作用し、臨牀的にもレ線皮膚障害やラジウム障害としての皮膚潰瘍にラドン軟膏が応用せられてその鎮痛作用が知られている¹⁸⁾。

Table 5 Einteilung der 180 Testfälle in Gruppen nach Bestrahlungsart, Bestrahlungsdauer und Dosisbereichen. (J.Pohl-Rüling, 1979).

	Personen	Bestrahlungsart	Bestrahlungsdauer	Bereich der Blutdosis in mrad/Monat
A	Bevölkerung nicht in Kurbetrieben beschäftigt	$\alpha + \gamma$ aus Umgebung (α -intern + γ -extern)	kontinuierlich	α : 0.06 - 8.0 γ : 7 - 13
B I	Bademeister	$\alpha + \gamma$ aus Umgebung und α -intern in Arbeitszeit	kontinuierlich 4-6 Std./Tag	α : 0.17 - 1.8 γ : 7 - 12
B II	Stollenkurhaus Personal	$\alpha + \gamma$ aus Umgebung und α -intern in Arbeitszeit	kontinuierlich 8-12 Std./Tag	α : 0.6 - 70 γ : 7 - 18
C I	Ärzte und Bergarbeiter	$\alpha + \gamma$ aus Umgebung und α -intern beim Aufenthalt im Kurhaus und α -intern im Stollen	kontinuierlich 8-12 Std./Tag 2 Std./Tag	α : 8.7 - 126 γ : 9 - 19
C II	Ärzte und Bergarbeiter	$\alpha + \gamma$ aus Umgebung und α -intern beim Aufenthalt im Kurhaus und α -intern im Stollen	kontinuierlich 8-12 Std./Tag 4 Std./Tag	α : 22 - 271 γ : 13 - 29

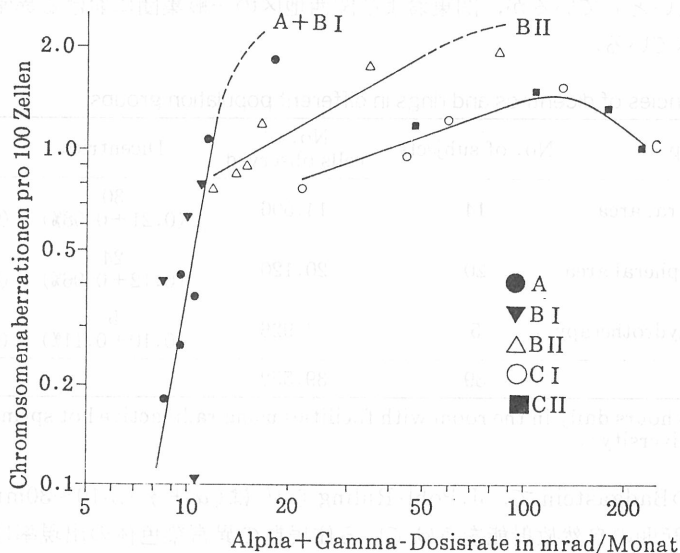


Fig. 8 Dosisabhängigkeit der Chromosomenaberrationen innerhalb der einzelnen Gruppen. (J.Pohl-Rüling 1979)

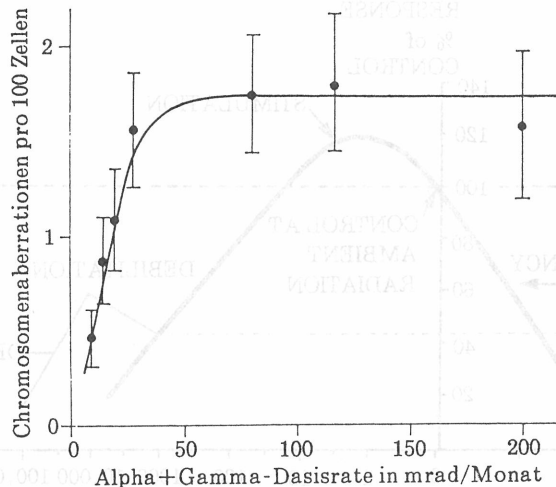


Fig. 9 Dosisabhängigkeit der Chromosomenaberrationen aus dem gesamten Datenmaterial. (J. Pohl-Rüling 1979)

VIII 放射能温泉地と電離放射線ホルミシス

「いかに少量の放射線でも、これをうけると有害な身体的影響が起こることは免れない」²³⁾、「自然放射線か人工放射線かにかかわらず、すべての放射線は危険である。放射性物質や放射線量において安全な量というものはない」²⁴⁾といわれてきた。1980年、T.D. Luckey²¹⁾は、1977年までに報告された1200篇におよぶ過去の文献を検索し、低レベルの放射線は生体にむしろ有利であるとの結論を得、「電離放射線によるホルミシス」仮説を発表した。Dorland's Medical Dictionaryによるとhormesisを「The stimulatory effect of subinhibitory concentrations of any toxic substance on any organism」と定義し、元来生体に有害である物質の微量はむしろ生体に有利に作用する現象としている。

生命に必要と考えられる環境放射能による被曝量のレベルはなお明確ではないが²⁰⁾、平均の環境放射線量(ambient radiation)よりはほんの少し多いくらいで、おおよそ0.1~10レム/年であるという¹⁹⁾(図10)。

三朝温泉地長年月居住者の環境放射能による被曝線量の算出はなお検討を要するが、Badgasteinの調査のBI、BII地域住民の被曝線量の範囲に相当するものと考えられる(表5、図8参照)。

温泉地療養は「普通の病院や薬によっては十のものが八までなおるが、あとの二が癒らぬという場合には温泉療法がよい。病気がもう一息だがどうしてもそれ以上癒らぬということがある。そういう場合には温泉治療をやらねばならぬ」²⁵⁾といわれている病状に効能がみとめられる。

微量の放射線は(ambient radiation)はそれが不足する折とは違って、生体反応の代謝位相を活性化せしめる。すなわち生体がsuboptimum conditionにあるときホルミシスの最大の効果が期待できると述べられている²¹⁾。

微量放射線量の作用機序については研究がすすめられており²²⁾²⁶⁾、三朝温泉のような放射能温泉地環境の医療効果を説明するのに役立つものと考えられる。

大島良雄先生指導の下に岡山大学温泉研究所で行われてきた一連の動物実験、臨床的・疫学的調査研究の成果は¹⁸⁾、この仮説を支持するものである。

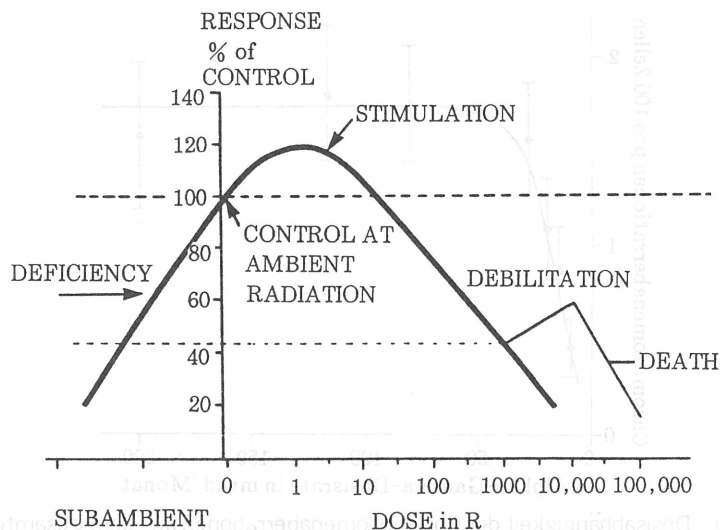


Fig. 10 Complete dose-response curve for ionizing radiation projected from the best scientific data available. The ordinate represents positive responses, such as growth rates, immune competence, cancer resistance, or average lifespan. The abscissa indicate added rads/y on

文 献

- 1) 藤浪剛一(1938), 温泉知識, 527頁, 丸善.
- 2) 大島良雄(1949), 放射能泉に関する研究(I-VIII報), 岡山大学医学部紀要 **1**, 1-22.
- 3) 杉原 健(1959), 鳥取県三朝温泉の化学的研究(2), 日本化学雑誌, **80**, 1246-1249.
- 4) 佐藤源郎(1961), ウラントリウム委員会編: ウラン—その資源と鉱物, 55頁, 朝倉書店, 東京.
- 5) 御船政明(1981), 放射能泉と三朝温泉, 温泉科学, **31**, 80-93.
- 6) Morinaga, H. (1958). Radioactive Springs in Japan. Congresso Internazionale di Idrologia e Climatologia. I. S. M. H. - F. I. T. E. C. Lacco Ameno, 1057-1067.
- 7) 大島良雄・御船政明(1954), 鳥取県下の温泉のラドン含有量について, 岡大温研報, **14**, 1-14.
- 8) 古野勝志(1982), 温泉水中のラドン量について, 日本温泉気候物理医学会誌, **45**, 37-48.
- 9) 古野勝志(1982), 放射能泉地の空気中ラドン量の測定, Rn 泉水応用後の呼気中Rn 量の測定, 日本温泉気候物理医学会誌, **45**, 49-67.
- 10) 古野勝志(1982), 山陰地方の温泉地における環境放射線量について, 日本温泉気候物理医学会誌, **46**, 63-75.
- 11) 外村 晶(1982), ヒトの末梢血染色体異常の調査研究, 原子力安全協会.
- 12) Steinhäusler, F. (1975). Long-term measurements of ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{214}Pb and ^{212}Pb concentrations in the air of private and public buildings and their dependence on meteorological parameters. Health Physics. **29**, 705-713.
- 13) 安倍三史(1961), 温泉地の気象—特に空気イオンを中心として, 日本温泉気候学会誌, **25**, 281-286.
- 14) 妹尾敏伸(1985), ラット血中代謝物質の日内変動に及ぼす温連浴の影響, 岡山大学温研報, **56**, 35-43.

- 15) Haque, A.K.M.M., Collison, A.J.L. (1967). Health Phys., **13**, 431.
- 16) 森永 寛(1974). 放射能泉の医学, 温泉科学, **25**, 45-54.
- 17) Pohl-Rüling, J., Fischer, P., Pohl, E. (1979). Chromosomenaberrationen nach Inhalation von ²²²Radon und seinen Zerfallsprodukten. Zschr. angew. Bäder- u. Klimahkd. **26**, 437-443.
- 18) 大島良雄(1959). 温泉療法(2), 現代内科学大系, 126-144頁, 中山書店
- 19) Luckey, T.D. (1985). Radiation hormesis. Medicenale XV. Iserlohn, 1-7.
- 20) Hickey, R.J. (1987). International Symposium "Biological and Therapeutical Effects of Radon" Bad Hofgastein, 9-10. Oktober.
- 21) Luckey, T.D. (1980). Hormesis with Ionizing Radiation. CRC Press, Boca Raton.
- 22) Luckey, T.D. (1982). Physiological benefits from low levels of ionizing radiation. Health physics. **43**, 771-789.
- 23) コルディコット, H. 著, 高木・阿木訳(1979). 核文明の恐怖, 岩波現代選書, 32頁.
- 24) 近藤宗平(1982), 生命を考える—遺伝子・進化・放射線—, 岩波現代選書, 192頁.
- 25) 真鍋嘉一郎(1941), 温泉の厚生の利用, 日本温泉大鑑, 528頁, 博文館.
- 26) 近藤宗平(1987), 低レベル放射線と免疫系, Isotope News, 31-32頁