

# 放射能障害の温泉療法

## 第二報 生体内 $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Y}$ の泉浴による除去

八田 秋・川上 弘泰

(九州大学温泉治療学研究所)

(昭和33年1月20日受理)

(本論文要旨は昭和32年10月、九大温研創立26週年記念講演会に於て発表した。)

### 緒 言

広島・長崎への原爆投下に始まり、1954年以来引続き行われている核爆発実験によつて出来たFission Productsのために、大気及び土壤中に $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ などが増加し、各種の作物を汚染し遂に人体からも検出されるに至つた。 $^{90}\text{Sr}$ は半減期が19.9年で骨質に沈着し、その除去法は現在各所で研究されているが、いまだ確実な方法は発見されていない。吾々は $^{65}\text{Zn}$ を使つたマウスの経皮吸収の実験中<sup>(1)</sup>、たまたま連泉浴により、一旦体内に吸収された $^{65}\text{Zn}$ が著明に減少するもののあることを見出し、泉浴による $^{90}\text{Sr}$ 除去の可能性を想定するに至つた。

そこで、海地獄(含食塩酸性泉)、明礬地蔵泉(酸性硫化水素泉)、温研泉(単純泉)、ときわ泉(含芒硝食塩泉)、紺屋鉍泥(硫黄性鉍泥)などにつき実験を試みた結果、注目すべき成績を得たのである。

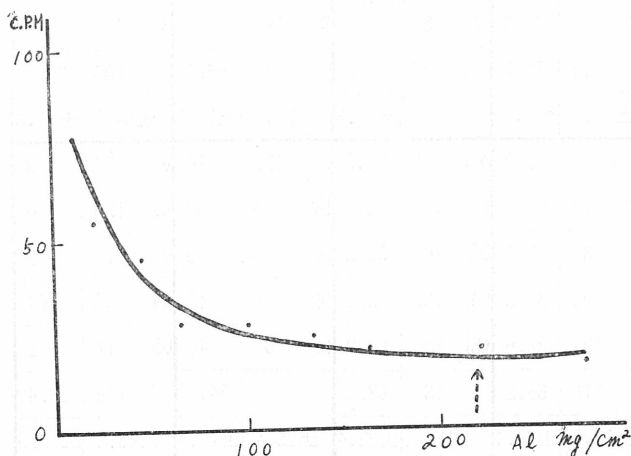
### 実験方法

平均体重20gr前後のマウスに $^{90}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Y}$ の混合液0.1ml、約480C.P.M ( $7.6 \times 10^{-6}\text{mc}$ )を腹腔内に注射し、照射群は20日間そのまま放置、海地獄群、明礬地蔵泉群、温研泉群、ときわ泉群、紺屋鉍泥群には20日間、37°C、20分間の連浴を加え、連浴前、10日目、20日目に各5匹づつ灰化し、体内に残溜した $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Y}$ を定量した。定量に当つてはマウスをクロロホルムで麻酔死させ、体重の秤量後、電気爐内で700°Cで灰化する。これを5N HClで溶解し、約5分間加熱後、濾過する。更に温水で洗滌し濾液洗液を合せて全量を10.0mlとなし、その2mlをとり、赤外線ランプ下で試料が膨脹しないよう、ゆるやかに加熱乾固する。乾固した試料をTracerlab社製のガイガ針数器で定量

Fig 1

$^{90}\text{Sr}$ のAl板による吸収曲線

Absorption curve of  $^{90}\text{Sr}$  using Al plate



した。 $^{90}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Y}$ の混合液から鉄共沈法<sup>(2)</sup>により、 $^{90}\text{Sr}$ のみを分離し、Al板による吸収を測定するとFig 1に示すごとく221.6mg/cm<sup>2</sup>のAl板で完全に $^{90}\text{Sr}$ よりの $\beta$ 線は吸収されるので、このAl板で試料中の $^{90}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Y}$ を分離定量した。Fig 1のC.P.M.は自然計数約20 C.P.M.を含んだ数値である。

Tab. 1 各泉の泉種及びpH  
Analytical table of hot-spring waters.

Name	Keinds of hot-spring	pH
UMI—JIGOKU	Acid muriated spring	2.20
MYOBAN JIZO spring	Acid hydrogen sulphide spring	2.96
ONKEN spring	Simple thermals	6.20
TOKIWA spring	Alkaline saline com— mon salt spring	9.00
KONYA mud	Sulphur mud	—

実 験 績 成

Tab. 1 に実験に使用した温泉及び鉱泥の泉種とPHを示す。

Tab. 2 に各連浴による<sup>90</sup>Sr と<sup>90</sup>Y の定量値をC.P.Mで示す。各連浴群の前値は、対照群の前値と同等と見なした。計数値の誤差は通常標準誤差、すなわち危険率約32

%で示されるが<sup>3)</sup>、こゝでは更に厳しく危険率を5%として計算した。

Tab. 2 連浴による<sup>90</sup>Sr及び<sup>90</sup>Yの定量値(37°C, 20min)  
Quantitative values(C.P.M)of <sup>90</sup>Sr and <sup>90</sup>Y after serial bathing(37°C, 20min)

Day	CONTROL		UMI-JIGOKU		MYOBAN JIZO spring		ONKEN spring		TOKIWA spring		KONYA mud		
	N/O	<sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y	N/O	<sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y	N/O	<sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y	N/O	<sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y	N/O	<sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y	N/O	<sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y	
Bef	1	465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	1 465 128	
	2	355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	2 355 158	
	3	290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	3 290 163	
	4	313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	4 313 115	
	5	310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	5 310 100	
		347 133		347 133		347 133		347 133		347 133		347 133	
		±86.6 ±33.5		±86.6 ±33.5		±86.6 ±33.5		±86.8 ±33.5		±86.6 ±33.5		±86.6 ±33.5	
10	6	246 61.5	11 89.5 108	16 140 78.0	21 207 121	26 128 76	31 182 96						
	7	106 66.5	12 84.5 58.0	17 176 71.5	22 276 81.5	27 170 49	32 205 60						
	8	142 61.0	13 125 68.0	18 220 78.0	23 226 91.5	28 137 51	33 228 32						
	9	201 86.5	14 144 56.6	19 82 68.0	24 160 83.0	29 195 72	34 213 91						
	10	223 85.0	15 166 107	20 213 65.0	25 251 122	30 141 76	35 116 68						
		184 72.1		122 79.5	166 72.1	224 99.8	154 64.8	189 69.4					
		±71.6 ±16.2		±43.1 ±33.2	±70.1 ±7.2	±54.5 ±24.8	±34.1 ±16.8	±54.2 ±31.8					
20	36	168 74.5	41 120 30.5	46 106 38.0	51 170 64.5	56 122 16	61 120 68						
	37	141 57.5	42 119 42.0	47 110 68.0	52 175 73.5	57 155 56	62 150 70						
	38	126 52.5	43 91 37.0	48 134 42.0	53 140 58.0	58 103 15	63 210 70						
	39	196 78.5	44 88 48.0	49 105 32.5	54 168 72.0	59 116 45	64 133 64						
	40	162 60.5	45 90 39.0	50 124 38.6	55 150 68.0	60 107 40	65 117 45						
		159 64.7		102 39.3	116 63.2	161 63.2	121 34.4	146 63.4					
		±33.0 ±13.8		±20.2 ±7.9	±18.3 ±32.4	±18.3 ±32.4	±25.4 ±22.4	±46.9 ±13.0					

Fig 2、3、4、5、6、に各連浴群と対照群の連浴による $^{90}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Y}$ の減少曲線をC.P.Mで表しこれを図示する。

Fig 2  
海地獄 連浴

Decrease curve of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  after serial bathing of UMI-JIGOKU

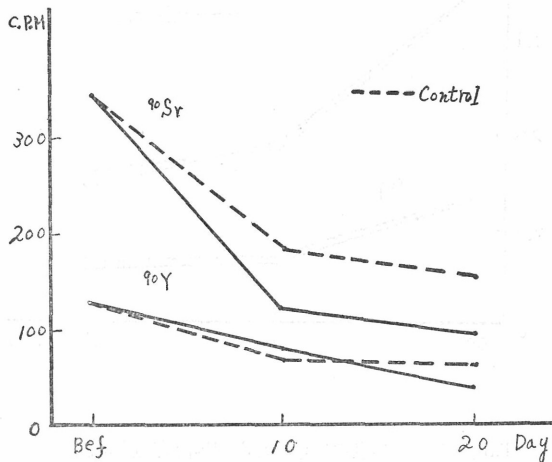


Fig 3  
明礬地藏泉 連浴

Decrease curve of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  after serial bathing of MYOBAN JIZO spring

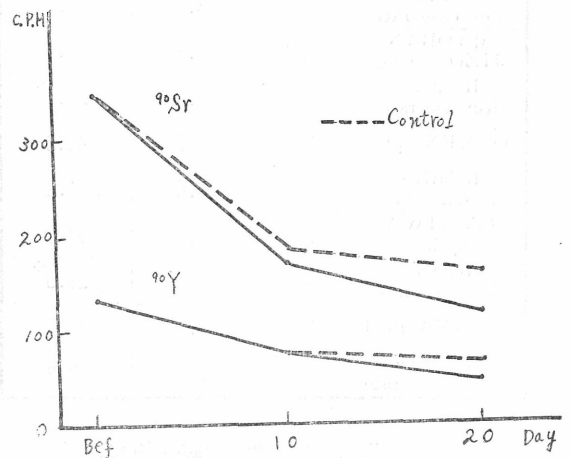


Fig 4  
温研泉 連浴

Decrease curve of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  after serial bathing of ONKEN spring

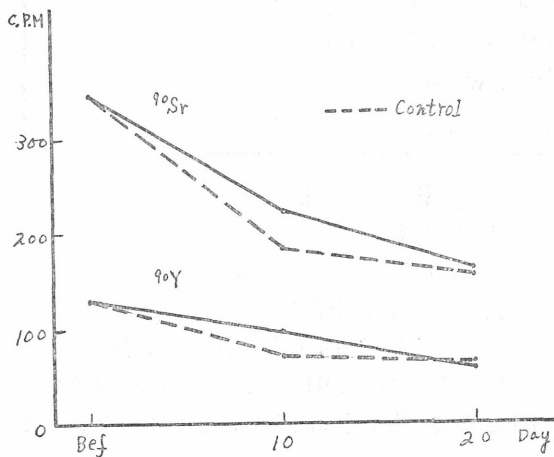
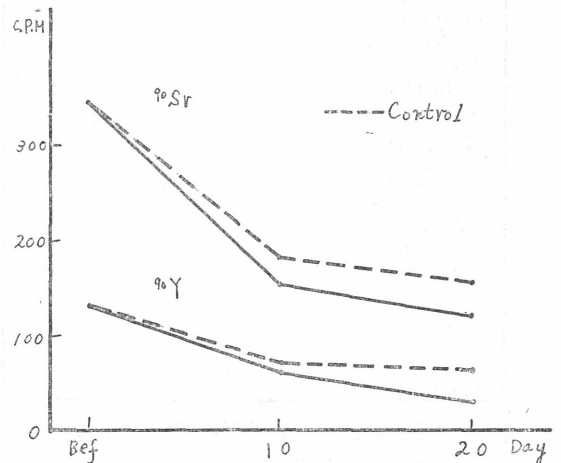


Fig 5  
ときわ泉 連浴

Decrease curve of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  after serial bathing of TOKIWA spring.



Tab. 3 及び、4 にTab. 2 より計算した $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Y}$ の減少率を示す。これは前値を100%として10日目、20日目の定量値を百分率で表し減少率は対照群の10日目、20日目に対する百分率である。

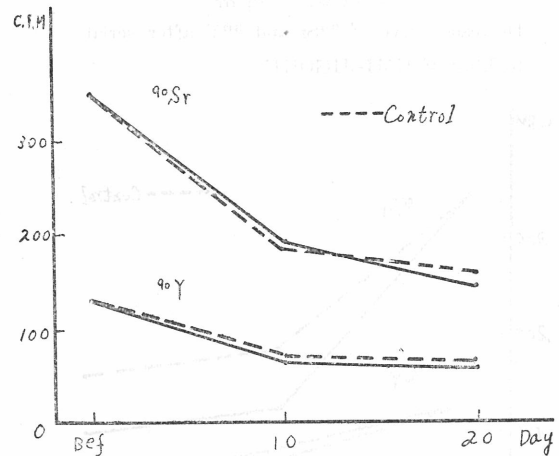
Tab. 5 に各泉のCa、Mg、Ba、Srの含有量を示す。Ca、MgはETA法、Ba、Srは分光分析法で定量した。

Tab. 3  $^{90}\text{Sr}$ の減少率(%)  
Decrease rate of  $^{90}\text{Sr}$ (%)

Day %	Bef	10	20
CONTROL	100	53.0	45.8
UMI-JIGOKU	100	35.1	29.2
Relative decrease rate		33.7 <sup>+</sup>	36.1 <sup>***</sup>
MYOBAN JIZO spring	100	47.8	33.4
Relative decrease rate		9.8	26.9 <sup>**</sup>
ONKEN spring	100	64.5	46.3
Relative decrease rate		+21.6	+1.2
TOKIWA spring	100	44.3	34.8
Relative decrease rate		16.4	23.8 <sup>**</sup>
KONYA mud	100	54.4	42.1
Relative decrease rate		+2.6	7.8

Fig. 6

紺屋 鮎 泥 連 浴

Decrease curve of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  after serial bathing of KONYA mud

Tab. 4  $^{90}\text{Y}$ の減少率(%)  
Decrease rate of  $^{90}\text{Y}$ (%)

Day %	Bef	10	20
CONTROL	100	54.2	48.6
UMI-JIGOKU	100	59.7	29.5
Relative decrease rate		+10.1	39.3 <sup>***</sup>
MYOBAN JIZO spring	100	54.2	32.9
Relative decrease rate		0	32.3 <sup>**</sup>
ONKEN spring	100	75.0	47.5
Relative decrease rate		+39.3 <sup>**</sup>	2.2
TOKIWA spring	100	48.7	25.8
Relative decrease rate		10.1	46.9 <sup>**</sup>
KONYA mud	100	52.1	47.6
Relative decrease rate		3.8	2.1

Tab. 5 各泉のCa, Mg, Sr, Ba含有量(mg/kg)  
Ca, Mg, Sr and Ba contents of each hot springs  
(mg/kg)

	Ca	Mg	Ba	Sr
UMI-JIGOKU	78.76	41.82	0.18	0.36
MYOBAN JIZO spring	12.43	8.740	0.02	0.04
ONKEN spring	27.74	6.749	0.02	0.16
TOKIWA spring	9.663	3.642	0.01	0.52
KONYA mud	929.1	1809	10.5	12.3

### 総 括

#### 1) 対照群

Tab. 3、4のごとく、 $^{90}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Y}$ との注射のみで自然放置の対照群においても、10日で $^{90}\text{Sr}$ は前値100%に対し53.0%、20日で45.7%に減少している。 $^{90}\text{Y}$ は10日で54.2%、20日で48.6%に

減少している。すなわち自然に放置した場合には10日で前値の約半分に減少し、あとは緩やかに減少することを示している。

#### 2) 海地獄連浴群

Fig 2及びTab. 3、4のごとく、対照群と比較して減少率は10日で $^{90}\text{Sr}$ は33.7% ( $\infty=0.1$ )、20日で36.1 ( $\infty=0.01$ )の有意の差を認めた。 $^{90}\text{Y}$ は10日で+10.1%、20日で39.3%の有意の差を認めた。 $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Y}$ ともに20日間で対照群よりも著しく減少している。

### 3) 明礬地蔵泉連浴群

Fig3及びTab. 3、4のごとく、対照群と比較して減少率は10日で $^{90}\text{Sr}$ は9.8%、20日で26.9%を示したが有意の差ではない。 $^{90}\text{Y}$ は10日では対照群と等しく、20日で32.3% ( $\alpha=0.05$ )の有意の差を認めた。 $^{90}\text{Sr}$ は有意の差という程ではなかつたが、かなりの減少傾向を示している。

### 4) 温研泉連浴群

Fig4及びTab. 3、4のごとく、対照群と比較して減少率は10日で $^{90}\text{Sr}$ は+21.6%、20日で+1.2%を示し、 $^{90}\text{Y}$ は10日で+38.3%、20日で2.2%を示している。このことは $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Y}$ 共に対照群よりも却つて除去され難い傾向にあることを意味している。

### 5) ときわ泉連浴群

Fig5及びTab. 3、4のごとく、対照群と比較して減少率は、 $^{90}\text{Sr}$ は10日で16.4%、20日で23.8%の有意の差を認めた。 $^{90}\text{Y}$ は10日で10.1%、20日で46.9%の有意の差を認めた。このように $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Y}$ ともに20日で有意の差が認められた。

### 6) 紺屋鉾泥連浴群

Fig6及びTab. 3、4のごとく対照群と比較して減少率は、 $^{90}\text{Sr}$ は10日で+2.6%、20日で7.8%を示し、 $^{90}\text{Y}$ は10日で3.8%、20日で2.1%を示しているがともに有意の差ではない。

以上のように対照群に較べて $^{90}\text{Sr}$ の減少率の最大は海地獄連浴群であり、ついで明礬地蔵泉連浴群、ときわ泉連浴群の順である。温研泉連浴群、紺屋鉾泥連浴群は認むべき影響がなかつた。 $^{90}\text{Y}$ の減少率の最大はときわ泉連浴群であり、次で海地獄連浴群、明礬地蔵泉連浴群の順である。温研泉連浴群、紺屋鉾泥連浴群は無影響である。

## 考 察

生体内に侵入した $^{90}\text{Sr}$ を海地獄連浴に見られる様に、注射後20日目に絶対減少率71%、対照群との相対減少率36.1%という高率の減少を来させる手段はこれまで見出し難い。その作用機序を考えて見ると、先づ細胞間液を血行中に移行させ、更に利尿促進によつて体外に排泄する機械的生物学的な排泄機序がある。利尿作用は、 $\text{Rn}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{S}$ 化合物、尿水中の含有成分によつて促されるが、一般にpHの低いものに利尿が強く<sup>(4)</sup>。他泉に比して海地獄泉浴に利尿作用があるのでこの可能性も考えられるが、やはり利尿的な紺屋鉾泥浴には $^{90}\text{Sr}$ の除去作用が見られないので、これだけとは解し難い<sup>(5)</sup>。

SH体のHgやAs等の重金属除去作用は衆知のところであるが、BAL<sup>(6,7)(8)(9)</sup>を用いた $^{90}\text{Sr}$ の除去実験は有意の成績を示していないし、その泉浴によつて血中SH体を益す泥浴や、地蔵湯<sup>(10)</sup>が特に $^{90}\text{Sr}$ の除去を促すという程ではない。次に泉浴による上皮小体賦活作用である。山科<sup>(11)</sup>の連泉浴の血漿Caと無機Pとの動きから見ると、海地獄、地蔵泉などに両者が増加しており、雲仙<sup>(12)</sup>の小地獄、古湯の場合と相通じている。我々はこれを一種の上皮小体作用と考えており、骨からCaとPとを遊離させる結果であつて、血漿Caのみを高める観海寺薬師湯や的ヶ浜<sup>(13)</sup>とは趣を異にするのである。かような上皮小体作用のあるものでは、骨に沈着した $^{90}\text{Sr}$ の遊離をも容易にするであろう。このことは清水<sup>(14)</sup>も指摘しているところである。更に又コルチコイド作用による骨よりのCa遊出も除外し得ないが、最もコルチコイド作用を高める泥浴に<sup>(15)</sup>  $^{90}\text{Sr}$ 除去作用の弱いことは、本作用の役割の大きくないことを示唆する。

小分子のNa、Kが尿に排泄されることが多いのに、大分子のCaは消化管よりの排泄が大きく、Caと化学的に似たSrやBaなども同様な経路が考えられるが、排泄の方は見てないので確信し難い。興味あることはTab. 5に示す泉水中のSr、Ca、Mg、Ba等の含有量である。これによると海地

獄ではCa、Mg、Ba等いづれも飛抜けて多く、Srもときわ泉に次いで多い。従つて泉浴によるこれ等の皮膚吸収が多くなければならない。かような経皮的吸収を $^{65}\text{Zn}$ のそれから推定すると<sup>(46)</sup>、1回泉浴の場合には浴温、浴時間、浴水pH等に比例して増すが、連浴第1日の海地獄でも、2.0のpHにかゝわらず可成り高い吸収が見られた。しかしながら連浴を重ねると共に、pH9.3の石松地獄では $^{65}\text{Zn}$ の体内蓄積が日と共に増したが、海地獄では5日以後には体内残留量が日と共に連浴にもかゝわらず却つて減少を示した。このことは経皮的吸収が減殺される許りでなく、その排泄が促されることを示しており、この事実が本実験の動機ともなつたのである。

さてかように経皮的に吸収された元素は、体内におけるそれぞれの親和性臓器に集るものであるから、先在の同元素との間に競合によつて多少とも置換が行われる。かようにしてnonactiveのSrは $^{90}\text{Sr}$ の安住を許さず、少くともその一部を追出すであろう。CaやSr注射による $^{90}\text{Sr}$ 除去実験成績<sup>(47)</sup><sup>(48)</sup>では有意の効果をおさめていないが、泉浴の綜合作用と相俟つてSrや化学的にこれに近いCa、Ba等も競合を行うものと推定される。

以上泉浴による $^{90}\text{Sr}$ 除去機序としては、泉水中のSr等の吸収による競合現象、上皮小体作用、体内水分移動と利尿作用等の綜合作用と解される。本実験では海地獄が最も勝れた成績を示したが、更にこれに勝る温泉もあるであろう。また適当な休止期をおいて連浴を繰返すことによつて更に効果を高めることも出来るであろうし、Sr等の附加、 $\text{CO}_2$ の溶解等<sup>(49)</sup>によつて、経皮吸収の増加利尿促進を計り、温泉作用の特長を殺すことなく、本目的のための温泉利用の改変を行つて、更に $^{90}\text{Sr}$ の除去を促し得ることを確信するものである。

## 結 論

マウス腹腔内に $^{90}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Y}$ との混合液(約480C.P.M)を注射し、海地獄、地蔵泉(明礬)、温研泉、ときわ泉、紺屋泥等の20日連浴による除去を試み、次の如き成績を得た。

- 1) 5 泉中 $^{90}\text{Sr}$ は海地獄で最も減少し、20日目の減少率は絶対71%、相対36.1%であつた。
- 2)  $^{90}\text{Y}$ はほぼ $^{90}\text{Sr}$ と同傾向にあるが、ときわ泉で最も減少し、20日の減少率は絶対74.2%、相対46.9%であつた。
- 3)  $^{90}\text{Sr}$ 除去の泉浴作用機序は、Sr、(恐らくはCa、Ba等)による競合現象、上皮小体作用、利尿作用等の綜合作用と解される。
- 4) 従つてSrの含有量多く、酸性の温泉が $^{90}\text{Sr}$ 除去に有効であり、適切な操作によつて更にその効果を高め得るものと思われる。

## 参 考 文 献

- 1) 16) 川上：未発表。
- 2) アイソトープ実験技術(南江堂)：236、昭和30。
- 3) 本田：分析化学2、155、1953。
- 4) 渡辺：温研紀要、4(4)、52、昭和27。
- 5) 秋谷、内山：アイソトープ研究利用総覧、465、1956。
- 6) 17) 菊池：文部省研究費研究報告集録原子爆弾災害調査216、昭和31。
- 7) W.E.Kiesielewski：Biol Med、77、694、1951。
- 8) S.H.Cohn、J.K.Gong：ibid、83、550、1953。
- 9) J. M. Vaughan, M. L. Tutt：Lancet、265、856、1953。
- 10) 崎山：温研紀要、8(3)、63、昭和31。
- 11) 13) 山科：温研紀要、7(3)、38、昭和30。
- 12) 辻：温研紀要特別号Ⅳ、21、昭和31。
- 14) 清水：日外会誌、58(6)、1957。
- 15) 松尾：温研紀要、8(3)、13、昭和31。
- 18) W.T.Gross：U.S.A atomic Energy Comm 1954。
- 19) H.Remmlinger：Zsch angew.B.K.HK. 4、3、333、1957。

The Balneotherapeutics of Radioactive Casualty  
Removal of Strontium-90 And Yttrium-90 in the  
body by Hotspring Bathing

Erof .M. D

Osamu HATTA

Hiroyasu KAWAKAMI

(The Institute of Balneotherapeutic Research, kyushu University.)

We injected into the abdominal cavity of mouse mixed solution (about 480 C.P.M) of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$ , and examined the removal of them by the serial hot spring bathing for twenty days in various hot spring waters, and so the following results were obtained.

1)  $^{90}\text{Sr}$  showed most remarkable decrease after Umijigoku bathing among four hot springs and Konya mud, so the decrease rates after twenty days were 71% absolutely and 36.1% relativity.

2) Removal of  $^{90}\text{Y}$  was in much the same tendency with that of  $^{90}\text{Sr}$ , and alkaline spring (Tokiwa) was most remarkable decrease, so the decrease rates after twenty days were 74.2% absolutely and 46.9% relativity.

3) The mechanism of these actions of hot spring bathing, are considered to be the composite actions, the competition phenomenon of Sr (perhaps of Ca and Ba etc) , according to the absorption of hot spring waters constituents through the skin, the parathyroid gland and the diuretic actions etc.

4) Accordingly, hot spring which has much contents in non active Sr on the one hand and enough acidity on the other hand, should be useful for the  $^{90}\text{Sr}$  removal, we believe that operations of hot spring waters.