

DOSE FROM HIROSHIMA MASS RADIOLOGIC GASTRIC SURVEYS

広島における胃集団検診による被曝線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏  
SHOZO SAWADA, Ph.D. 澤田昭三  
WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.



RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION  
財団法人 放射線影響研究所

A cooperative Japan - United States Research Organization  
日米共同研究機関

## ACKNOWLEDGMENT

### 謝 辞

We deeply appreciate the cooperation of the following Hiroshima institutions in our survey for the frequency of and technical factors used in mass gastric examinations: Railway Hospital, Toyo Kogyo Hospital, Daiichi Clinic, Tuberculosis Prevention Association, Atomic Bomb Health Center, Hiroshima Communication Hospital, and the Chugoku Dentsu Clinic.

We are grateful to Dr. Haruma Yoshinaga and Dr. Kenji Takeshita for their criticisms and suggestions throughout this study. We are indebted to Dr. Charles W. Mays and Dr. Shunzo Okajima for reviewing the manuscript and for their suggestions and criticisms. The technical assistance of Mr. Masayoshi Mizuno and Mr. Shoji Nishio throughout this study is greatly appreciated. The assistance of Mrs. Grace Masumoto in preparing this manuscript is deeply appreciated.

胃集団検診の頻度と撮影条件の調査を実施するに当たってご協力頂いた下記の医療機関に対して深甚の謝意を表したい：鉄道病院，東洋工業病院，広島第一検診所，結核予防会，原爆被爆者健康管理センター，広島通信病院，中国電通病院。

本調査を通してご批評，示唆を頂いた吉永春馬，竹下健児，両先生に感謝申し上げたい。Dr. Charles W. Mays および岡島俊三先生には校閲して頂いた上，ご提言・ご批評を賜り感謝の念にたえない。本調査を通して技術的援助を頂いた水野正義，西尾正二，両氏に対して深謝する。また，原稿を作成するに当たってご協力頂いた舛本幸江氏に対して心から感謝申し上げる。

A paper based on this report was accepted for publication by the following journal:

本報告に基づく論文は下記の雑誌に受理された。

*Health Physics*

## RERF TECHNICAL REPORT SERIES

### 放射線影響研究報告書集

The RERF Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, and advisory groups. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

放射線影響研究報告書は，日米専門職員，顧問，諮問機関の要求に応えるための日英両語による公式報告記録である。業績報告書は決して通例の誌上発表論文に代わるものではない。

---

*The Radiation Effects Research Foundation (formerly ABCC) was established in April 1975 as a private nonprofit Japanese Foundation, supported equally by the Government of Japan through the Ministry of Health and Welfare, and the Government of the United States through the National Academy of Sciences under contract with the Department of Energy.*

放射線影響研究所(元ABCC)は，昭和50年4月1日に公益法人として発足した。その経費は日米両政府の平等分担とし，日本は厚生省の補助金，米国はエネルギー省との契約に基づく米国学士院の補助金とをもって充てる。

## DOSE FROM HIROSHIMA MASS RADIOLOGIC GASTRIC SURVEYS

## 広島における胃集団検診による被曝線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. (安徳重敏)\*; SHOZO SAWADA, Ph.D. (澤田昭三)\*\*;  
WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.

*Department of Radiology*

放射線部

## SUMMARY

Doses to examinees from mass radiologic surveys of the stomach in Hiroshima Prefecture were estimated by surveying for the frequency of the examinations, for the technical factors used in them, and by phantom dosimetry. The average surface dose, active bone marrow dose, male gonad dose, and female gonad dose per examination were 5.73 rad, 231 mrad, 20.6 mrad, and 140 mrad, respectively. These data will be used in estimating doses from medical X-rays among atomic bomb survivors. By applying them to the Hiroshima population, the genetically-significant dose, per caput mean marrow dose, and leukemia-significant dose were 0.14 mrad, 8.6 mrad, and 7.4 mrad, respectively. There was a benefit-to-risk ratio of about 50 for mass gastric surveys performed in 1976.

## INTRODUCTION

The term "mass gastric surveys" currently refers to radiologic survey examinations of generally asymptomatic subjects upper gastrointestinal tracts with particular attention to the stomach, using fluoroscopy apparatus allowing variable positioning of the subjects, and having mirror-camera devices or image intensifier systems, with or without closed-circuit television. In the U.S., feasibility studies of this technique were recommended 30 years ago.<sup>1</sup> The method was not found reliable for screening for early carcinomas in asymptomatic patients,<sup>2</sup> useful only in selected cases, and impractical for extensive mass screening.<sup>3</sup> After trials it was

## 要 約

広島県で行われた胃集団検診の検査頻度、撮影条件の調査およびファントムによる線量測定から、被検者の被曝線量の推定を行った。一回の検査による平均表面、骨髄、男子生殖腺ならびに女子生殖腺線量はそれぞれ5.73 rad, 231 mrad, 20.6 mrad, 140 mradであった。これらの資料は原爆被爆者の医療用X線被曝線量の推定に利用されている。また、広島県民に適用すると、遺伝有意線量、一人当たりの平均骨髄線量ならびに白血病有意線量はそれぞれ0.14, 8.6ならびに7.4 mradとなった。1976年に行われた胃集団検診の危険に対する利益の比は約50であった。

## 緒 言

「胃集団検診」とは、いろいろな体位で撮影、透視ができる、ミラー・カメラ付きX線透視装置または閉回路テレビ併用あるいは併用しないイメージ・インテンシファイアー付き透視装置を使用して、自覚症状のない被検者の胃を中心とした上腹部胃腸管の放射線検査を行うことである。米国では、30年前にこの技法による試験調査が勧告された。<sup>1</sup> この方法は、特定の症例にのみ有効で、自覚症状のない被検者の癌の早期発見には不適当であり、<sup>2</sup> 大規模な集団検診には実施不可能であることが分かった。<sup>3</sup> 試験

\*Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University; Visiting Research Associate to RERF  
広島大学原爆放射能医学研究所、放影研非常勤研究員

\*\*College of Biomedical Technology, Kumamoto University; RERF Expert Advisory Panel member  
熊本大学医療技術短期大学、放影研専門委員

abandoned because of low gastric cancer yields and the great amount of time, effort, and expense involved. In Japan, however, because of the relatively high rate of gastric cancer, this technique and the examining apparatus were refined and in widespread use by the mid-1960s. There were early warnings of possible increased risks of leukemia in the populations so exposed,<sup>4</sup> but the rates of these examinations have steadily increased.<sup>5</sup>

Participants in the RERF Adult Health Study (AHS), a fixed sample of the Hiroshima and Nagasaki populations originally numbering 20,000 persons, receive biennial physical examinations to detect any abnormalities attributable to ionizing radiation from the atomic bombs.<sup>6</sup> It is important to assess the magnitude of medical X-ray exposures received by these subjects, because these exposures act concomitantly as contaminants. The present study of mass gastric surveys was one of a continuing series of medical X-ray dosimetry investigations concerning AHS subjects.

The great frequency of mass gastric surveys in Japan results in relatively high population doses. The need for reducing the doses incurred by these mass examinations is especially important because, unlike those examined by other X-ray techniques, most examinees are normal. This has particular significance for A-bomb survivors.

The frequency of and technical factors used in mass gastric surveys in Hiroshima Prefecture were investigated. Doses to the gonads, bone marrow, and skin were measured, and the benefits and risks from mass gastric surveys were estimated. The results obtained will eventually be used to assist in estimating cumulated medical X-ray exposure of AHS subjects.

## MATERIALS AND METHODS

### Examination Frequency and Technical Factors

Number of examinations and technical factors of exposures were obtained by visiting medical institutions responsible for mass gastric surveys inside Hiroshima City, and by mail surveys to the institutions outside the city. Our surveys sought the yearly examination rate by age and sex, type of X-ray apparatus, tube voltage, focal spot-skin distance, field size, exposures per examination, projection, and fluoroscopy time, the latter during positioning of the examinee.

調査の結果胃癌の発見率が低いこと、時間がかかること、それに検診に要する労力と費用等の理由から、検診計画は取りやめとなった。しかしながら日本では、胃癌の発生率が相対的に高いため、この技法と検診装置に改良が加えられ、1960年代中ごろまでには広範に普及していった。早くからこの検診を受けた人口集団に、白血病の危険率が増加する可能性があることが警告されたが、<sup>4</sup> 検診率は着実に増加している。<sup>5</sup>

放影研成人健康調査対象者、すなわち当初20,000名を数えた広島と長崎の固定人口集団は、原爆の電離放射線に起因する異常を探知するために2年に1回検診を受けている。<sup>6</sup> 医療用X線被曝は汚染源として原爆放射線被曝に付随的に作用するため、これらの対象者が被曝した医療用のX線量を評価することは重要なことである。胃の集団検診に関する本調査は、成人健康調査対象者について継続的に実施されている医療用X線線量測定調査の一つである。

日本では胃集団検診の頻度が高いため、国民線量に対する寄与は相対的に高い。他のX線検査の受診者と違って、この検診の受診者のほとんどは健康人であるので、集団検診による被曝線量を軽減することがとりわけ重要である。これは特に原爆被爆者にとって重要な意味をもつ。

広島県の胃集団検診の頻度と撮影条件の調査を行った。生殖腺、骨髄ならびに皮膚線量を測定し、胃集団検診に伴う危険と得られる利益を推定した。これらの結果は、最終的に成人健康調査対象者の累積医療用X線被曝の推定に利用される。

### 材料および方法

#### 検査頻度と撮影条件

胃集団検診を実施している広島市内の医療機関については直接訪問し、市外の場合は郵便により調査して、検査の回数と撮影条件に関する情報を入手した。これらの調査では、年齢および性別の年間検診率、X線装置の種類、管電圧、焦点皮膚間距離、照射野、1検査当たりの曝射回数、撮影方向および被検者の体位決定に要する透視時間を求めた。

## Dosimetry

**Phantom and Dosimeter.** The phantom was of Mix-D material and contained a complete human skeleton, and beeswax-impregnated cellulose for lungs. The lower portion of the thorax and upper portion of the abdomen incorporated a removable Mix-D section containing a simulated barium-filled stomach and duodenum (Figure 1).

The phantom contained 16 drawer-like receptacles for Memorial ionization chambers to simultaneously measure bone marrow and gonad doses.<sup>7-9</sup> The chambers were used with a Baldwin-Farmer type RB electrometer. A lattice describing bone marrow location facilitated calculating dose to the active bone marrow according to field size, location, and depth.<sup>10</sup> The calculation of bone marrow dose using ionization chamber readings was previously described.<sup>11</sup>

**X-ray Apparatus.** Condenser type mobile units were usually used for the mass gastric surveys. Assessment of radiation output and quality was difficult in the case of units with radiation "tail cut"\* and with those having phototimers. Doses could not be estimated using the dose data obtained with our experimental apparatus and the output and quality data from apparatus used in the community institutions. For these reasons, we studied eight apparatus representing a variety of units currently in use in the community institutions performing mass gastric surveys.

## RESULTS

### Examination Rates and Technical Factors

The examination rate increased abruptly during the last 10 years. The annual number of examinations rose from 500 in 1958 to 93,017 in 1976, as shown in Figure 2. The 16 institutions responsible for mass gastric X-ray examinations were using 22 X-ray apparatus in 1976. The examination rate was 0.035 per caput per year, approximating the 0.038 rate for all Japan reported by Hashizume et al.<sup>12</sup> Number of examinations by age and sex for the years 1974-76 are listed in Table 1. Although there was some variation by year, both sexes of the 40-49 year-old age group were most frequently examined.

The technical factors employed in the 16 institutions are shown in Table 2. There were three

## 線量測定

**ファントムと線量計.** ファントムは Mix-D 材から成り、完全な人骨をもち、肺の部分は蜜蝋浸透セルロースで作られた。胸腔下部および上腹部には、バリウムを詰めた模造の胃および十二指腸を含む取り外し可能な Mix-D 部分を組み込んだ (図 1)。

骨髓線量と生殖腺線量を同時に測定するため、ファントムには、Memorial 電離箱用の 16 個の引き出し状容器がある。<sup>7-9</sup> これらの電離箱を Baldwin-Farmer 型 RB 電流計と併用した。骨髓の位置を示す格子区画によって、照射野、位置および深さによる活性骨髓線量の測定が容易になった。<sup>10</sup> 電離箱の読みから骨髓線量を計算する方法は以前に述べた。<sup>11</sup>

**X線装置.** 胃集団検診には普通移動可能な蓄放式装置が使用されている。放射線“波尾切断”\*のある装置およびフォトタイマーの付いた装置の場合、放射線の出力と線質の評価が困難であった。放影研の実験装置から得た線量資料、および地元医療機関の装置の出力ならびに線質資料を使用して線量を推定することはできなかった。上記の理由から、胃集団検診を実施している地元医療機関が、現在使用しているいろいろな装置を代表する 8 台の装置について線量測定を行った。

## 結 果

### 検診率と撮影条件

過去 10 年間に検診率は急激に上昇した。図 2 に示すように、年間の検診回数は 1958 年に 500 回であったものが 1976 年には 93,017 回に増加した。1976 年に胃集団 X 線検査を実施している医療機関は 16 で、22 台の X 線装置が使用されていた。一人当たりの年間検査率は 0.035 で、橋詰ら<sup>12</sup> が報告している全国の検査率 0.038 とほぼ同じであった。1974-76 年間の性および年齢別による検診数を表 1 に示した。年によって若干の変化はあったが、両性とも 40-49 歳群の検診数が最も多かった。

16 の医療機関で使用されている撮影条件を表 2 に

\*A cut in the "tail" of the wave form of condenser type X-ray apparatus, caused by rapid falloff of voltage.

電圧の急激な降下によって引き起こされる蓄放式 X 線装置の波形の「尾」部の切断

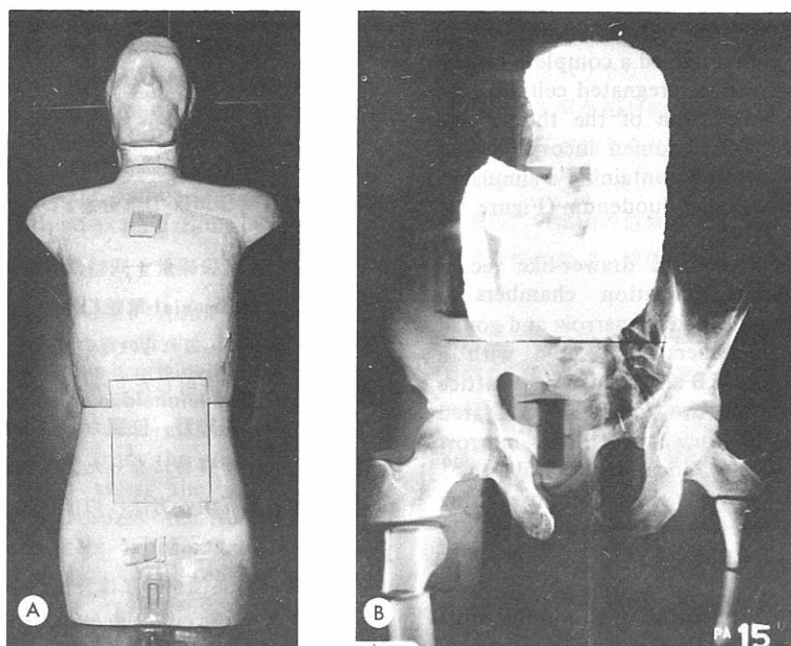


Figure 1. Phantom Human. A. Head, thorax, and abdomen sections. B. "Barium-filled" stomach in abdomen sections.

図1. 人体ファントム A. 頭部、胸部および腹部. B. 腹部の「バリウム充填」胃.

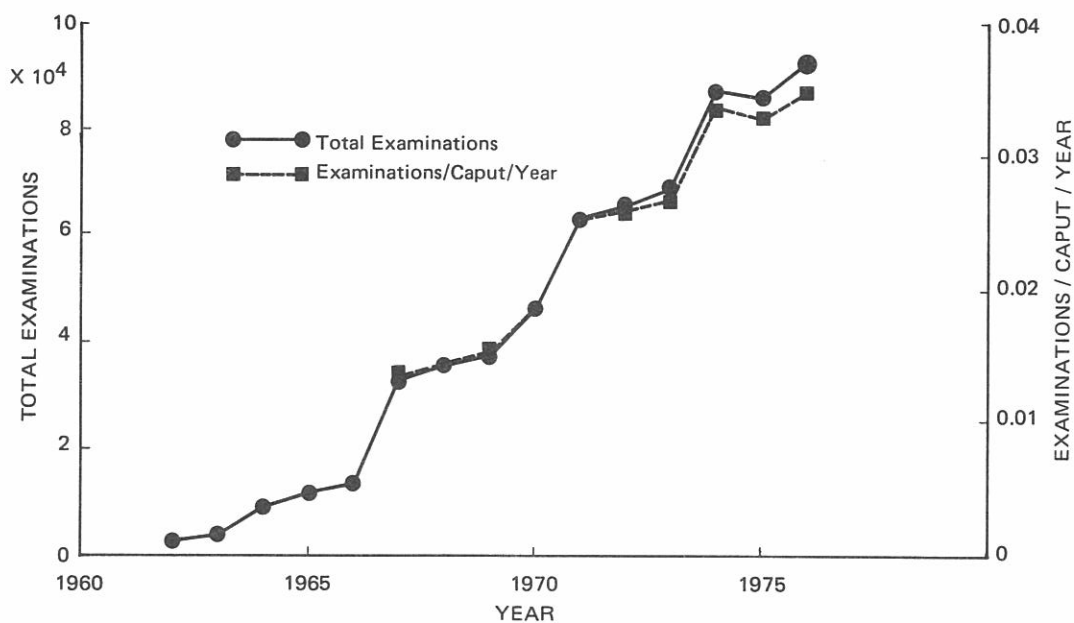


Figure 2. Total and per caput mass gastric examinations per year, Hiroshima Prefecture

図2 総数および1人当たりの年間胃集団検診数, 広島県

TABLE 1 MASS GASTRIC SURVEY EXAMINATIONS BY YEAR, AGE, AND SEX  
HIROSHIMA PREFECTURE

表1 胃集団検診：暦年，年齢および性別，広島県

Age	1974		1975		1976	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
0-24	510	221	452	208	235	188
25-29	1340	493	1189	463	617	419
30-34	2577	1554	2286	1459	2912	2076
35-39	5875	3548	5209	3332	5668	4040
40-44	14115	6426	11267	6782	14648	7846
45-49	11920	6024	11621	6749	11165	7369
50-54	7456	5060	8805	5911	10091	6605
55-59	4312	4317	4770	4276	4268	4211
60-64	3006	3008	3201	3407	2800	3059
65 +	3142	2830	2998	2426	2318	2482
Total	54253	33481	51798	35013	54722	38295

TABLE 2 TECHNICAL EXPOSURE FACTORS USED IN MASS GASTRIC SURVEYS

表2 胃集団検診の撮影条件

Photofluorography	Fluoroscopy	Units	Tube Voltage* (kV, kVp)	FSD (cm)	Field (cm)	Fluoroscopy	
						mA	sec
Mirror-Camera	Fluoroscreeen	15	108	49.5	30.4 × 30.4	1.44	39
Mirror-Camera	Television	3	113	44.3	30.0 × 30.0	0.83	60
Image-Intensifier	Television	4	85	51.8	28.5 × 27.0	0.65	49

\*kV for condenser type unit, kVp for transformer type unit. 蓄放式装置の場合 kV, 変圧器式装置の場合 kVp.

types of apparatus, based on the imaging systems for photofluorography and for fluoroscopy for positioning examinees. The majority of the apparatus was equipped with mirror-camera systems for photofluorography, and a fluoroscreen (MCFS) unit for fluoroscopy. In a mirror-camera-television (MCTV) unit, an orthicon tube receives images from a mirror-camera and exhibits these on the television screen. In a 1970 survey, no apparatus with image-intensifiers and television (I.I.TV) were being used for photofluorography, and there was none with television for fluoroscopy. This reflects improvements in apparatus made during the past 6 years for the purpose of reducing dose.

Number of exposures per examination and projection according to the position of the X-ray tube and imaging system are shown in Table 3.

示した。間接撮影および被検者の位置決め透視の映像方式を基にした3種類の装置があった。大部分の装置には、間接撮影の場合ミラー・カメラが、透視検査の場合蛍光板 (MCFS) が装備されていた。ミラー・カメラ・テレビ装置 (MCTV) の場合、ミラー・カメラからの像をオルシコン管で受け、それをテレビに映し出す。1970年の調査では、間接撮影にイメージ・インテンシファイアー付きテレビ (I.I.TV) 装置は使用されていなかったし、テレビで透視する装置はなかった。これは過去6年間に、線量軽減のために装置に改良が加えられたことを示す。

X線管球および映像装置の位置による撮影方向別の1検査当たりの撮影回数を表3に示した。22台の装置

TABLE 3 EXPOSURES PER EXAMINATION BY PROJECTION AND  
X-RAY TUBE POSITION (NUMBER)

表3 1検査当たりの撮影：撮影方向およびX線管球の  
位置別（回数）

Projection	Under-Table Tube	Overhead Tube	Total
Units	14	7	21
PA	2.50	1.43	2.11
PA obl.	1.33	0.14	0.89
AP	1.00	2.86	1.68
AP obl.	0.42	1.71	0.89
Total	5.25	6.14	5.57

One of the 22 units could not be surveyed for technical factors used. The posteroanterior (PA) projection was predominantly used for under-table tube type units; the anteroposterior (AP) projection, for overhead tube units.

The center of the exposure field was located at a point between the second and third lumbar vertebrae with the patient erect; between the first and second lumbar vertebrae with the patient prone.

#### Phantom Dosimetry

Dose to organs varied by institution and X-ray apparatus, and reflected the variations in technical factors used, including tube voltage, number of exposures, and field size. Table 4 shows the average values and standard errors (SE) for photofluorography, excluding fluoroscopy for positioning, for six mirror-camera units and two image-intensifier units. Surface dose per exposure by the image-intensifier (I.I.) apparatus was approximately 1/5 that of the mirror-camera units. Use of the I.I. apparatus achieved a greater reduction of bone marrow and gonad dose than of surface dose, partly because one such unit had a 9 inch rather than the usual 12 inch diameter I.I. tube.

Dose data for fluoroscopy used in positioning are shown in Table 5. The dose reduction using I.I. units was of an order similar to that of photofluorography. Only one MCTV unit was available for assessment. It incurred a dose about 1/2 that of MCFS units.

Using the number of examinations conducted in 1976, type of unit, number of exposures, and the fluoroscopy time per examination by institution, the average dose per patient from mass gastric surveys was calculated as shown in

のうち1台については撮影条件の調査ができなかった。背腹方向撮影はアンダーチューブ方式の装置に多く、腹背方向撮影はオーバーヘッドチューブ方式のものに多かった。

照射野の中心は、患者が立位の場合第2腰椎と第3腰椎の間、腹臥位の場合第1腰椎と第2腰椎の間であった。

#### ファントムによる線量測定

臓器線量は医療機関およびX線装置によって異なり、また管電圧、撮影回数および照射野をはじめとする撮影条件の違いにも依存していた。表4に位置決め透視を除いた間接撮影のみの平均被曝線量と標準誤差(SE)を6台のミラー・カメラ装置および2台のイメージ・インテンシファイアー装置について示した。イメージ・インテンシファイアー(I.I.)装置による撮影1回当たりの表面線量は、ミラー・カメラ装置のその約1/5であった。1台のI.I.装置には普通の直径12インチのI.I.管の代わりに9インチのI.I.管が取り付けられていたことも原因して、表面線量よりも骨髄および生殖腺線量により大きい軽減がみられた。

位置決め透視に関する線量資料を表5にまとめた。I.I.装置を使用した場合の線量軽減は、間接撮影の場合のそれと同じ程度であった。MCTV装置で評価に利用できたのは1台だけであった。これによる線量はMCFS装置のその約1/2であった。

1976年に実施された検診数、装置の種類、撮影回数および医療機関別の検診1回当たりの透視時間を利用して胃集団検診受診者の平均線量を計算し、表6



TABLE 4 DOSE TO EXAMINEES FROM MASS GASTRIC SURVEYS - PHOTOFLUOROGRAPHY

Dose: (Average  $\pm$  SE) mrad

表4 胃集団検診による被検者の被曝線量—間接撮影

線量: 平均値 $\pm$ 標準誤差 mrad

	Mirror-Camera		Image-Intensifier	
	per Examination	per Exposure	per Examination	per Exposure
Surface	4210 $\pm$ 790	794 $\pm$ 85	1210 $\pm$ 380	171 $\pm$ 5
Bone Marrow	178 $\pm$ 30.7	34.1 $\pm$ 3.58	10.3 $\pm$ 0.94	1.65 $\pm$ 0.61
Gonad - Male	15.5 $\pm$ 2.3	3.13 $\pm$ 0.55	1.35 $\pm$ 0.43	0.23 $\pm$ 0.13
Female	101 $\pm$ 14.2	19.7 $\pm$ 2.5	8.99 $\pm$ 3.75	1.57 $\pm$ 0.98
Exposures	5.2 $\pm$ 0.6	—	7.0 $\pm$ 2.0	—
Units	6		2	

TABLE 5 DOSE FROM MASS GASTRIC SURVEYS DURING FLUOROSCOPY FOR POSITIONING OF EXAMINEES

Dose per second: (Average  $\pm$  SE) mrad

表5 胃集団検診による位置決め透視の被曝線量

1秒当たりの線量: 平均値 $\pm$ 標準誤差 mrad

	Fluoroscreeen	MCTV	I.I.TV
Units	5	1	2
Surface	65.1 $\pm$ 15.5	26.5	14.0 $\pm$ 4.72
Bone Marrow	2.33 $\pm$ 0.49	1.59	0.097 $\pm$ 0.018
Gonad - Male	0.223 $\pm$ 0.066	0.115	0.021 $\pm$ 0.002
Female	1.68 $\pm$ 0.43	0.863	0.140 $\pm$ 0.029

TABLE 6 AVERAGE DOSE TO EXAMINEES PER EXAMINATION FROM MASS GASTRIC SURVEYS

Dose: mrad/Examination

表6 胃集団検診受診者の検診1回当たりの平均被曝線量

線量: mrad/検診

	Bone Marrow	Gonad		Surface
		Male	Female	
Photofluorography	159.0	13.9	89.8	3810
Fluoroscopy	71.5	6.7	50.0	1920
Total	231	21	140	5730

Table 6. Fluoroscopy for positioning contributed about 1/3 of the dose from the entire gastric survey procedure.

Doses from mass gastric surveys were compared with those from other types of examinations (Table 7), and were of the same order as upper-gastrointestinal series.<sup>13-15</sup> Although the frequency of mass gastric surveys was relatively low, the doses were much higher than those from mass chest radiography, conventional chest

に示した。位置決め透視による線量は検診全体の総線量の約1/3であった。

胃集団検診による線量とその他の種類の検査による線量とを比較したところ(表7), 上腹部胃腸管検査の場合と同程度であった。<sup>13-15</sup> 胃集団検診の頻度は比較的低いが, それによる線量は, 検査頻度の高い胸部集団X線検診, 通常の胸部および腰椎X線検査

TABLE 7 DOSE TO EXAMINEES BY TYPE OF EXAMINATION

表7 被検者の被曝線量：検査の種類別

	Chest <sup>13</sup>	Lumbar Spine <sup>13</sup>	GI Series* <sup>14</sup>	Mass Chest <sup>15</sup>	Mass GI
Surface (rad)	0.046 *	1.0	5.5	0.65	5.7
Bone Marrow (mrad)	5.0	83	100	39	230
Gonad (mrad)					
Male	0.05	25	6.6	0.31	21
Female	0.12	130	200	40	140

\*TV fluoroscopy テレビ透視

radiography, and lumbar spine radiography among those who have high examination rates for these three types of examination.

#### Calculation of Population Dose in Hiroshima

The genetically-significant dose (GSD), per caput mean marrow dose (CMD) and leukemia-significant dose (LSD) were calculated according to an UNSCEAR Report,<sup>16</sup> as follows:

による線量よりもはるかに高い。

#### 広島県の県民線量の推定

国連原子放射線影響科学委員会 (UNSCEAR) 報告<sup>16</sup>に従って、遺伝有意線量 (GSD)、1人当たりの平均骨髓線量 (CMD) および白血病有意線量 (LSD) を次のように計算した：

$$\begin{aligned}
 \text{GSD} &= \frac{\sum_j \sum_k (N_j^{(M)} w_{jk}^{(M)} d_{jk}^{(M)} + N_j^{(F)} w_{jk}^{(F)} d_{jk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} w_k^{(M)} + N_k^{(F)} w_k^{(F)})} \\
 \text{CMD} &= \frac{\sum_j \sum_k (N_j^{(M)} d_{jk}^{(M)} + N_j^{(F)} d_{jk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})} \\
 \text{LSD} &= \frac{\sum_j \sum_k (N_j^{(M)} L_{jk}^{(M)} d_{jk}^{(M)} + N_j^{(F)} L_{jk}^{(F)} d_{jk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} L_k^{(M)} + N_k^{(F)} L_k^{(F)})}
 \end{aligned}$$

where: この場合：

$N_{jk}$  = number of individuals of age-class  $k$ , subjected to class  $j$  exposure ( $M$  = Male;  $F$  = Female)

$k$  年齢群の  $j$  種の X 線検査を受けた被検者数 ( $M$  = 男性;  $F$  = 女性)

$N_k$  = total number of individuals of age-class  $k$

$k$  年齢群の総人口

$w_{jk}$  = future number of children expected by an exposed individual of age-class  $k$  subsequent to a class  $j$  exposure

$k$  年齢群の  $j$  種の X 線検査を受けた被検者に予想される将来の子供数

$w_k$  = future number of children expected by an average individual of age-class  $k$

$k$  年齢群の平均的な対象者に予想される将来の子供数

$d_{jk}$  = gonad dose for GSD and bone marrow dose for CMD and LSD per class  $j$  exposure of an individual of age-class  $k$

$k$  年齢群の  $j$  種の X 線検査を受けた被検者 1 人当たりの生殖腺線量 (GSD の場合) および骨髓線量 (CMD および LSD の場合)

$L_{jk}$  = leukemia-significant factor, weighting factor taking into account the shape of time-incidence curve of radiation-induced leukemia and the survival statistics for the different age groups in the population

白血病有意因子, すなわち放射線誘発白血病の時間-発生率曲線の形状, およびその人口集団中の異なる年齢群の生存統計を考慮に入れた加重因子

TABLE 8 GENETICALLY-SIGNIFICANT DOSE (GSD), PER CAPUT MEAN MARROW DOSE (CMD), AND LEUKEMIA-SIGNIFICANT DOSE (LSD) FROM MASS GASTRIC SURVEYS

Dose: mrad/caput/year

表8 胃集団検診による遺伝有意線量 (GSD), 1人当たりの平均骨髓線量 (CMD) ならびに白血病有意線量 (LSD)

線量: mrad / 1人当たり / 年間

	GSD	CMD	LSD
Male	0.044	5.31	4.19
Female	0.094	3.30	3.20
Total	0.138	8.61	7.39

Population by age and sex was obtained from Vital Statistics 1975 in Japan,<sup>17</sup> and the values  $W_{jk}$  and  $L_{jk}$  were those used by Hashizume et al.<sup>18,19</sup> The results are shown in Table 8. Recently, the GSD, CMD, and LSD from mass gastric surveys in Japan were reported to be 0.154 mrad, 16.5 mrad, and 14.5 mrad, respectively.<sup>12</sup> Our value for GSD agrees with this but our CMD and LSD were about 1/2 those reported.

In evaluating the risk of mass gastric surveys, doses to the stomach and lung corresponding to the leukemia-significant dose were calculated using surface dose, depth dose data,<sup>20</sup> and leukemia-significant factors, as described below.

#### Evaluation of Benefit and Risk from Mass Gastric Surveys

Life-saving, life-shortening, and genetic effects possibly caused by mass gastric surveys were estimated using the following formulae:

Benefit (number of lives saved) =  $N \cdot F \cdot S$   
利益 (救命数)

Risk (number of deaths and mutations) =  $[ R_L (LSD_1 + LSD_2) + R_S (SCSD_1 + SCSD_2) + R_{LG} (LCSD_1 + LCSD_2) + M \cdot GSD_M ] \cdot P$   
危険 (死亡および突然変異数)

where N is 93,017, the number of examinations performed in 1976; F is 0.00107, the average detection rate of stomach cancer by mass gastric surveys during the past 5 years; S is 0.56, the rate of patients surviving more than 5 years after treatment of stomach cancer detected by mass gastric surveys,<sup>21</sup>  $R_L$ ,  $R_S$ , and  $R_{LG}$  are induction rates of leukemia, stomach cancer, and lung cancer by radiation, respectively ( $R_L = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ ,  $R_S = 15 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ ,  $R_{LG} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ ).<sup>22</sup>  $LSD_1$  and  $LSD_2$  are leukemia-

年齢および性別の人口集団は1975年度の日本人口動態統計から得た。<sup>17</sup> また、 $W_{jk}$  および  $L_{jk}$  値は橋詰ら<sup>18,19</sup> が使用したものを用了。この結果を表8にまとめた。最近、日本の胃集団検診によるGSD, CMDおよびLSDはそれぞれ0.154, 16.5, および14.5 mradと報告されている。<sup>12</sup> GSDについては、我々の得た値と上記の値とは一致していたが、CMDおよびLSDについては、我々の値は報告された値の約半分であった。

胃集団検診の危険を評価するに当たって、表面線量、深部線量資料<sup>20</sup> および白血病有意因子を利用して、白血病有意線量に相当する胃および肺線量を計算し次項に示した。

#### 胃集団検診による利益および危険の評価

胃集団検診による人命の救助、寿命の短縮および遺伝的影響を次の式を使用して算定した。

ここで、Nは1976年に実施された検診数で、93,017回; Fは過去5年間の胃集団検診による胃癌の平均発見率で、0.00107; Sは胃集団検診によって発見された胃癌患者の治療後5年以上の生存率で、0.56;<sup>21</sup>  $R_L$ ,  $R_S$  および  $R_{LG}$  は放射線による白血病、胃癌および肺癌の誘発率で、それぞれ ( $R_L = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ ,  $R_S = 15 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ ,  $R_{LG} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ )。 <sup>22</sup>  $LSD_1$  および  $LSD_2$  は胃集団検診および胃集団検診で

significant doses from mass gastric surveys and from detailed examinations carried out after detection of abnormalities on photofluorography, respectively ( $LSD_1 = 7.4 \times 10^{-3}$  rad,  $LSD_2 = 0.26 \times 10^{-3}$  rad);  $SCSD_1$  and  $SCSD_2$  are doses to the stomach corresponding to  $LSD_1$  and  $LSD_2$  ( $SCSD_1 = 14 \times 10^{-3}$  rad,  $SCSD_2 = 1.1 \times 10^{-3}$  rad);  $LCSD_1$  and  $LCSD_2$  are doses to the lung corresponding to  $LSD_1$  and  $LSD_2$  ( $LCSD_1 = 1.7 \times 10^{-3}$  rad,  $LCSD_2 = 0.13 \times 10^{-3}$  rad);  $M$  is the rate of genetic effects by radiation, including recessive mutations, dominant mutations, and reciprocal translocations ( $1.7 \cdot 10^{-4} \cdot \text{rad}^{-1}$ );<sup>22</sup>  $GSD_M$  is the genetically-significant dose for males ( $0.044 \times 10^{-3}$  rad); and  $P$  is the population of Hiroshima Prefecture ( $2.66 \times 10^6$ ).

The number of lives saved by mass gastric surveys performed in 1976 was calculated to be 55.7. Many stomach cancers are detected by examinations other than mass gastric surveys and some of these cancers are cured. This has been estimated to be 0.37 of the total lives saved by mass gastric surveys.<sup>21</sup> Subtracting this from the total lives saved, the true benefit in terms of lives saved by mass gastric surveys was 35.1. Deaths from leukemia and cancer were calculated to be 1.1, and the genetic damage was 0.02. Thus, there was a benefit-to-risk ratio of about 50 for mass gastric surveys performed in Hiroshima Prefecture in 1976.

## DISCUSSION

Disagreement between Hashizume et al<sup>12</sup> and our CMD and LSD values was due mainly to the data being obtained by phantom dosimetry for photofluorography using mirror-camera units, as shown in Table 9. The doses from fluoroscopy during the positioning of examinees agreed well with those of Hashizume et al<sup>12</sup> but our dose estimates for photofluorography were less than 1/2 theirs.

In the study by Hashizume et al,<sup>12</sup> the methods used to estimate dose differed for photofluorography and fluoroscopy. For fluoroscopy, their phantom dosimetry was based on representative exposure factors which were obtained by survey. For photofluorography, magnesium silicate thermoluminescent detectors were mailed to the involved institutions and attached to examinees during exposure, except during fluoroscopy used for positioning. Based on X-ray output, they

異常が発見された後に実施された精密検査による白血病有意線量で、それぞれ ( $LSD_1 = 7.4 \times 10^{-3}$  rad,  $LSD_2 = 0.26 \times 10^{-3}$  rad);  $SCSD_1$  および  $SCSD_2$  は  $LSD_1$  および  $LSD_2$  に相当する胃線量で、( $SCSD_1 = 14 \times 10^{-3}$  rad,  $SCSD_2 = 1.1 \times 10^{-3}$  rad);  $LCSD_1$  および  $LCSD_2$  は  $LSD_1$  および  $LSD_2$  に相当する肺線量で、( $LCSD_1 = 1.7 \times 10^{-3}$  rad,  $LCSD_2 = 0.13 \times 10^{-3}$  rad);  $M$  は劣性突然変異, 優性突然変異および交換型転座をはじめとする放射線による遺伝的影響で、( $1.7 \cdot 10^{-4} \cdot \text{rad}^{-1}$ );<sup>22</sup>  $GSD_M$  は男性の遺伝有意線量で、( $0.044 \times 10^{-3}$  rad); そして、 $P$  は広島県の人口で、( $2.66 \times 10^6$ )である。

1976年に実施された胃集団検診による救命数は55.7と算定された。胃癌の多くは胃集団検診以外の検査で発見され、治癒するものもある。これは胃集団検診で救われた総数の0.37に当たると推定されている。<sup>21</sup> これを救命総数から引くと、胃集団検診による救命という真の利益は35.1であった。白血病および癌による死亡は1.1、遺伝的損傷は0.02と算定された。したがって1976年に広島県で行われた胃集団検診の危険に対する利益の比は約50であった。

## 考 察

橋詰ら<sup>12</sup>と我々のCMDおよびLSDの値の差異は主として、表9に示すように、ミラー・カメラ装置による間接撮影におけるファントム線量測定 of 資料に起因するものであった。被検者の位置決め透視による線量は橋詰ら<sup>12</sup>のそれとよく一致していたが、間接撮影による線量は彼らの半分以下であった。

橋詰ら<sup>12</sup>の調査では、線量推定に用いる方法が間接撮影と透視では異なっていた。透視の場合、調査によって入手した代表的な照射条件に基づいてファントム線量測定を行っている。間接撮影の場合、関係医療機関に珪酸マグネシウム熱ルミネッセンス線量計を郵送し、これを被検者に張り付け、位置決め透視を除いて曝射するよう依頼している。このX線出力を基にして、実験X線装置によって骨髄および

TABLE 9 COMPARISON OF DOSE TO EXAMINEES

Dose: (Average  $\pm$  SD) mrad

表 9 被検者の被曝線量の比較

線量: 平均値  $\pm$  標準偏差 mrad

Study	Type	Surface	Bone Marrow
Hashizume et al <sup>12</sup>	Photofluorography*	2040 $\pm$ 1370	85.7
	Fluoroscopy**	2600	93.6
Present Study	Photofluorography*	794 $\pm$ 210	34.1 $\pm$ 8.78
	Fluoroscopy**	2800 $\pm$ 1300	100 $\pm$ 42.1

\*Dose per Exposure, Mirror-camera

ミラー・カメラを使用した場合の曝射1回当たりの線量

\*\*Dose per Examination, Fluoroscreen

蛍光板を使用した場合の検査1回当たりの線量

used an experimental X-ray unit to measure bone marrow and gonad doses. It is likely that those surface doses may have included some fluoroscopy exposure because X-ray technicians performing mass gastric surveys do not usually distinguish from photofluorography, the fluoroscopy procedures used for positioning. This may also be reflected by the large standard deviations, depending on whether fluoroscopy was used to expose the dosimeter.

Inuma et al<sup>21</sup> have developed a detailed method for calculating benefits and risks from mass gastric survey, according to age and sex. Using their method and the dose data obtained in this study, risks exceeded the benefits for examinees under 29 years of age.

Induction rates for cancers other than leukemia, and stomach and lung cancers are published in an UNSCEAR Report.<sup>22</sup> However, risk evaluations for these cancers were excluded because of relatively low induction rates and low doses to the organs concerned.

Even though the benefit may exceed the risk for older age groups, dose should be reduced to the very minimum. Use of I.I.TV units instead of MCFS apparatus reduced dose to the bone marrow and gonads to less than 1/10 the original, underscoring the need for replacing all obsolete apparatus with I.I.TV units.

It was stated in the 1972 UNSCEAR Report that there was no clear correlation between the induction rate of gastric cancer and radiation dose.<sup>16</sup> We have concentrated on the measurement of bone marrow and gonad doses because leukemia and genetic mutations are well-established as possibly radiation-related damage. However, the estimated risk of gastric cancer

生殖腺線量を測定している。胃集団検診を行うX線技師は普通間接撮影と位置決め透視とを区別しないので、測定した表面線量には透視による被曝が含まれている可能性がある。測定値の大きな標準偏差は透視時に線量計にX線が照射されたか否かを反映していると思われる。

飯沼ら<sup>21</sup>は、年齢および性によって、胃集団検診の利益と危険を算定するための詳細な方法を発表している。本研究の線量値をこの方法で処理したところ、29歳未満の被検者の場合、危険が利益よりも大きかった。

白血病、胃癌ならびに肺癌以外の癌の誘発率はUNSCEAR報告に発表されている。<sup>22</sup> しかしながら誘発率が比較的低く、関係臓器への線量が低いため、これらの癌に対する危険の評価は行わなかった。

比較的高年齢群の利益が危険を上回ったとしても、被曝線量は最小に抑えなくてはならない。MCFS装置の代わりにI.I.TV装置を使用すると、骨髄および生殖腺線量は1/10以下に軽減できた。よって、旧式な装置を総てI.I.TV装置と取り替える必要のあることが強調される。

1972年のUNSCEAR報告では、胃癌の誘発率と放射線量との間に明白な相互関係のないことが述べられていた。<sup>16</sup> 白血病と遺伝突然変異は放射線と関係のある障害としての可能性を有することはよく立証されているため、本調査では骨髄および生殖腺線量の測定に主眼を置いた。しかしながら、最近の1977年の

calculated according to a later UNSCEAR Report in 1977 exceeded that of leukemia.<sup>22</sup> These results indicate the necessity for dose estimates for medical X-ray exposure of other organs such as stomach, lung, breast, and thyroid gland, in addition to those for bone marrow and gonads.

UNSCEAR報告によって計算された胃癌の推定危険は白血病のそれを上回った。<sup>22</sup> これらの結果から、骨髄および生殖腺の線量測定に加えて、胃、肺、乳房および甲状腺等の臓器の医療用X線による被曝線量を推定する必要性が示唆される。

## REFERENCES

### 参考文献

1. RIGLER LG: Roentgen examination of the stomach in symptomless persons. JAMA 137:1501-7, 1948
2. ROACH JF, SLOAN RD, MORGAN RH: The detection of gastric carcinoma by photofluorographic methods. Part III. Findings. AJR 67:68-75, 1952
3. AMBERG JR, GIPSON EN, MARGULIS AR, RIGLER LG: Yield of gastric carcinoma from radiologic screening. Gastroenterology 36:796-800, 1959
4. TAMAKI M: Nippon Acta Radiol 24:663, 1964
5. TAKESHITA K, KIHARA T, SAWADA S: Medical and dental radiological trends in Japan. Nippon Acta Radiol 38:682-96, 1978
6. BELSKY JL, TACHIKAWA K, JABLON S: The health of atomic bomb survivors: a decade of examinations in a fixed population. Yale J Biol Med 46:284-96, 1973
7. YOSHINAGA H, IHNO Y, RUSSELL WJ, ANTOKU S, MIZUNO M: Equipment and techniques in medical X-ray dosimetry studies at ABCC. ABCC TR 29-66
8. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. Health Phys 2:189-94, 1959
9. ANTOKU S, RUSSELL WJ, MIZUNO M, SUGA Y: Memorial ionization chambers; construction and response. Health Phys 23:559-63, 1972
10. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, ANTOKU S, MIZUNO M: Active bone marrow distribution in the adult. Br J Radiol 39:735-9, 1966
11. ANTOKU S, MILTON RC: Dose to bone marrow and gonads from chest examinations. Calculations by electronic computer. ABCC TR 4-67
12. HASHIZUME T, KATO Y, MARUYAMA T, KAMATA T, URAHASHI S: Estimation of population doses from stomach mass screening, 1975. Nippon Acta Radiol 37:578-89, 1977
13. ANTOKU S, RUSSELL WJ: Dose to the active bone marrow, gonads, and skin from roentgenography and fluoroscopy. Radiology 101:669-78, 1971
14. TAKESHITA K, ANTOKU S, SAWADA S: Exposure pattern, surface, bone marrow integral and gonadal dose from fluoroscopy. Br J Radiol 45:53-8, 1972
15. ANTOKU S, RUSSELL WJ, MILTON RC, YOSHINAGA H, TAKESHITA K, SAWADA S: Dose to patients from roentgenography. Health Phys 23:291-9, 1972
16. UNITED NATIONS: UNSCEAR Report, Ionization Radiation: Levels and Effects, Vol 1. New York, United Nations, 1972. pp 133-72
17. 厚生省大臣官房統計情報部: 昭和50年人口動態統計. 1976年  
(MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE, JAPAN: Vital Statistics 1975 Japan. 1976)

18. HASHIZUME T, MARUYAMA T, KUMAMOTO Y: Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974. 2. Estimation of genetically significant dose. *Nippon Acta Radiol* 36:208-15, 1976
19. HASHIZUME T, MARUYAMA T, KUMAMOTO Y: Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974. 3. Per caput mean marrow dose and leukemia significant dose. *Nippon Acta Radiol* 36:216-24, 1976
20. ANTOKU S, MIZUNO M, SUGA Y, RUSSELL WJ: Depth dose and scattered dose data for diagnostic X-rays. *ABCC TR* 14-75
21. IINUMA T, TATENO Y, HASHIZUME T, UMEGAKI Y, KITABATAKE T: Benefit-risk analysis for mass screening of stomach cancer in Japan. *Nippon Acta Radiol* 37:1109-21, 1977
22. UNITED NATIONS: UNSCEAR Report. Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York, United Nations, 1977