

LENS FINDINGS IN ATOMIC BOMB SURVIVORS

A REVIEW OF MAJOR OPHTHALMIC SURVEYS  
AT THE ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION, 1949-62

原 爆 被 爆 者 に お け る 水 晶 体 の 変 化

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会 が 行 な っ た  
主 要 眼 科 学 的 調 査 の 総 括 ， 1 9 4 9 - 6 2 年

ROBERT J. MILLER, M.D.

TADASHI FUJINO, M.D. 藤野 貞

M. DEAN NEFZGER, Ph.D.



## TECHNICAL REPORT SERIES

### 業 績 報 告 書 集

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

ABCC業績報告書は、ABCCの日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

## LENS FINDINGS IN ATOMIC BOMB SURVIVORS

A REVIEW OF MAJOR OPHTHALMIC SURVEYS  
AT THE ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION, 1949-62

原爆被爆者における水晶体の変化

原爆傷害調査委員会が行なった  
主要眼科学的調査の総括，1949-62年

ROBERT J. MILLER, M.D.<sup>1†</sup>

TADASHI FUJINO, M.D.<sup>1</sup> 藤野 貞

M. DEAN NEFZGER, Ph.D.<sup>2</sup>

Approved 承認 29 September 1966



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION  
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

A Cooperative Research Agency of  
U.S.A. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NATIONAL RESEARCH COUNCIL  
and  
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE  
with funds provided by  
U.S.A. ATOMIC ENERGY COMMISSION  
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH  
U.S.A. PUBLIC HEALTH SERVICE

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米国学士院 - 学術会議と厚生省国立予防衛生研究所  
との日米共同調査研究機関

米国原子力委員会，厚生省国立予防衛生研究所および米国公衆衛生局の研究費による

Departments of Medicine<sup>1</sup> and Statistics<sup>2</sup>

臨床部<sup>1</sup> および統計部<sup>2</sup>

† Surgeon, US Public Health Service, Division of Radiological Health, Research Branch, assigned to ABCC

米国公衆衛生局放射線保健部研究部門所属医師でABCCへ派遣

LENS FINDINGS IN ATOMIC BOMB SURVIVORS

A REVIEW OF MAJOR OPHTHALMIC SURVEYS  
AT THE ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION, 1949-53

原爆被害者における水晶体の調査

大塚 隆夫 東京大学医学部  
1954-1953

REPORT BY  
TAKESHI OHTSUKA, M.D.  
W. HENRY WATKINS, M.D.

Presented at the 1954 Meeting of the  
International Commission on Atomic Bomb Casualty  
Effects, Hiroshima, Japan, August 1-5, 1954.

Atomic Bomb Casualty Commission  
Hiroshima, Japan

A paper based on this report was published in the following journal

本報告に基づく論文は下記の雑誌に発表した

Archives of Ophthalmology 78:697-704, 1967



# CONTENTS

## 目 次

Introduction	緒 言 .....	1
Previous Studies	以前の調査	
	Cogan, Kimura et al (1949-50) .....	1
	Sinskey (1951-53) .....	4
	Miller, R.W. (1954) .....	5
	Hall (1956-57) .....	6
	Hirose (1959-60) .....	8
Comment	考 察 .....	8
Conclusions	結 論 .....	10
Summary	要 約 .....	11
Appendix	付 録	
	Analysis of the relationship of shielding and distance factors to radiation cataracts-Lowell A. Woodbury-1953 遮蔽および被爆距離と放射線白内障との関係の解析-Lowell A. Woodbury-1953年.....	12
	Effects of sex, age, distance, and symptoms upon the occurrence of lenticular changes in people exposed to the atomic bomb, Hiroshima and Nagasaki-Lowell A. Woodbury -1954 原爆被爆者における水晶体変化の発生頻度に及ぼす性、年齢、距離および症状の影響、 広島・長崎-Lowell A. Woodbury - 1954年 .....	20
	Studies of eye changes occurring in the population of Hiroshima-ABCC Semi-annual Report January-June, 1954 広島の人口集団に発生した眼の変化の研究 - 1954年1月 - 6月 ABCC 半年報 .....	31
References	参考文献 .....	33

<b>TABLE</b>	1. Persons with axial posterior opacities, Hiroshima, 1949-50 表 軸性後部混濁, 広島, 1949 - 50年 .....	2
	2. Persons with axial posterior opacities, Nagasaki, 1949-50 軸性後部混濁, 長崎, 1949 - 50年 .....	4
	3. Lightly and heavily shielded persons with posterior subcapsular polychromatic changes, Hiroshima, 1951-53 軽遮蔽および重遮蔽群における水晶体後囊下多色性変化, 広島, 1951 - 53年 .....	5
	4. Persons aged 15 to 45 years with posterior subcapsular polychromatic changes, Hiroshima and Nagasaki, 1951-53 年齢15歳から45歳までの者における水晶体後囊下多色性変化, 広島・長崎, 1951 - 53年 .....	5

5. Persons with axial posterior opacities, Hiroshima, 1956-57 軸性後部混濁, 広島, 1956-57年 .....	6
6. Persons with posterior capsular and subcapsular changes, Hiroshima, 1956-57 水晶体後囊および後囊下変化, 広島, 1956-57年 .....	7
7. Composition of sample used in cataract studies, 1953 白内障調査に用いた標本の構成, 1953年 .....	13
8. Relation of incidence of polychromatic granular plaques to age in nonexposed individuals 非被爆者における多色性円板状混濁発現率と年齢との関係 .....	16
9. Occurrence of polychromatic granular plaques, light shielding 多色性円板状混濁の発生, 軽遮蔽 .....	17
10. Occurrence of polychromatic granular plaques, heavy shielding 多色性円板状混濁の発生, 重遮蔽 .....	17
11. Occurrence of polychromatic granular plaques in total epilation group 完全脱毛者における多色性円板状混濁の発生 .....	20
12. Occurrence of radiation cataracts 放射線白内障の発生 .....	20
13. Composition of the control group for lenticular changes study 水晶体変化調査の対照群の構成 .....	23
14. Incidence of lenticular changes, Hiroshima subjects aged 15-45 years at examination 検査時年齢15歳から45歳までの広島の対象者における水晶体変化の発現頻度 .....	23
15. Lens changes in Hiroshima subjects by radiation symptoms, light shielding 放射線症状別にみた広島対象者における水晶体変化, 軽遮蔽 .....	25
16. Correlations (Pearson product moment) between the occurrence of radiation symptoms and lens changes 放射線症状の発生と水晶体変化の相関関係 (Pearson プロダクト モーメント) .....	25
17. Percent with lens changes by degree of epilation 脱毛の程度別にみた水晶体変化を示す対象者の百分率 .....	26
18. Incidence of lenticular changes, Nagasaki subjects aged 15-45 years at examination 検査時年齢15歳から45歳までの長崎の対象者における水晶体変化の発現頻度 .....	27
19. Lens changes in Nagasaki subjects by degree of epilation, light shielding 脱毛の程度別にみた長崎対象者における水晶体変化 .....	28
20. Comparison of cataract examinations by Sinsky and Kellett Sinsky および Kellett による白内障検査の比較 .....	32

<b>FIGURE 1.</b> Percent of subjects with polychromatic granular plaque, zero epilation, Hiroshima 図 多色性円板状混濁のある者の百分率, 無脱毛群, 広島 .....	18
2. Percent of subjects with polychromatic granular plaques, partial epilation, Hiroshima 多色性円板状混濁のある者の百分率, 部分的脱毛群, 広島 .....	18
3. Lens changes in Nagasaki subjects by degree of epilation, light shielding 脱毛の程度別にみた長崎対象者における水晶体変化, 軽遮蔽 .....	28
4. Lens changes in Nagasaki subjects by radiation symptoms, light shielding 放射線症状別にみた長崎対象者における水晶体変化, 軽遮蔽 .....	29
5. Lens changes in Hiroshima and Nagasaki subjects, light shielding 広島および長崎の対象者における水晶体変化, 軽遮蔽 .....	30

# LENS FINDINGS IN ATOMIC BOMB SURVIVORS

A REVIEW OF MAJOR OPHTHALMIC SURVEYS AT THE ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION, 1949-62

## 原爆被爆者における水晶体の変化

原爆傷害調査委員会が行なった主要眼科学的調査の総括, 1949-62年

### INTRODUCTION

Large numbers of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors have been examined at ABCC in an effort to understand the late effects of ionizing radiation on the lens of the eye. These examinations were made by several ophthalmologists working relatively independently at different times and often without full knowledge of predecessors' techniques, definitions, or findings. The resulting documentation is fragmentary, and the work has not been reviewed or summarized except as an ABCC Technical Report.<sup>1</sup>

Personal communication with some of the earlier investigators has permitted clarification of terminology, and review of reports and other material on file at ABCC has made it possible to present some data for the first time. In addition, this review of previous methodology and findings will provide the background for a subsequent report of eye findings in about 2500 Hiroshima and Nagasaki survivors in 1963 and 1964.<sup>2</sup>

The convention of using distance from the hypocenter at the time of the bombs (ATB) as an index to radiation dose, adopted in even recent reports from ABCC,<sup>3-6</sup> has been followed here, and an attempt has been made to use the same distance groupings throughout. Tentative estimates (1965) of the air dose received by survivors range from 450 rad at 1000 m from the hypocenter in Hiroshima to about 2 rad at 2000 m, and from 925 rad to about 18 rad in Nagasaki at these distances.<sup>7</sup> The logarithm of air dose is nearly linearly related to distance.

### PREVIOUS STUDIES

**Cogan, Kimura et al (1949-50)** Prompted by reports of cataract among physicists exposed to ionizing radiation, a project was initiated at ABCC in September 1949 to look for possible delayed ocular injuries among people

### 緒言

眼の水晶体に対する電離放射線の後影響を究明するために、ABCCでは広島および長崎における多数の原爆被爆者について診察してきた。これらの診察は、数人の眼科医によってそれぞれ比較的単独に、かつ、異なった時期に行なわれたものであり、また先任者の検査技法、診断基準あるいは所見についてじゅうぶん知らないまま行なわれたことが多かった。そのため、結果の発表は断片的であり、われわれの知る限りでは、この面の研究について再検討または総括を試みたものはABCC業績報告書以外にはない。

以前の研究担当者と直接文通して用語について確かめることができた。また、ABCCに保管してある報告書やその他の資料を再検討した結果、今回ここに初めて報告される若干の知見のあることを発見した。その上、過去の調査方法および所見をこのように再検討することは、1963年および1964年に広島および長崎の被爆者約2500名について行なった眼科学的調査<sup>2</sup>について追って発表する予定の報告書に対する背景資料を提供する。

原爆時の爆心地からの距離を放射線量の指標として用いる方法は、ABCCから最近出されている報告書<sup>3-6</sup>に採用されているが、ここでもこれを踏襲し、全体にわたって同じ距離区分を用いるように努めた。被爆者が受けた放射線空気線量の暫定推定値(1965年)の範囲は、広島で爆心地から1000 m未満にいた者に対する450 radから2000 mにいた者に対する2 radまで、また同じ距離で長崎で925 radから18 radまであり、<sup>7</sup> これら空気線量の対数と距離との関係はほとんど直線的である。

### 以前の調査

**Cogan, Kimuraら (1949-50年)** 電離放射線を受けた物理学者に起きた白内障に関する報告書に刺激されて、広島の被爆者に後発性の眼障害が起こるか否かを探究するための研究企画が、1949年9月にABCCで開始された。

exposed to the atomic bomb in Hiroshima. During the yearlong study, an initial portion of which was reported by Cogan,<sup>8,9</sup> almost 3000 persons were examined. This group was thought to include all survivors who had been within 1000 m from the hypocenter ATB; beyond 1000 m survivors were sampled. Cataracts were grouped into four classes:

*Severe (8 patients)* sufficient posterior polar subcapsular opacification was present to reduce visual acuity to a poor 20/70. The opacity often showed a piano convex form.

*Moderate (11 patients)* there was a moderate amount of posterior polar subcapsular opacification, but visual acuity was reduced very little.

*Slight (30 patients)* a few posterior subcapsular polar vacuoles were easily seen by ophthalmoscope, and visual acuity was normal.

*Very slight (49 patients)* two or three vacuoles in a group were seen by ophthalmoscope in the posterior pole subcapsularly, and slitlamp biomicroscopy showed a definite though very thin subcapsular opacity.

1年にわたって行なわれたこの調査の最初の部分については、Coganが報告したが、<sup>8,9</sup> その間、約3000名が診察を受けた。この調査対象群には、原爆時に爆心地から1000 m未満にいた生存者全部が含まれていると考えられた。1000 m以遠の被爆者は標本抽出した。白内障は次の4等級に分類した。

a) 強度 (8例): 視力が20/70に減退するほどの水晶体後極部囊下混濁が認められた。この混濁は平凸形をなしていることが多かった。

b) 中等度 (11例): 水晶体後極部囊下混濁が中等度量認められたが、視力の減退はほとんどなかった。

c) 軽度 (30例): 水晶体後極部囊下に空胞が少数検眼鏡によって容易に認められたが、視力は正常であった。

d) きわめて軽度 (49例): 検眼鏡によって2個または3個の空胞が1群になって水晶体後極部囊下に認められ、細隙灯生体顕微鏡検査によって、きわめて薄いものではあるが、明確な囊下混濁が認められた。

TABLE 1 PERSONS WITH AXIAL POSTERIOR OPACITIES BY DISTANCE FROM HYPOCENTER—HIROSHIMA, 1949-50 (KIMURA<sup>10</sup>)

表1 軸性後部混濁: 爆心地からの距離別  
広島, 1949~50年(Kimura<sup>10</sup>)

Distance (m) 距離	Examined 被検者数	Axial opacities 軸性混濁	%
<600	68	9	13.2
600-799	249	23	9.2
800-999	550	52	9.5
1000-1199	849	13	1.5
1200-1399	223	0	0.0
1400-1599	209	0	0.0
1600-1999	712	0	0.0
2000+	66	0	0.0
Total 計	2926	97	

Some numbers were taken from figures, and others from partial tabulations in the report.<sup>10</sup> Minor inconsistencies between these sources and the text of the report could not be resolved.

報告書<sup>10</sup>に記載された図からとったものもあり、一部分について行なわれていた集計から得たものもある。これらの出所による資料と報告書の本文との小さな矛盾は解決することができなかった。

From Kimura's data,<sup>10</sup> rates of prevalence for these ophthalmoscopically visible lesions, of all grades of severity, can be reconstructed approximately as in Table 1. On the basis of these data, 1100 m was considered the outer limit at which radiation cataracts occurred. Those with cataracts ranged from less than 10 years to over 60 years at examination. Examining some of these subjects almost

検眼鏡で認められたすべての程度の病変についての罹患率はKimuraのデータ<sup>10</sup>からだいたい表1に示すように再現できる。これらの資料に基づいて、放射線白内障の発生が認められなくなる限界は1100 mであると考えられた。白内障患者の受診時年齢の範囲は、10歳以下の者から60歳以上の者にわたっていた。Fillmoreは、約1年後にこれらの白内障患者の若干名について調べ、放射線後影



a year later, Fillmore found no other clinical evidence of late radiation effects, but he did comment on the subsequent diagnosis of leukemia in two people with cataracts.<sup>11</sup> By September 1963, of the 97 people with cataracts 15 had died, and 7 of these deaths were due to blood dyscrasias.<sup>2</sup>

A clinical description of radiation cataract was made which coincided remarkably well with the findings due to X-radiation described by Rohrschneider.<sup>12</sup> The characteristic feature of the cataract was an initial axial opacity, which ophthalmoscopically appeared as a dot usually situated at the posterior pole. As this enlarged, small granules and vacuoles appeared around it. The lesions in 79 of the 97 patients stopped at this point. In a few, the central opacity became larger and developed a relatively clear center giving it a doughnut-like appearance with a diameter of 3-4 mm. About the same time, granular opacities and vacuoles sometimes appeared in the anterior subcapsular region, usually in the pupillary area. When the lens was examined with the slitlamp biomicroscope, the initial opacities appeared granular and had a yellowish hue. In a very few cases, the central posterior opacity gradually split parallel with the plane of the capsule forming a "bivalve" configuration. Cogan's group believed that the early stages of radiation cataract were fairly characteristic, but that lens opacities of a somewhat similar type could often be seen in patients with retinitis and in complicated cataracts that occur with endogenous ocular or systemic diseases.

A survey similar to that in Hiroshima was conducted by Kimura in Nagasaki from May to August 1950.<sup>13</sup> He used the same criteria as in Hiroshima, and rates for these ophthalmoscopically visible lesions can be approximately reconstructed as shown in Table 2. Of these 26 cataracts, 1 was graded severe, 1 moderate, 17 slight, and 7 very slight. Among referral patients in Nagasaki, Kimura reported one additional severe cataract in a man who had been about 750 m from the hypocenter ATB. Kimura believed the number of persons examined was too small and knowledge of individual exposure and shielding too uncertain to justify definite conclusions from this Nagasaki series.

Histopathologic examination and correlation with the clinical appearance of advanced lens opacities was made by Kimura and Ikui,<sup>14</sup> and by Cogan, Donaldson, and Reese.<sup>15</sup> In general the histologic manifestations of radiation cataract were less type-specific than the clinical signs. The changes primarily were: failure of the cells at the equator to differentiate into normal lens fibers; and early migration of abnormal cells beneath the posterior capsula towards the posterior pole where they became responsible for the posterior subcapsular opacities.

響の臨床所見はほかに認めなかったが、2名の白内障患者がその後白血病の診断を受けていることについて言及している。<sup>11</sup> 1963年9月までに、白内障患者97名のうち15名が死亡し、この死亡例のうち7例は血液疾患によるものであった。<sup>2</sup>

放射線白内障の臨床所見について説明が行なわれたが、これは Rohrschneider<sup>12</sup> が報告した X線照射による所見に非常によく一致した。白内障のおもな特徴は、初めに軸性混濁が現われ、これは検眼鏡で普通後極部に斑点として認められる。これが拡大するにつれて、その回りに小さな顆粒および空胞が現われる。97例のうち79例では、病変はこの段階にとどまっていた。少数例においては、中央部の混濁はより大きくなり、その中心が比較的清澈になり、径3-4mmのドーナツ型様相を呈した。ほぼ同時に水晶体前囊下に顆粒状混濁および空胞が現われることがときどきあり、それは普通は瞳孔部に現われる。水晶体を細隙灯生体顕微鏡で調べると、初期の混濁は顆粒状として認められ、黄色の色相を呈した。わずか少数例ではあるが、後部中央の混濁は、水晶体囊の平面と平行して次第に裂けて「二弁」様相を呈した。Coganらの考えでは、放射線白内障は初期の段階ではかなり特徴的であるが、色素性網膜炎および内因性眼疾患または全身性疾患に併発する併発性白内障にも、それにいくらか類似した水晶体混濁がしばしば認められるという。

長崎においても、1950年5月から8月まで、広島と同様な調査を Kimura が行なった。<sup>13</sup> かれは、広島と同じ基準を用いたが、検眼鏡によって認められた病変の発現率を再現するとだいたい表2に示すようになる。これら26例の白内障のうち、1例は強度、1例は中等度、17例は軽度、そして7例はきわめて軽度なものであった。Kimuraの報告では、長崎における紹介患者に強度の白内障をもう1例認めているが、この1例は原爆時に爆心地から約750mにいた男性であった。この長崎の調査から明確な結論を出すには、例数が僅少に過ぎ、各人の被爆および遮蔽についての資料はあまりに不正確であると Kimura は考えた。

Kimura と生井<sup>14</sup>、ならびに Cogan, Donaldson および Reese<sup>15</sup> は、進行した水晶体混濁の組織学的検査を行ない、臨床的外観との相関関係を調べた。一般に放射線白内障の組織学的所見は、臨床的所見ほど特異的でなかった。おもな変化は次のとおりであった。すなわち、1) 赤道部における細胞の正常な水晶体線維への分化がないこと、2) 異常細胞が早期に水晶体後囊下を後極部へ向かって移動し、そこで後囊下混濁を生ずることであった。



TABLE 2 PERSONS WITH AXIAL POSTERIOR OPACITIES BY DISTANCE FROM HYPOCENTER — NAGASAKI, 1949-50 (KIMURA<sup>13</sup>)

表2 軸性後部混濁：爆心地からの距離別，長崎，1949-50年 (Kimura<sup>13</sup>)

Distance (m) 距離 (m)	Examined 被検者数	Axial opacities 軸性混濁	%
<1000	444	23	5.2
1000-1199	59	3	5.
1200-1900	75	0	0.0
Total 計	578	26	.

Some numbers were taken from figures, and others from partial tabulations in the report.<sup>13</sup> Minor inconsistencies between these sources and the text of the report could not be resolved.

報告書<sup>13</sup>に記載された図からとったものであり，一部分について行なわれている集計から得たものもある。これらの出所による資料と報告書の本文との小さな矛盾は解決することができなかった。

**Sinskey (1951-53)** While in Japan, Sinskey examined about 3700 persons,<sup>16</sup> but the majority of these were seen in Hiroshima during a period when impressions were being formed and clinical experience acquired. Under the final programs, 1085 Hiroshima subjects (including 241 who were not in the city ATB),<sup>17</sup> and later 450 Nagasaki subjects, were examined. The results from these studies have never been consistently and exhaustively evaluated. An analysis by Woodbury<sup>17</sup> (see Appendix) gives the only complete enumeration of the group examined in Hiroshima, but only lightly and heavily shielded persons were included in analysis. Ignoring the shielding distinction, results are reconstructed for distance alone in Table 3. The rate of posterior subcapsular changes was found highly dependent on age in persons who were not in Hiroshima ATB, and this led to a restriction, in subsequent analyses, to those aged 15-45 at examination.

Another analysis by Woodbury<sup>18</sup> (see Appendix) was to have considered the effects of sex, age, distance, and early radiation signs on the rate of posterior subcapsular changes in the Hiroshima and Nagasaki samples. Tabulations for the report, which include only persons aged 15-45, are reconstructed in Table 4.

The material published by Sinskey<sup>16</sup> apparently was drawn from both of these earlier reports. In addition, he compared the rates of posterior granular plaques in 165 persons with nearly total epilation and 164 persons not in the cities ATB. These groups were selected from the Hiroshima sample to match on age, sex, and socioeconomic factors. In the former group 139 (84%) had such lenticular changes, and in the latter 16 (10%). In these various reports, the prevalence of lenticular changes has been found related to degree of epilation and type of shielding, but not to sex. Visual acuity apparently was not systematically recorded for tabulation, but Sinskey felt loss was negligible after considering 154 survivors, drawn from his entire series of about 3700, in whom posterior sub-

**Sinskey (1951-53年)** Sinskeyは，滞日中に約3700人を診察したが，<sup>16</sup> その大半は，広島において考え方をまとめ臨床経験を積んでいた期間に行なわれたものである。最終的研究計画においては，広島で1085名(原爆時市内にいなかった241名を含む)を診察し，<sup>17</sup> その後，長崎で450名を診察した。これらの調査結果については一貫した徹底した評価は行なわれていない。広島で診察した群に関する唯一の完全な集計はWoodburyの解析<sup>17</sup>(付録参照)にあるだけであるが，解析には軽遮蔽と重遮蔽の例のみが対象とされた。遮蔽による区分は一応無視して，距離別にのみ結果を再現すれば表3のようになる。水晶体後囊下変化の発現率は，原爆時広島にいなかった者では，年齢に左右されることがわかった。このために，その後の解析においては，対象を診察時に15～45歳までの者に制限することになった。

Woodburyによるいまひとつの解析<sup>18</sup>(付録参照)では，広島および長崎の標本における水晶体後囊下変化の発現率に対する性，年齢，距離および初期の放射線症状の影響を考究することになっていた。その報告のために作成された集計は，15-45歳の者のみに関するもので，表4に再現してある。

Sinskeyの発表した資料<sup>16</sup>は，これら初期の報告の双方から採られたものようである。その上，ほとんど完全脱毛のあった165例と原爆時に市内にいなかった164例における水晶体後囊下顆粒状円板状混濁の発現率についても比較を行なった。これらの群は，広島標本から，年齢，性および社会経済的要因が一致するように抽出された。前者の群では139例(84%)，後者では16例(10%)にこの種の水晶体変化があった。これらの報告では，水晶体変化の罹患率は，性とは無関係であるが，脱毛の程度および遮蔽の種類と関係があると認められた。視力は，集計を目的として系統的に記録されなかったようであるが，Sinskeyは，調査対象者全員約3700人の中から，水晶体後囊下変化が検眼鏡で認められる程度の大きさであ

TABLE 3 LIGHTLY AND HEAVILY SHIELDED PERSONS WITH POSTERIOR SUBCAPSULAR POLYCHROMATIC CHANGES BY DISTANCE FROM HYPOCENTER—HIROSHIMA, 1951-53 (WOODBURY<sup>17</sup>)

表3 軽遮蔽および重遮蔽群における水晶体後囊下多色性変化：爆心地からの距離別，広島，1951-53年（Woodbury<sup>17</sup>）

Distance (m) 距離	Examined 被検者数	Posterior subcapsular changes 水晶体後囊下変化例数	%
<800	79	48	60.8
800-999	123	66	53.7
1000-1199	170	94	55.3
1200-1399	84	28	33.3
1400-1599	99	23	23.2
1600-1799	54	2	3.7
1800+	56	0	0.0
Not-in-city 市内にいなかった者	241	20	8.3
Total 計	906	281	

TABLE 4 PERSONS AGED 15 TO 45 YEARS WITH POSTERIOR SUBCAPSULAR POLYCHROMATIC CHANGES BY DISTANCE FROM HYPOCENTER—HIROSHIMA AND NAGASAKI, 1951-53 (WOODBURY<sup>18</sup>)

表4 年齢15歳から45歳までの者における水晶体後囊下多色性変化：爆心地からの距離別 広島・長崎，1951-53年（Woodbury<sup>18</sup>）

Distance (m) 距離	Hiroshima 広島			Nagasaki 長崎		
	Examined 被検者数	Posterior subcapsular changes 水晶体後囊下変化例数	%	Examined 被検者数	Posterior subcapsular changes 水晶体後囊下変化例数	%
<800	81	68	84.0	44	26	59.1
800-999	97	84	86.6	24	20	83.3
1000-1199	101	80	79.2	48	33	68.8
1200-1399	34	18	52.9	55	38	69.1
1400+	47	9	19.1	27	12	44.4
Total 計	360	259		198	129	

capsular changes were large enough to be visible by ophthalmoscope.

In 1953, Kellett reexamined a portion of the Hiroshima survivors reported with positive findings by Sinskey and confirmed the findings in about 75%.<sup>19</sup>

Miller, R.W. (1954) As part of the general examination of 4407 Hiroshima children during 1954, ophthalmoscopic examination was done and uncorrected visual acuities were measured.<sup>20</sup> Miller reported that a few small cataracts, presenting no visual interference, were seen by ophthalmoscope, but neither their numbers nor rates by distance were given. In a group of 337 children 16 to 19 years old who were within 1800 m from the hypocenter ATB, 20.8% had uncorrected acuities of 20/70 or less in the poorer eye, and in 361 children of the same ages beyond 1800 m, 9.1% had such acuities. In younger

った154例の被爆者を抽出して考察した結果，視力減退はきわめて軽度であると考えた。

Sinskeyが陽性所見を認めた広島被爆者の一部について，Kellettは1953年に再診を行ない，約75%にその所見を確認した。<sup>19</sup>

Miller, R. W. (1954年) 1954年には，広島における被爆生存児童4407名に対する一般診察の一部として眼科的検査を行ない，裸眼視力を測定した。<sup>20</sup> Millerは，視力障害を起こさないような小さな白内障が検眼鏡によって少数例認められたと報告したが，距離別の症例数も発生率も示さなかった。原爆時に爆心地から1800 m未満にいた16歳ないし19歳までの少年337名の20.8%は，裸眼視力が20/70またはそれ以下であり，1800 m以上の距離における同じ年齢の少年361名では，9.1%にこのような視力を

age groups differences in the same direction were not so large, and there was no difference between male and female children. Although patients with vision limiting defects detectable with the ophthalmoscope were excluded in the evaluation of visual acuity, astigmatism, myopia, high hyperopia, and amblyopia were not differentiated.

**Hall (1956-57)** Findings for Hiroshima survivors examined from May 1956 to March 1957 have been reported,<sup>21</sup> and a more detailed analysis of these data is given in an ABCC Technical Report.<sup>22</sup> Of an original sample of 1999 unshielded and lightly shielded survivors, 1031 were examined. Processing through the ABCC ophthalmology clinic included a medical history, uncorrected and "pinhole" distant visual acuities, a slitlamp study of eyes before and after mydriasis, and ophthalmoscope examination. Forms provided for the classification of lens findings into those "indicative of radiation effect," including definite opacities, polychrome posterior capsular plaques, polychrome posterior capsular roughening, and excessive unexplained cortical opacities; and nonradiation opacities, including congenital, traumatic, complicated, and senile opacities. This form also provided for the classification of patients as nonexposed, proximal exposed, or distal exposed.

Twenty-two persons were coded as having axial posterior subcapsular opacities, 15 bilaterally and the other 7 in one eye only, and their distribution by age, sex, and distance is given in Table 5.<sup>22</sup> Review by a present investigator (RJM) of original examination records suggested that only 6 of these 22 subjects had axial opacities visible by ophthalmoscope. Another 12 apparently

認めた。それより年少の群においては、同じような差があったがさほど大きくはなく、男女間の差はなかった。視力を障害する欠陥が検眼鏡で認められた患者は、視力の評価からは除外されたけれども、乱視、近視、高度の遠視および弱視の区別は行なわれなかった。

**Hall (1956~57年)** 1956年5月から1957年3月までに行なった広島被爆者の診察所見の報告書が発表され、<sup>21</sup> 同じ資料をさらに詳しく解析したものがABCC業績報告書として発表された。<sup>22</sup> 標本として遮蔽のなかった被爆者および軽遮蔽の被爆者1999名が選択され、そのうち1031名が受診した。ABCCの眼科診察室での検査では、病歴を聴取し、裸眼視力およびピンホールによる中心視力測定、散瞳前と散瞳後細隙灯検査および検眼鏡検査を実施した。水晶体所見については、明確な混濁、多色性後囊平板状混濁、多色性後囊粗雑化および過度の原因不明の皮質混濁などを「放射線影響を示すもの」として、また、先天性混濁、外傷性混濁、併発性混濁および老人性混濁などを非放射線性混濁として分類記録するように書式が作られた。この書式には、患者を非被爆、近距離被爆または遠距離被爆に分類するようになっていた。

22名が軸性後囊下混濁を有するとしてコードされたが、そのうち15名は両眼、残りの7名は片眼のみに混濁を認めた。これら症例の年齢別、性別および距離別分布は表5に示す。<sup>22</sup> 著者 (R. J. M.) がもとの診察記録を再検討した結果、これら22名のうち6名だけが検眼鏡で視認できるような軸性混濁があると思われた。このほかに12名に

TABLE 5 PERSONS WITH AXIAL POSTERIOR OPACITIES BY AGE, SEX, AND DISTANCE FROM HYPOCENTER HIROSHIMA, 1956-57 (HALL, MILLER, NEFZGER<sup>22</sup>)

表5 軸性後部混濁：年齢・性・爆心地からの距離別，広島，1956-57年 (Hall, Miller, Nefzger<sup>22</sup>)

Age at examination 受診時年齢	<1400 m		1400-1799 m		2500+ m	
	Number 例数	%	Number 例数	%	Number 例数	%
<b>Male 男</b>						
<30 yrs	3	6.4	1	1.1	0	0.0
30-49	2	7.4	0	0.0	0	0.0
50+	3	4.7	1	1.5	0	0.0
Total 計	8	5.8	2	1.1	0	0.0
<b>Female 女</b>						
<30	1	1.4	0	0.0	1	1.9
30-49	2	2.5	2	1.9	0	0.0
50+	4	5.4	1	1.1	1	3.0
Total 計	7	3.1	3	1.1	2	1.6

TABLE 6 PERSONS WITH POSTERIOR CAPSULAR AND SUBCAPSULAR CHANGES BY AGE, SEX, AND DISTANCE FROM HYPOCENTER — HIROSHIMA, 1956-57 (HALL, MILLER, NEFZGER<sup>22</sup>)

表6 水晶体後囊および後囊下変化：年齢・性・爆心地からの距離別  
広島，1956—57年(Hall, Miller, Nefzger<sup>22</sup>)

Age at examination 受診時年齢	<1200 m		1200-1399 m		1400-1599 m		1600-1799 m		2500+ m	
	Number 例数	%	Number 例数	%	Number 例数	%	Number 例数	%	Number 例数	%
<b>Male 男</b>										
<30 yrs	15	53.6	9	47.4	11	36.7	14	23.7	7	14.6
30-49	11	64.7	6	60.0	1	14.3	7	50.0	11	55.0
50+	22	66.7	16	51.6	14	60.9	23	53.5	15	60.0
Total 計	48	61.5	31	51.7	26	43.3	44	37.9	33	35.5
<b>Female 女</b>										
<30	18	56.2	16	42.1	10	35.7	10	18.5	7	13.0
30-49	34	65.4	22	78.6	21	50.0	22	36.1	20	52.6
50+	30	69.8	16	51.6	20	50.0	25	53.2	24	72.7
Total 計	82	64.6	54	55.7	51	46.4	57	35.2	51	40.8
<b>Male and Female 男+女</b>										
<30	33	55.0	25	43.9	21	36.2	24	21.2	14	13.7
30-49	45	65.2	28	73.7	22	44.9	29	38.7	31	53.4
50+	52	68.4	32	51.6	34	54.0	48	53.3	39	67.2
Total 計	130	63.4	85	54.1	77	45.3	101	36.3	84	38.5

had a polychromatic sheen, and 2 had senile type non-polychromatic plaques. The two beyond 2500 m from the hypocenter had no evidence of posterior subcapsular opacities on reexamination (by RJM) in 1963.

All other lens opacities were tabulated in two groups: "Excessive unexplained cortical opacities," which were recorded by Hall in 171 cases; and congenital, traumatic, complicated, or senile opacities which were noted in 235 cases. For neither finding was there consistent evidence of a radiation effect.

Because of the small number and some uncertainty about classification, the 22 persons recorded as having axial opacities were combined with those with polychromatic posterior capsular plaque or roughening to obtain a distribution of posterior capsular and subcapsular changes.<sup>22</sup> The result, in Table 6, shows that the percentage of men and women with these posterior capsular and subcapsular changes are not significantly different. For both sexes, there are striking trends in rates with age, especially in the groups beyond 2500 m and 1600-1799 m, and with distance, especially in the youngest age group.

The proportions of persons in distance groups with myopia or visual acuity worse than 20/60 showed no evidence of a radiation effect.

は多色性光彩が認められ、2例には老人性の非多色性の円板状混濁が認められた。爆心地からの距離2500 m以遠の2例には、R. J. M. が1963年に行なった再診察によれば、水晶体後囊下混濁の徴候は認めなかった。

その他の水晶体混濁はすべて2つの群に分類された。すなわち、Hallが171例に認めた「過度の原因不明の皮質性混濁」、および235例に認められた先天性混濁、外傷性混濁、合併性混濁または老人性混濁である。これら両群の所見に対して一貫した放射線影響の形跡は認めなかった。

これら症例数は少なく、分類について不確実な点があったので、水晶体後囊および後囊下変化の分布を求めるために、軸性混濁が認められるこれら22名と、多色性後囊円板状混濁または粗雑化を認める者とを一緒にした。<sup>22</sup> その結果は、表6に示すとおりであるが、水晶体後囊および後囊下変化を有する男女の百分率は有意差を示さない。男女とも、これら変化の発現率に年齢によって顕著な差があり、これは特に2500 m以遠および1600~1799 mの群において著明であり、また距離によっても罹病率に顕著な傾向がみられ、これは特に最若年層群において目立っている。

各距離別における近視または視力が20/60以下の者の比率をみても放射線影響の形跡は認めなかった。



**Hirose (1959-60)** Selecting representative subjects visiting ABCC clinics for general followup examination,<sup>4</sup> Hirose did complete ophthalmologic examinations on 1020 people in Nagasaki, and a nurse trained by Hirose measured accommodation in 954 Hiroshima survivors. Only the data on accommodation have been analyzed,<sup>23</sup> and no evidence of differences by distance groups was found.

## Comment

The work of Cogan et al, of Sinskey, and of Miller was done before the unified program<sup>24</sup> was initiated at ABCC. During this early period, the file of survivors from which samples were drawn was compiled from incomplete censuses in the two cities and was augmented as incidental contacts brought about identification of additional survivors. Thus, it cannot be assumed that their samples were representative of the population of survivors or that Sinskey's samples were drawn from the same source as were earlier ones. The sample for Hall's study was drawn after identification of a fixed sample from census lists was started, but before it was completed.<sup>25</sup> It seems reasonable to conclude that selection was from among survivors first found to satisfy a family registration requirement. If so, the sample may not be representative of the larger group as finally fixed in 1958.

There are suggestions in some of these studies that the ophthalmologic observations were not completely independent of exposure status. Cogan and his group first examined subjects thought to have been within 1000 m and later added groups from greater distances. In Hiroshima, Sinskey apparently reviewed each subject's exposure history, after completing the eye examination, to determine the degree of epilation.

In Sinskey's work, degree of epilation was adopted as an index of radiation, apparently as a means of improving on distance, only because a better index was not available. It was recognized that epilation might instead represent an index of individual sensitivity and thus spuriously correlate with eye changes.<sup>18</sup>

The criteria used by the ophthalmologists previously at ABCC have been mentioned. Kimura and Cogan called 'radiation cataract' only those changes visible with the ophthalmoscope. Sinskey pointed out that many patients who were called normal during the 1949-50 examinations had polychromatic granular 'plaques' at the 1951-53 examination. Although he organized a finely graduated classification system, ultimately changes were grouped into two categories: plaques visible with ophthalmoscope; and plaques visible only with slitlamp. In many instances

広瀬 (1959~60年) 一般経過観察診察<sup>4</sup>のために ABCC を訪れる者の中から、広瀬は長崎において代表例1020名を選んで完全な眼科的検査を行ない、広島においては、広瀬が訓練した看護婦が954名について眼の調節力を測定した。眼の調節力に関する資料のみに対して解析が行なわれたが、<sup>23</sup> 距離群によって差がある形跡は認めなかった。

## 考察

Cogan ら、Sinskey、および Miller の調査は ABCC において統合研究計画<sup>24</sup> が開始される前に行なわれたものである。この最初の時期には、標本の抽出源とした被爆者の名簿は、両市において行なわれた不完全な人口調査から作成され、偶然の連絡によって被爆者が伴明するたびに追加が行なわれたものである。したがって、これら標本は、被爆者人口を代表するとはできないし、また、Sinskey の標本が以前の標本と同じ出所から抽出されたとはできない。Hall の調査標本が抽出された時には、人口調査名簿から固定標本の確認が開始されたばかりで、まだ完了してなかった。<sup>25</sup> 最初に本籍条件を満たすと認められた被爆者から抽出を行なったと考えるのが妥当のように思われる。そうであれば、その標本は、1958年に最終的に固定されたより大規模な群を代表するものではないかもしれない。

これら調査の中には、眼科的観察が被爆状態と完全に切り離して行なわれなかったものもあるように思われる。Cogan とその調査グループは、まず、1000 m 未満にいたと思われる者に対して診察を行ない、のちにそれ以上の距離群も対象に追加した。Sinskey は、広島において脱毛の程度を決定するために、眼科検査の完了後に各対象者の被爆歴を検討したようである。

Sinskey の調査では、被爆距離よりもすぐれた指標を求めて脱毛の程度を放射線線量の指標として採用したが、これはほかにもっとよい指標がなかったからにすぎない。しかし、脱毛は、それぞれの対象者の感受性の指標であるかもしれないので、眼の変化とはみせかけの相関を示すこともありうる事が指摘された。<sup>18</sup>

以前に ABCC において眼科医が用いた基準についてすでに述べたが、Kimura と Cogan は、検眼鏡で認められることができるような変化のみを「放射線白内障」と呼んだ。Sinskey は、1949~50年の診察では正常といわれた多くの者に、1951~53年の診察では多色性顆粒「円板状混濁」を認めたことを指摘した。かれは細かい分類方式を設けたけれども、結局、目の変化を2つの部類に分けた。すなわち、検眼鏡によって認めることのできる円板状混濁、および細隙灯のみによって認めることのできる円板状混濁である。多くの場合、これらの変化はただ単に



the changes were referred to only as 'plaques' with no modifying phrase, and the important distinction in the clinical appearance of these lesions was lost. There seems little question now that the procedures of Cogan and Sinskey do not produce the same result.

Hall utilized the criteria of Ham<sup>26</sup> for obvious radiation cataract. That his rates of axial posterior opacities (Table 5) are higher than those reported by Kimura (Table 1) may be due to sampling errors in either or both studies, to differences in the age composition of the samples, or to an increase in the prevalence of such changes during the 7 or 8 years between the two studies. However, the evidence strongly suggests that the higher rates are due to differences in examination procedures and possibly in criteria for the selection and classification of findings. The six persons from Hall's study thought to have true axial opacities of the eye associated with radiation and visible by ophthalmoscope were about 1000 m, 1005 m, 1015 m, 1020 m, 1115 m, and 1130 m from the hypocenter ATB. Based on these six patients, the prevalence of such opacities is about 3% in survivors at 1000 to 1199 m, a value more nearly comparable to that of Cogan.

Some authors<sup>27</sup> have denied the clinical significance of 'polychromatic sheen' in irradiated individuals because this finding is at times seen in nonirradiated persons, and it is recognized that that 'plaque' is sometimes not distinguishable from the posterior subcapsular opacities seen in older patients or in those with ocular disease, eg, retinitis pigmentosa, degenerative myopia, and uveitis. However, both clinical and experimental observations point to the association of posterior subcapsular lens changes with exposure to ionizing radiation. Almost uniformly these changes have been referred to as 'plaques,' a term which connotes solidity or opacity. In reality, only a small proportion of examined patients have plaques in this sense. However, many do have specific iridescent changes in the axial posterior subcapsular area of the lens which the present authors prefer to call polychromatic sheen.

The higher rate of polychromatic changes reported by Sinskey than found by Hall (Table 6) may have resulted because Hiroshima survivors with nearly total epilation received higher doses than did those in the distance zones employed in Hall's study, or because degree of epilation is an index of general sensitivity to radiation. Sinskey<sup>16</sup> reported data which is consistent with either interpretation: within each of several Nagasaki distance groups, the rate of posterior subcapsular changes was higher among survivors with epilation than those without epilation and comparable shielding. In other respects

「円板状混濁」とのみ記録され、なんら修飾の語句は用いられなかったので、これら病変の臨床的外観における重要な識別点は失われた。Coganの方法とSinskeyの方法とでは、同じ結果は得られないということは今や疑う余地はほとんどないようである。

Hallは、明確な放射線性白内障に対してHam<sup>26</sup>の基準を利用した。かれの軸性後部混濁の発現率(表5)が、Kimuraの報告したもの(表1)よりも高い原因は、これら調査のいずれかまたは双方における標本抽出の誤差によるか、両標本の年齢構成における相違によるか、または両調査の間の7年ないし8年間にこのような変化の発現率が増加したことにあるかもしれない。しかしながら、この発現率の高かった理由は、診察方法およびおそらく所見の選び方および分類に対する基準の相違によるということ強く示唆する証拠がある。Hallの調査において、放射線に関連していると思われた真の軸性混濁が、検眼鏡によって視認できた6名は、それぞれ原爆時に爆心地から約1000 m, 1005 m, 1015 m, 1020 m, 1115 m, および1130 mにいた。これら6名の患者に基づいて考えると、このような混濁の罹患率は、1000 mから1199 mにおける被爆者で約3%になり、これはCoganの結果にむしろ近い数値である。

被爆者における多色性光彩の臨床的意義を否定する学者もいる。<sup>27</sup>なぜならば、この所見は非被爆者においてもときどきみられるからである。そして、「円板状混濁」は、老年層の患者または眼疾患、たとえば色素性網膜炎、変性近視および葡萄膜炎を有する者にみられる水晶体後囊下混濁と区別できないことがときどきあると認められている。しかしながら、臨床的および実験的観察は、水晶体後囊下変化と電離放射線被曝との関連性があることを指摘している。これらの変化は、ほとんど一様に「円板状混濁」と称せられているが、これは硬固な様相または不透明化を意味することばである。実際には、この意味の円板状混濁を有するのは、わずかに少部分の被検者だけである。しかしながら、多くの者は、水晶体の軸性後囊部に特定の暈色変化を有しており、これを、本著者らは多色性光彩と呼びたいと思う。

Sinskeyが報告した多色性変化の罹患率がHallよりも高い(表6)原因は、広島においてほとんど完全な脱毛を呈した被爆者が、Hallの調査で用いた距離区分における被爆者よりも多量の放射線を受けたためか、または脱毛の程度が放射線に対する一般的感受性の指標であるためかもしれない。Sinskey<sup>16</sup>は、これらいずれの解釈にも一致するような資料を発表した。すなわち、長崎における各距離群のそれぞれにおいて、脱毛を有する被爆者における水晶体後囊下変化の発現率は同等な遮蔽で、脱毛のない被爆者よりも高かった。その他の点では、Sinskey

the results of Sinskey and Hall generally correspond. Polychromatic changes were more frequent at older ages, especially among persons thought to have received very small radiation doses; were approximately equally frequent in males and females; and were decreasingly frequent with increasing distance from the hypocenter.

There seems little question regarding a radiation effect in those cases in which grouped vacuoles and small punctate opacities are seen in the posterior pole, or in which the findings are more striking, eg, axial plaque in the posterior pole. There is a problem in deciding whether minimal polychromatic changes are a significant part of the radiation effect.

## CONCLUSIONS

Although sampling and clinical methodology in previous ABCC studies may be criticized, it remains that all investigators reported an increase in changes in the axial posterior subcapsular region of the lens in persons exposed close to the hypocenter. From not only the observations of the ophthalmologists at ABCC,<sup>28-31</sup> but also experimental and clinical<sup>26,32,33</sup> data of other groups, the following general statements regarding "radiation cataracts" are possible. The lens is sensitive to ionizing radiation, but the changes fall into three categories:

1 Severe effects of radiation include marked lens changes that are recognized early if the patient does not succumb to the effects of radiation. This group includes a few with complete opacities, and more specifically those with a large posterior subcapsular plaque, "doughnut," or bivalve opacity, with resultant diminution of central visual acuity.

2 Moderate effects of radiation may produce a small iridescent posterior subcapsular granular opacity which is visible as a tiny axial dot with the ophthalmoscope. There is no significant reduction in visual acuity.

3 Minimal radiation effects consist of a polychromatic sheen which seems to be in the plane of the posterior capsule of the lens and can be seen only with the slitlamp biomicroscope.

Of all those examined in Hiroshima and Nagasaki only 20 are in category 1. The majority of these were described by Kimura (severe and moderate), and reexamined by Sinskey. Hall did not examine any of this group.

の結果もHallの結果もだいたいにおいて同じである。多色性変化の頻度は、老齢において、特に非常に少量の放射線を受けたと思われる者において比較的高く、男女の間ではほぼ等しく、爆心地からの距離が増すにつれて減少した。

後極部に空胞の集合および小さな点状混濁を認める者またはその所見がいっそう著しい者、たとえば後極部に軸性円板状混濁を認める者における放射線影響については問題はほとんどないようである。ごく軽微の多色性変化が放射線影響の有意な一部分をなすかどうかを決定する場合に問題が起こる。

## 結 論

ABCCの以前の調査における標本抽出および臨床検査方法は批判されるかもしれないが、これら調査はすべて一様に、爆心地の近くで被爆した者において水晶体の軸性後囊下部の変化が増加していることを報告した。ABCCにおける眼科医の観察<sup>28-31</sup>のみならず、その他の調査グループの実験的および臨床的<sup>26,32,33</sup>資料を考慮して、「放射線白内障」に関して一般的に次のように述べることができる。水晶体は電離放射線に対して敏感であり、その変化は次の3つの部類に分けられる。

1 強度の放射線影響としては、患者が放射線の影響による死亡をまぬがれた場合、顕著な水晶体変化が初期に認められる。この群には、完全な混濁のある患者が少数あり、もっと特異的な例では、大きな水晶体後囊下円板状混濁、「ドーナツ型」混濁または二弁混濁を有し、その結果、中心視力の減退を認める。

2 中等度の放射線の影響としては、小さな量色の水晶体後囊下顆粒状混濁が発生することがある。これは検眼鏡によって軸部の小さな点として認められる。視力には有意な減退はない。

3 ごく軽微の放射線影響としては、多色性光彩がみられるが、これは水晶体後囊面にあるようであり、細隙灯生体顕微鏡によってのみ認めることができる。

広島および長崎における被検者全員のうちで、20名だけが第1の部類にはいる。これらの症例の大部分についてはKimuraが記録し(強度および中等度)、Sinskeyが再診察を行なった。Hallはこの群のいずれも診察を行っていない。

Moderate changes of the second type occur relatively infrequently in the total survivors within 2000 m, but their prevalence may increase to about 15% among the small group of survivors within 500 m. Probably five or six were described by Hall, and Kimura listed these as having slight and very slight changes.

The absence of other ocular pathology and a history of exposure to high doses of ionizing radiation in a subject with category 1 or 2 changes would justify the diagnosis of "radiation cataract." However, it is important to note that only those with category 1 lens changes have the functional integrity of the eye impaired.

At present, the majority with positive findings appear to be in category 3. Although these lens changes were not noted by Cogan and Kimura, they were described so frequently by Sinskey and Hall that their prevalence may exceed 60% among survivors within 800 m, and in association with nearly total epilation may exceed 80%. This may be for one of two reasons: either they did not have the changes at the time of their initial examination, or the changes were present but their significance was not appreciated. Certainly with improvements in instrumentation and advancements in knowledge, these minimal changes have received more attention. It should be reemphasized that these slight changes are seen in people of any age with no history of exposure to radiation. The actual amount of radiation required to produce a given effect seems to be dependent on age.

Except from Miller's study, there is no evidence of an appreciable diminution in visual acuity among exposed survivors, or in association with changes of the posterior subcapsular region of the lens.

## SUMMARY

In the eye examinations of Japanese survivors of the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki, only one finding seems consistently present in all examinations throughout the years. This is the presence of posterior subcapsular changes in the lens. These changes range from those barely discernible with the slitlamp biomicroscope, to a heavy posterior subcapsular plaque and in one or two instances to complete opacification of the lens. Except for the very few with marked opacity of the lens, there seems to be little alteration in visual acuity. No other eye findings attributable to radiation have been found.

第2の部類の中等度の変化は、2000 m未滿の被爆者全体を通じて比較的まれにしか発生しないが、500 m未滿で被爆した少数例においてはその罹患率は約15%に増加しているかもしれない。Hallは5例または6例を報告したが、Kimuraはこれらの患者は軽度の変化およびきわめて軽度の変化を有すると記載している。

第1の部類または第2の部類の変化を有する者が、他に眼の疾患がなく、多量の電離放射線にさらされたことがあれば、「放射線白内障」の診断を下すことは妥当であると思われる。しかしながら、第1の部類の水晶体変化を有する者のみが、眼の機能障害を受けていることに留意する必要がある。

現在、異常所見のある患者の大部分は第3の部類であると思われる。これらの水晶体変化については、CoganおよびKimuraは述べていないが、SinskeyおよびHallはこれらの変化を高率に認めているので、その罹患率は800 m未滿の被爆者においては60%、そしてほとんど完全な脱毛を呈した者においては80%を越えるかもしれない。これには次の2つの理由のうち1つが考えられるかもしれない。すなわち、患者は初診の時にはそれらの変化を有しなかったか、またはこれら変化があったが、有意とは考えられなかったかである。機械の改良および知識の増進とともに、これらごく軽微の変化も今まで以上に注目されるようになったことは確かである。これらの軽度の変化は、放射線照射を受けていない各年齢の者にもみられるということを重ねて強調すべきである。一定の影響を生ずるに要する放射線の実際の線量は、年齢によって左右されるようである。

Millerの調査を除いては、被爆者における視力に認むべき減退があるという証拠もなく、または水晶体後囊下変化のために視力が減退するという証拠もない。

## 要約

過去数年間にわたって、広島および長崎における日本人被爆者に対して行なわれたすべての眼科的調査で一貫してみられる所見は1つだけである。すなわち、水晶体後囊下変化である。この変化の程度の範囲は、細隙灯生体顕微鏡でかろうじて認めることのできるものから、強度の水晶体後囊下円板状混濁に至るまであり、そして1、2例では水晶体の完全な混濁を示すものまでである。水晶体の著しい混濁を認めるきわめて少数の例を除いては、視力にはほとんど変化はないようである。その他には、放射線に起因する眼の所見は認められていない。



## APPENDIX

### 付 録

#### ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF SHIELDING AND DISTANCE FACTORS TO RADIATION CATARACTS, HIROSHIMA

遮蔽および被爆距離と放射線白内障  
との関係の解析, 広島

Lowell A. Woodbury, Ph.D. (30 June 1953)

#### INTRODUCTION

During 1952 Dr. Robert M. Sinskey examined a large number of survivors of the Hiroshima atomic bomb for radiation cataracts and lenticular changes. The methods of examination used, a description of the cataracts, and a preliminary analysis of the results have been presented elsewhere by Dr. Sinskey.\* The following report presents the results of an analysis of the relation of shielding and distance factors to the incidence of radiation cataracts and lenticular changes.

#### MATERIALS AND METHODS

**Sample** The original aim of the Sinskey study was to compare the occurrence of radiation cataracts in survivors who sustained different radiation doses. Since the exact dosages were not ascertainable, it was decided to compare groups of people having varying degrees of radiation symptoms on the basis that the severity of symptoms is related to the amount of radiation received, although variation in individual sensitivity makes it far from a perfect relation. Epilation was chosen as the most reliable symptom, and a sample of patients was selected by varying degrees of epilation. A large body of totally epilated people of a wide age range who had already been examined for cataracts was included. Accordingly, a sample of people with various degrees of epilation was drawn by a stratified sampling procedure so as to be proportional to this totally epilated group by age and sex. Except for the provision that the age-sex groups for the various degrees of epilation must balance, the sample was drawn at random. The net result of this procedure was a sample with the comparable cells having proportionate frequencies and thus allowing a straightforward analysis. Unfortunately, the final sample available for examination departed seriously from proportionality, rendering the analysis more complicated. Table 7 gives the composition by age, sex, and degree of epilation of the sample finally examined.

#### 緒 言

1952年に、Robert M. Sinskey は多数の広島原爆被爆者について放射線白内障および水晶体変化の検査を行なった。用いられた検査方法、白内障の記述および検査成績の予備的解析は、Sinskey によって別に報告されている。\* 本報告には遮蔽および被爆距離と放射線白内障および水晶体変化の発生率との関係の解析成績が示してある。

#### 材料および方法

**標本** Sinskey による調査の本来の目的は、いろいろの放射線量を受けた被爆者における放射線白内障の発生を比較するにあった。正確な線量は確定できないので、症状の重篤度が、受けた放射線量と関係があるという考えをもとに、いろいろ異なる程度の放射線症状を有する人人を群別にして比較することにした。しかし、感受性に個人差があるので到底完全な関係とはいえない。最も信頼できる症状として脱毛を選択した。そして脱毛の程度により、対象標本を選出した。多くの完全に脱毛した人ですでに白内障検査を受けた広範にわたる年齢層の人を含めた。したがって、この完全脱毛群と年齢・性別に釣り合いのとれるように、層化抽出法により、脱毛の程度の異なる人々の標本を抽出した。脱毛の程度の異なる群の抽出にあたり、年齢・性は釣り合ったものでなければならぬという規定を除いては、無作為に選出した。この方法の結果として、対応する項目に釣り合いのとれた頻度が示され、それにより、簡単な解析で処理できる。しかし、あいにく検査のための最終的標本は著しく釣り合いのものとなり、解析をいっそう複雑にした。表7は、最終的に検査した標本の年齢、性および脱毛の程度別構成を示す。

\*Sinskey, Robert M. The Status of Lenticular Opacities Caused by Atomic Radiation, 1953, submitted for publication (Since published-Amer. J. Ophthal. 39: 285-293, 1955).

原爆放射線による水晶体混濁の状態, 1953年, 出版のため提出(編集者注: その後 Amer. J. Ophthal. 39: 285-93, 1955年に発表)

TABLE 7 COMPOSITION OF SAMPLE USED IN CATARACT STUDIES—1953

表7 白内障調査に用いた標本の構成—1953年

Age at Time of Bomb 原爆時の年齢	Not Exposed 非被爆者			Zero Epilation 無脱毛			Partial Epilation 部分的脱毛			Total Epilation 完全脱毛			Total 合計		
	Male 男	Female 女	Total 計	Male 男	Female 女	Total 計	Male 男	Female 女	Total 計	Male 男	Female 女	Total 計	Male 男	Female 女	Total 計
0-4	19	27	46	18	11	29	4	3	7	8	12	20	49	53	102
5-9	12	32	44	32	45	77	18	18	36	12	5	17	74	100	174
10-14	6	13	19	19	21	40	13	17	30	5	25	30	43	76	119
15-19	9	22	31	8	41	49	20	43	63	10	9	19	47	115	162
20-29	8	28	36	12	33	45	14	54	68	15	34	49	49	149	198
30-39	10	18	28	11	15	26	21	37	58	10	14	24	52	84	136
40-49	10	13	23	25	9	34	21	35	56	6	13	19	62	70	132
50-59	7	3	10	12	5	17	6	13	19	1	2	3	26	23	49
60+	3	1	4	4	1	5	-	2	2	1	1	2	8	5	13
Total 総計	84	157	241	141	181	322	117	222	339	68	115	183	410	675	1085

**Shielding Information** Information on shielding at the time of the atomic bomb explosion was obtained by personal interview with the patient by trained investigators and by inspection and measurement of the building or object which shielded the patient if it was still in existence. When the house or object no longer existed the problem became more difficult, but in certain circumstances a reasonably accurate appraisal could be made from prebombing aerial photographs and the fact that most Japanese residences have a standard construction. The sketches and measurements of the buildings were evaluated as to shielding effectiveness. Since no accurate information is available as to the spectrum and intensity of the gamma rays or the neutron flux given off by the bomb, no attempt was made to compute the actual dosage received by the various patients. Instead qualitative groupings were made of the various shielding categories in such a manner as to give as homogeneous a group as possible. It was not possible to obtain detailed acceptable shielding information on all people because of uncertainties as to location at the time of the bombing or destruction of shielding. The major qualitative groupings employed were:

*No shielding* Outdoors and not shielded from the blast by any intervening object. It should be noted here that no survivors were encountered in this study who fulfilled this criterion.

*Japanese house* In or behind a Japanese house at the time of the bombing and not within range of windows or doors. This implies a shielding of not less than 5 cm. of mud wall and usually more. These walls consist of a bamboo lattice-work over which is plastered a special clay mud.

**遮蔽資料** 被爆時の遮蔽に関する資料は、熟練した調査員が対象者と直接面接して入手し、また、対象者を遮蔽した建築物ならびに物体がまだ存在している場合は、それを検分・測定して入手した。その家屋または物体がすでになくなっていた場合は、問題はいっそう困難になったが、ある場合は、原爆投下以前の航空写真を使用すること、および日本家屋の大部分が規格にはまった建造物であるという事実から、かなり正確な評価を行なうことができた。建築物の見取り図および測定をもとに、遮蔽の有効性について評価を行なった。原爆から放出されたガンマ線および中性子線のスペクトルおよび強さに関する正確な資料は入手できないので、個々の患者が受けた実際の線量の計算は試みなかった。その代わりに、できるだけ均質な群とするために、個々の遮蔽分類の質的組み分けを行なった。原爆時の場所の不確実性または遮蔽物の破壊等により、調査対象者全員に関する詳細で満足すべき遮蔽資料を入手することはできなかった。主要な質的組み分けは下記のとおりである。

I 無遮蔽 屋外で被爆し、いかなる物体によっても爆発から遮蔽されなかった者。本調査において、この判定基準を満たす被爆者はなかった。

II 日本家屋 原爆時に日本家屋の中または後方において、窓または出入口から離れていた者の場合は、少なくとも5 cm、通常それ以上の厚さの壁により遮蔽されていたことを意味する。この場合の壁は、竹の格子状骨組みに特殊の粘土を塗ったものである。



Because of this bamboo-lattice-mud construction, the wall is not homogeneous as a shield. X-ray photographs taken at 62 kv of a section of such a wall show a lattice type picture. Comparison with an aluminum step wedge on the same film indicates that the effective absorption of the wall is equivalent to about 33 mm. of aluminum in the densest portion and to about 15 mm. of aluminum in the lightest portion.

*Heavy Shielding* In or behind a reinforced concrete building or brick building and not in range of windows or doors. This group is somewhat heterogeneous, but it was necessary to use this somewhat coarse classification in order to obtain enough subjects to allow analysis. In general, heavy shielding implies a minimum shielding of 8 inches of concrete or an equivalent thickness of brick. Only two or three individuals in this group were in brick houses; the rest were in the various concrete buildings that survived the blast.

*Wooden building* In or behind a wooden building and not in range of windows or doors.

*Sheet metal building* In or behind a sheet metal building and not in range of windows or doors.

*Unknown shielding.*

*Miscellaneous* People not falling into any of the above categories.

Only light shielding (Japanese house) and heavy shielding are considered for the purposes of this study. The number of people in the other categories is too small to render analysis practicable.

**Epilation Categories** For the purpose of analysis epilation was classified by degree as follows:

*Total epilation* Loss of 90%-100% of the scalp hair following exposure to the bomb.

*Partial epilation* Loss of between 1% and 89% of the scalp hair following exposure to the bomb.

*Zero epilation* No loss of scalp hair following exposure to the bomb.

These categories have certain implications as to dosage received that should be considered; a person who was totally epilated received a certain minimum dose of radiation; that is, the dose necessary to cause total epilation. However, the person may have received more. An upper limit, the lethal dose, exists, so a totally epilated person will have received a dosage between the totally epilating and

壁は竹格子と粘土でできているので、遮蔽物としては均質ではない。このような壁の一部を62 kvの電圧でレントゲン撮影した場合格子状の像が認められる。同時に撮影したアルミニウム製の階段状楔と比較すると、壁の有効吸収線量は、最も濃密な部分で厚さ約33mm、のアルミニウム板に等しく、最も薄い部分で厚さ約15mmのそれに等しいことがわかった。

Ⅲ 重遮蔽 鉄筋コンクリート建物またはれんが造りの建物の中またはその後方において、窓または出入口から離れていた者。この群はやや異質的であるが、解析を行なうためにじゅうぶんな対象者を得るために、このややあい分類を用いる必要があった。一般に、重遮蔽とは少なくとも厚さ8インチのコンクリートまたはこれに相当するれんがによる遮蔽を意味する。この群のうち2、3人だけが、れんが造りの家屋内にいた。その他の者は、爆風に耐えたコンクリート建物の中にいた。

Ⅳ 木造建築物 木造建築物の中または後方において窓または出入口から離れていた者。

Ⅴ トタン板建築物 トタン板建築物の中またはその後方において、窓または出入口から離れていた者。

Ⅵ 遮蔽物不明

Ⅶ その他 上記のいずれにも該当しない者。

本調査では軽遮蔽物（日本家屋）および重遮蔽物だけを考える。その他の分類に属する者の数は少なすぎるので、解析は実施できない。

**脱毛分類** 解析を行なうために、下記のとおり脱毛を程度別に分類した。

完全脱毛：被爆後頭髪の90%–100%が脱落したものの。

部分的脱毛：被爆後頭髪の1%–89%が脱落したものの。

脱毛なし：被爆後頭髪がまったく脱落しなかったものの。

これらの分類は、被曝線量について考慮を要する特定の意味を有するものである。すなわち、完全に脱毛した者は、ある最小限度の放射線量を受けた。いかえれば、完全脱毛を生ぜしめるに必要な線量を受けた。しかし、これらの者は、それ以上の線量を受けたかもしれない。被曝線量には上限界すなわち致死線量が存在するので、ある完全脱毛者は、完全脱毛に必要な線量と致死線量と

the lethal. For whole body radiation this is probably a comparatively narrow range, and the presence of total epilation should, for the Hiroshima survivors at least, be a reasonably good indicator of dose received. Some interfering factors exist, however, such as the tendency for the older people to show less epilation than the younger group.

Similar considerations apply to the partially epilated group. Here the dose received is between the minimum epilating dose and the maximum epilating dose. There are some indications that this may cover a moderate range so that the dose is not specified as accurately as with the totally epilated group.

For people who had no epilation the dose varied between zero and the minimal epilating dosage. This is a considerable range, and the absence of epilation is only an indication that the dosage was below a certain limit.

**Cataract Categories** Dr. Sinskey, in recording the results of his examination of the patients, classified the cataracts under two headings: radiation cataracts *per se* and polychromatic granular plaques. These latter, which will be designated as PGP, have been discussed in detail in the report previously mentioned. In this report the two categories have been treated separately.

## RESULTS

**Polychromatic Granular Plaques (PGP) Sex difference** No difference in the incidence of PGP could be demonstrated between the sexes, so the data from both sexes were combined for further analysis.

**Age difference** A total sample of 241 nonexposed residents of Hiroshima were examined, and 20 persons (8.3%) with PGP found. This figure cannot be used as an average value, as there is a significant change with age. Table 8 shows the age versus per cent PGP relation. As can be readily seen, there is an increase in the incidence of this type of cataract with age.

A similar analysis on the exposed group is not so easily obtained. When account has been taken of the factors of epilation, shielding, distance, and age, the numbers in each category are so small as to make proper analysis difficult. In two groups, partially epilated people in Japanese house shielding between 1000 and 1099 meters and a similar group of totally epilated people, sufficient numbers existed to allow an analysis of the effect of age on PGP incidence. Analysis of the age differences within

の間の線量を受けたことになると考えられる。全身照射として考えた場合は、これはおそらく比較的狭い範囲と思われるので、少なくとも広島に被爆者についていえば、完全脱毛があったことは、受けた線量をかなりよく示すと思われる。しかし、年長者には若年群ほど脱毛がみられない傾向があることなどの干渉因子が若干存在する。

部分的脱毛群にも同様の考え方が適用できる。この群では、被曝線量は脱毛に必要な最小線量と最大線量との間にある。この線量がある程度の範囲にわたるとされる徴候が若干あるので、線量は完全脱毛群の場合のように正確には明記できない。

脱毛のなかった者については、受けた線量は0から脱毛に必要な最小限の線量の間であった。これは、かなりの範囲なので、脱毛の欠如は、線量がある一定の範囲以下であったことを示すにすぎない。

**白内障分類** 患者診察の結果を記録するのに、Sinskeyは白内障を2つに分類した。すなわち放射線白内障そのものおよび多色性円板状混濁である。後者(以下PGPと称する)については、前述の報告書に詳細に論じてある。本報告書では、この2つを別個に取り扱った。

## 結果

**多色性円板状混濁 (PGP) - 性別差** 男女間には、PGP発現率の差は認められなかったため、さらに解析を行なうために、男女から得た資料を統合した。

**年齢別差** 広島に非被爆者241人の標本について診察を行なったところ、PGPのある者20人(8.3%)を発見した。しかし、年齢とともに有意な変化が現われるので、この数字は平均値として用いることはできない。表8はPGPの発現率と年齢との関係を示す。

被爆群について同様の解析は、さほど容易には実施できない。脱毛、遮蔽、被曝距離および年齢の要因を考えた場合は、各分類の数はたいへん少ないので、妥当な解析は困難となる。2つの群すなわち1000~1099mの距離で日本家屋により遮蔽された部分的脱毛者および同じ状態のもとにあった完全脱毛者の群においては、PGP発現率に及ぼす年齢の影響の解析を行なうにじゅうぶんな数

TABLE 8 RELATION OF INCIDENCE OF POLYCHROMATIC GRANULAR PLAQUES (PGP) TO AGE IN NONEXPOSED INDIVIDUALS

表8 非被爆者における多色性円板状混濁 (PGP) 発現率と年齢との関係

Age at Examination 診察時の年齢	Subjects 対象者数	With PGP PGPのある者	
		Number 例数	%
0-9	31	0	0.0
10-19	76	3	3.9
20-29	45	1	2.2
30-39	35	5	14.3
40-49	27	4	14.8
50-59	17	2	11.8
60+	10	5	50
Total 合計	241	20	8.3

these two groups failed to show any significant change with age. In view of the significant change with age in the nonexposed people, this is puzzling. A possible explanation is that the moderate change with age observed in the controls is obscured by the much higher incidence of PGP in the irradiated people.

Because of the failure to demonstrate age changes in the PGP incidence in the exposed group, it was decided to combine the age groups for the purpose of further analysis. Some objection may be raised to this procedure, but without it the number of patients in each category becomes too small.

**Effects of Shielding, Distance, and Epilation on Incidence of PGP** Considerations of sampling procedure and the possible dosage-epilation relations require that the analysis be done by epilation groups. The dosimetric possibilities of the PGP were investigated by determining the relation of distance to PGP incidence for conditions of relatively constant shielding. Tables 9 and 10 present the basic data for PGP occurrence for the two types of shielding considered for each degree of epilation.

**Zero epilation** Figure 1 shows the percentage of people having PGP as a function of distance for both heavy and light shielding. The plotted points form reasonably straight lines when the percentages are plotted on probability paper against the logarithm of the distance. Probit lines were fitted to the data by the standard methods of probit analysis, and the slopes of lines for the two types of shielding were found not to differ significantly ( $P=0.3-0.5$ ) from parallelism. Accordingly lines of common slope were fitted to the data, and the distance at which 50% of the people ( $ED_{50}$ ) had PGP was calculated for each type of shielding. The common slope had a value of a decrease of 4.7 probit units

があった。これら2群における年齢差の解析では、年齢による有意な変化は認められなかった。非被爆者には年齢による有意な変化が認められたので、この結果には困惑した。これは被爆者におけるPGPの発現率が高いため、対照者に観察された年齢による中等度の変化が明確に認められないことによるのかもしれない。

被爆群におけるPGP発現率の年齢による変化を証明できなかったため、さらに解析を行なうため、年齢群を統合することにした。この方法に対しては異論があるかもしれないが、このような方法を講じないと、各分類における患者数はあまりに少なくなる。

PGP発現率に及ぼす遮蔽、被爆距離および脱毛の影響 標本抽出法および線量と脱毛との関係を考えるにあたり、脱毛群別に解析を行なう必要がある。PGPと線量との関係を調べるのに、比較的一定した遮蔽状況について、距離とPGP発現率との関係を調査した。表9および表10は2種の遮蔽におけるPGPの発生と脱毛の程度に関する基礎的資料を示す。

**無脱毛** 図1は、重遮蔽ならびに軽遮蔽に対する被爆距離の関数としてPGPのある者の百分率を示す。百分率を確率紙にプロットし、被爆距離を対数で示すと、プロットした各点はほぼ直線となる。プロビット線は、プロビット解析の標準的方法により、この資料に当てはめた。2種の遮蔽に対する線の勾配は、平行状態から有意な差はなかった( $P=0.3-0.5$ )。したがって、傾斜線をこの資料に当てはめ、50%の者( $ED_{50}$ )にPGPが発生した距離を各種の遮蔽について計算した。傾斜線は、距離が



TABLE 9 OCCURRENCE OF POLYCHROMATIC GRANULAR PLAQUES (PGP) BY DISTANCE AND EPILATION LIGHT (INCLUDING MINIMAL) SHIELDING\*

表9 多色性円板状混濁 (PGP) の発生: 被爆距離・脱毛の程度別 — 軽遮蔽\* (きわめて軽度の遮蔽を含む)

Distance 距離 m	Zero Epilation 無脱毛			Partial Epilation 部分的脱毛			Total Epilation 完全脱毛			Total Subjects 対象者総数		
	Subjects 対象者数	PGP	%	Subjects 対象者数	PGP	%	Subjects 対象者数	PGP	%	Subjects 対象者数	PGP	%
400-599	-	-	-	1	1	100	1	1	100	2	2	100
600-799	3	1	33	2	2	100	11	7	64	16	10	62
800-999	7	0	0	36	21	58	51	37	72	94	58	62
1000-1199	17	6	35	81	42	52	50	39	78	148	87	59
1200-1399	27	10	37	39	16	41	5	0	0	71	26	37
1400-1599	61	9	15	22	8	36	1	0	0	84	17	20
1600-1799	41	2	5	12	0	0	-	-	-	53	2	4
1800-1999	34	3	9	7	3	43	-	-	-	41	6	15
2000+	10	0	0	1	0	0	-	-	-	11	0	0

\*Light shielding is defined as not less than 5 cm of mud wall. In a few instances people in wooden houses were included in this category.  
軽遮蔽とは、土壁の厚さが少なくとも5 cm以上のものである。木造家屋内にいた者も、少数例この区分に含めた。

TABLE 10 OCCURRENCE OF POLYCHROMATIC GRANULAR PLAQUES (PGP) BY DISTANCE AND EPILATION HEAVY SHIELDING\*

表10 多色性円板状混濁 (PGP) の発生: 被爆距離・脱毛の程度別 — 重遮蔽\*

Distance 距離 m	Zero Epilation 無脱毛			Partial Epilation 部分的脱毛			Total Epilation 完全脱毛			Total Subjects 対象者総数		
	Subjects 対象者数	PGP	%	Subjects 対象者数	PGP	%	Subjects 対象者数	PGP	%	Subjects 対象者数	PGP	%
400-599	5	3	60	6	6	100	3	1	33	14	10	71
600-799	19	8	42	24	15	62	4	3	75	47	26	55
800-999	21	4	19	6	2	33	2	2	100	29	8	28
1000-1199	16	3	19	5	3	60	1	1	100	22	7	32
1200-1399	11	1	9	1	0	0	1	1	100	13	2	15
1400-1599	11	4	36	4	2	50	-	-	-	15	6	40
1600-1799	-	-	-	1	0	0	-	-	-	1	0	0
1800-1999	1	0	0	1	0	0	-	-	-	2	0	0
2000+	-	-	-	-	-	-	2	0	0	2	0	0

\*Heavy shielding is defined as not less than 11 inches of reinforced concrete, or an equivalent amount of bricks.  
重遮蔽とは少なくとも厚さ11インチ以上の鉄筋コンクリートまたは同等量のれんがである。

for each tenfold increase in distance. The ED<sub>50</sub> was 631 meters for heavy shielding and 929 meters for light shielding. The ratio of these distances 1.47 is a measure of the effectiveness of one type of shielding as compared to the other; that is, persons protected by heavy shielding could be 1.47 times closer to the hypocenter than persons protected by light shielding and still get only the same percentage of cataracts.

The decrease of PGP with distance from the hypocenter is highly indicative that this type of cataract is associated with radiation, and the difference in the intercept of the two curves for the different types of shielding adds further confirmatory evidence. The decrease of PGP incidence by distance

10倍増すごとに4.7プロビット単位減少を示した。ED<sub>50</sub>は、重遮蔽では631m、軽遮蔽では929mであった。これらの距離の比1.47は、一種の遮蔽の有効性を他の遮蔽のそれと比較するための尺度である。すなわち、重遮蔽により遮蔽された者は、軽遮蔽により遮蔽された者よりも1.47倍爆心地に接近していても白内障の発現率は同じである。

被爆距離によるPGPの減少は、この種の白内障が放射線と関係があることを強く示し、種々の遮蔽に関する2つの曲線間の切取部分の差は、さらにこれを裏づける。

FIGURE 1 PERCENT OF SUBJECTS WITH POLYCHROMATIC GRANULAR PLAQUES  
ZERO EPILATION

図1 多色性円板状混濁のある者の百分率 無脱毛

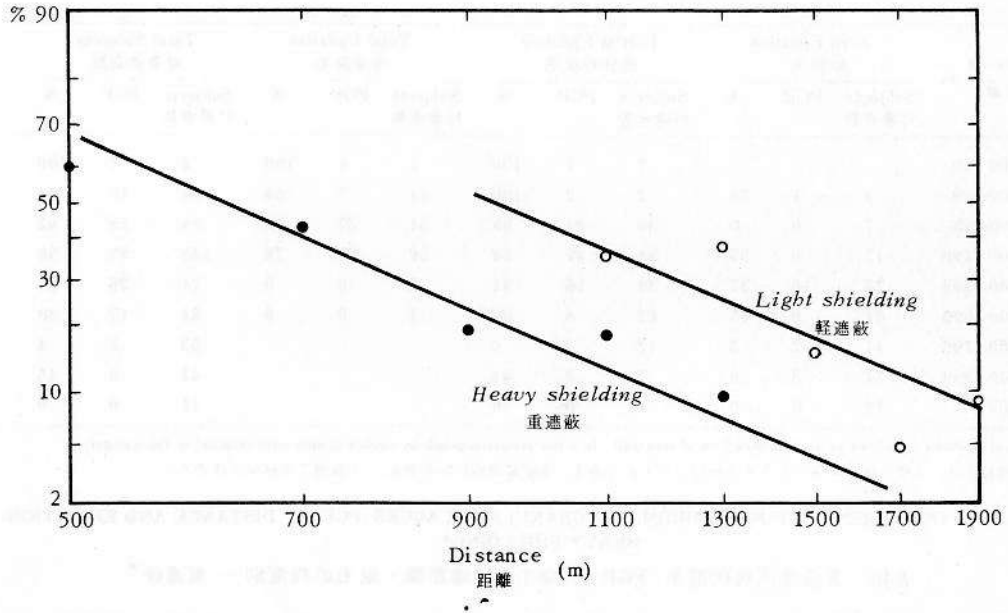
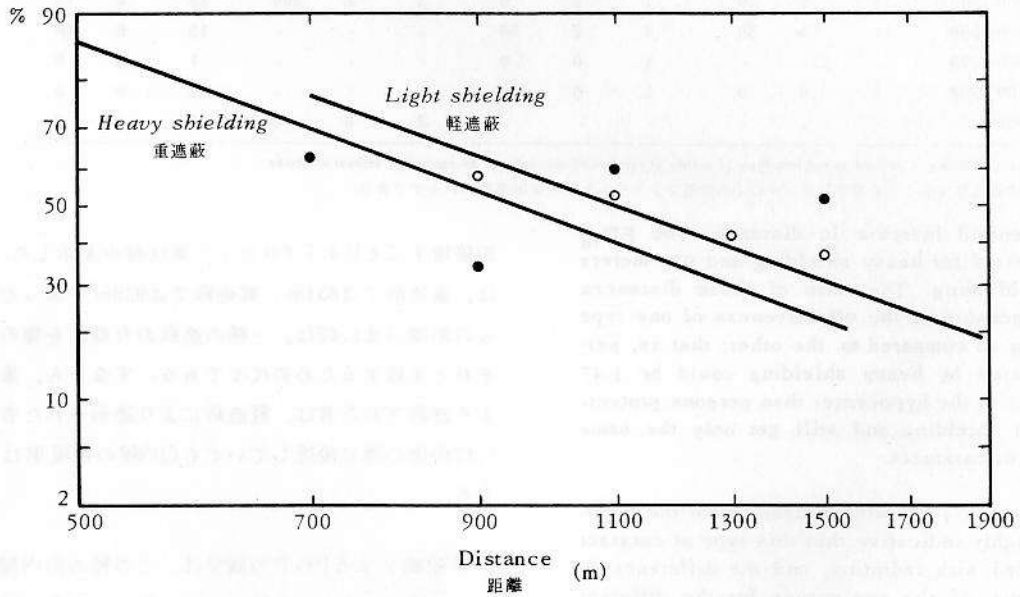


FIGURE 2 PERCENT OF SUBJECTS WITH POLYCHROMATIC GRANULAR PLAQUES  
PARTIAL EPILATION

図2 多色性円板状混濁のある者の百分率 部分的脱毛





from the hypocenter shows that the presence of this type of cataract in people with zero epilation can be used as a dosimeter. This is not to say that in any individual case an estimate of dosage can be obtained but rather that the incidence of this type of cataract bears a relation to the dose of radiation.

*Partial epilation* Figure 2 shows the percentage of people, with partial epilation, having PGP plotted as a function of distance for light and heavy shielding. The data were treated as for the zero epilation group. Comparative values were; slope, a decrease of 3.83 probit units per tenfold increase in distance; ED<sub>50</sub> 1095 meters for light shielding and ED<sub>50</sub> 950 meters for heavy shielding. The same remarks as for the previous group apply to this group; that is, a dosimetric relation exists.

*Total epilation* In contrast to the zero and partial epilation groups, people who had total epilation show no detectable distance-incidence of PGP relation. This is readily explained on the basis that people with total epilation received a very narrow range of dosage. With a larger dose, they would not have survived; with a smaller dose, they would not be totally epilated. The consequence is that totally epilated persons would not be expected to show much of a dosimetric effect, as they would all have received approximately the same dose independently of distance.

Table 11 shows the incidence of this type of cataract under different conditions of shielding. Since no distance effect could be shown, all distances are grouped together up to the point at which the PGP disappeared.

One peculiar fact about the totally epilated people was that the PGP incidence showed no significant change with distance until a certain point was reached, and then they disappeared. This is seen best in the 'Total Epilation' column of Table 9. This point of disappearance is given in the above table as the cut-off distance.

This type of cataract occurs in nonexposed individuals, but the incidence is greatly increased in those who were exposed. Furthermore, the incidence shows a decrease with distance and thereby dosage. The general conclusion is that the incidence of this type of lenticular change is increased by radiation.

*Radiation cataracts* Table 12 shows the data for true radiation cataracts for which shielding data was obtainable. In general, the numbers of patients are so few that no worthwhile analysis can be done. The facts that can be gleaned from this table are:

被爆距離によるPGP発現率の減少は、脱毛のなかった者におけるこの種の白内障の存在が線量推定に役立つことを示す。これは、個々の例において、線量の推定ができることを意味するものではなく、むしろ、この種の白内障の発現は放射線量と関係があることを示すものである。

*部分的脱毛* 図2は、PGPを有する部分的脱毛者の百分率を示すものであり、これを軽遮蔽および重遮蔽に対する距離の関数として示したものである。この資料は無脱毛群と同じように処理した。比較の結果は次のとおりであった。傾斜は、被爆距離が10倍増すごとに3.83プロビット単位減少する。ED<sub>50</sub>は、軽遮蔽については1095 m、重遮蔽については950 mである。前記の群と同じ説明がこの群にも当てはまる。すなわち、線量との関係が存在する。

*完全脱毛* 無脱毛群および部分的脱毛群と異なって、完全脱毛者には、PGPの被爆距離による発現率には明らかに関係は認められない。これは、完全脱毛者はごく狭い範囲の線量を受けたということで容易に説明できる。線量がより多かったならば、この人たちは生存しなかったであろうし、線量が少なかったならば、完全脱毛はなかったであろう。したがって、完全脱毛者は、全員、被爆距離に関係なくほとんど同じ線量を受けたと思われるので、線量の効果が認められると期待することはできないであろう。

表11は、種々の遮蔽状況下で発生したこの種の白内障の発現率を示す。被爆距離の影響は認めることができなかったため、すべての被爆距離は、PGPが認められなくなった地点までをそれぞれ一つの群とした。

完全脱毛者に関する一つの特色的事実は、ある距離に達するまで、PGP発現率には有意な変化は認められず、その点に達するとPGPがまったく認められなくなったことである。これは表9「完全脱毛」欄に最もよく示されている。このみられなくなる距離地点を、上記の表で距離区分として示した。

この種の白内障は非被爆者にも発生するが、発現率は被爆者において非常に高い。さらに、発現率は、被爆距離により減少する。したがって線量によっても減少する。総括的結論としては、この種の水晶体変化の発現率は、放射線により増加するといえる。

*放射線白内障* 表12は、遮蔽資料が入手されている真の放射線白内障に関する資料を示す。総体的にいて、患者数が非常に少ないので、価値のある解析を行なうことができない。この表から得られることは次のとおりであ

people with total epilation have a higher percentage of cataracts than people with partial epilation at the same distance; and people with partial epilation show a decreasing incidence of cataracts with distance, but this cannot be said with certainty of the totally epilated group.

る。(1)完全脱毛者は、同じ被爆距離における部分的脱毛者よりも白内障発現率が高い。(2)部分的脱毛者には、距離による白内障発現率の減少が認められるが、このことは、完全脱毛群については、確信をもっていえない。

TABLE 11 OCCURRENCE OF POLYCHROMATIC GRANULAR PLAQUES (PGP) IN TOTAL EPILATION GROUP BY SHIELDING CATEGORY

表11 完全脱毛者における多色性円板状混濁 ( PGP ) の発生：遮蔽の程度別

Shielding Category 遮蔽の程度	Distance m 距離	Subjects 対象者数	% PGP 発現率
Light 軽	1200-1299	113	74
Heavy 重	1300-1399	11	73
Unknown 不明	1300-1399	16	75

TABLE 12 OCCURRENCE OF RADIATION CATARACTS BY DISTANCE, EPILATION, AND SHIELDING

表12 放射線白内障の発生：被爆距離・脱毛・遮蔽別

Distance m 距離	Heavy Shielding 重遮蔽			Light Shielding 軽遮蔽					
	Total Epilation 完全脱毛			Partial Epilation 部分的脱毛			Total Epilation 完全脱毛		
	Subjects 対象者数	Cataracts 白内障	%	Subjects 対象者数	Cataracts 白内障	%	Subjects 対象者数	Cataracts 白内障	%
400-599	3	1	33	-	-	-	-	-	-
600-799	4	1	25	-	-	-	11	3	27
800-999	-	-	-	36	3	9	51	12	24
1000-1199	-	-	-	81	5	6	50	4	8
1200-1399	-	-	-	39	1	3	5	2	40

### EFFECTS OF SEX, AGE, DISTANCE, AND SYMPTOMS UPON THE OCCURRENCE OF LENTICULAR CHANGES IN PEOPLE EXPOSED TO THE ATOMIC BOMB HIROSHIMA AND NAGASAKI

原爆被爆者における水晶体変化の発生頻度に及ぼす性、年齢、距離および症状の影響  
広島・長崎

Lowell A. Woodbury, Ph.D. (1954)

#### BACKGROUND

Studies on the occurrence of lens changes were done in both cities with Hiroshima being done first and Nagasaki later. Since previous studies had established that lens changes had occurred as a result of exposure to the atomic bomb the investigation was concerned in part with the principal factors involved in the lens changes and what proportion of the people incurred these changes.

#### 背景

水晶体変化の発生頻度に関する調査を両市で実施したが、これはまず広島で実施し、次いで長崎で行なった。以前の調査で、被爆による水晶体変化の発生が証明されているので、今回の研究の1部として水晶体変化に関与する主要因子およびいかなる割合で被爆者にこれらの変化が生じているかを調べた。

The first factor to be considered was the actual dosage of radiation received by the subjects being studied. Since no information is yet available as to the exact dose received by any person, some other measure of degree of exposure or dosage was necessary. The most obvious measure to use was the distance of the subject from the bomb itself or, what amounts to an equivalent thing, the distance of the subject from the point on the ground directly below the bomb, the hypocenter. If all people had been in the open or under identical conditions of protection from the bomb then the distance from the hypocenter would have been related to the dose of radiation received. However, some people were exposed in the open, some were lightly shielded and some were heavily shielded. This fact renders distance valueless as a single measure of exposure, unless the shielding conditions are known. At the time of the initiation of this program shielding information was not available so another measure of exposure had to be selected. It was decided that the degree of epilation experienced by the subjects was the most satisfactory measure of exposure then available. There are certain objections to the use of epilation as a measure of radiation. It is not independent of age as older people reported a smaller incidence of epilation than did younger people. As a measure of exposure to radiation for evaluating lens changes it leaves much to be desired. There is no certainty that gamma rays and neutrons are equally effective in producing epilation while on the other hand it has been shown that neutrons are more efficient in producing lens changes than are gamma rays. Changes in shielding can cause changes in the proportion of gamma rays and neutrons reaching a patient. For example a patient shielded by material containing a high percentage of the lighter elements would receive the gammas only slightly attenuated while the neutrons would be considerably attenuated. The reverse would be true for shielding by heavy elements such as lead.

These considerations lead to the conclusion that the best presently known indication of the degree of exposure is a combination of the distance and the effective amount of shielding. However, since this information was not available at the start of the project epilation was used as a measure of exposure. Later on, shielding information was obtained and used as an indicator of dosage.

## HIROSHIMA STUDY

**Control Group** These were chosen at random from people who were not in the city at the time of the bomb (ATB) and who did not enter the city until after 1 January 1946. It was felt that this delay of nearly

考慮すべき第一の要因は、調査対象者の受けた実際の被曝線量であった。いずれの被爆者についても正確な被曝線量に関する資料がまだ入手されていないので、被爆の程度または線量について何か他の指標が必要であった。第一番に考えられる指標は、原子爆弾そのものから対象者までの距離、またはそれとほぼ同等のものである爆心地から対象者までの距離であった。すべての被爆者が屋外にいたか、または同一遮蔽状況下にあったならば、爆心地からの距離と被曝線量との間に関係が成立するが、実際は屋外で被爆した人々も、軽度で遮蔽された人々も、また強度に遮蔽されていた人々もいた。そこで遮蔽状態が判明しないかぎり、被爆程度の唯一の指標としては、距離は無価値である。今回の研究を開始した当初は、遮蔽に関する資料は入手されていなかったため、被爆に関する別の指標を選択しなければならなかった。当時被爆の程度について入手できる最も満足すべき指標は、対象者が経験した脱毛の程度であると考えられた。放射線の指標として脱毛を使用することにはいくつかの欠点がある。高齢者に報告されている脱毛の発現頻度は若年齢者より少ないと認められているので、年齢とは無関係ではない。水晶体変化の評価のためには、放射線照射の指標としてはふじゅうぶんである。ガンマ線および中性子線が脱毛の発生に等しく効果的であるという確証はない。一方、中性子線は水晶体変化の発生にガンマ線よりも効果のあることが判明している。遮蔽の違いによって対象者が受けるガンマ線および中性子線量の割合が異なる。たとえば、軽元素を多量に含む材料によって遮蔽されていた場合は、ガンマ線はごくわずかに減弱されるにすぎないのに対して、中性子線はかなり減弱される。鉛のような重元素による遮蔽の場合は、この逆である。

これらの点を考察した結果、現在知られている被爆の程度についての最良の指標は、距離と有効遮蔽量の組み合わせであろうという結論に至った。しかし、この研究に着手した時には、この資料はまだ入手されていなかったため、被爆の尺度として脱毛を使用した。その後、遮蔽資料を入手したので、これを線量の指標として使用した。

## 広島調査

**対照者** 原爆時に市内にいなかった者で、1946年1月1日以後に入市した人々から対照者を無作為抽出した。この約5か月の期間中に、残留放射能は無視できる程度



5 months would have allowed any residual radioactivity to decrease to a nonsignificant amount. The control sample covered people of a wide age range but for this analysis patients were used whose ages were from 15 to 45 years at examination. Table 13 shows the age-sex composition of the control sample.

Examination and analysis of lens changes in the controls shows no difference in incidence between the sexes and that, over the range of ages involved the age effect is negligible ( $P, 0.3-0.5$ ). It should be noted that over a wider age range (8 to 60 years of age) there is a significant effect of age. The lack of detectable age effect between 15 to 45 years is due to the comparatively small change of incidence over this range. Below 15 years of age the incidence drops rapidly to zero. Above 45 years of age the incidence increases rapidly. The age range 15-45 was deliberately selected to minimize the effects of age so as to enable the elimination of one variable from the analysis. It was assumed that the exposed people would show a similar lack of difference between ages.

**Exposed Group** The sample treated in this report consisted of residents of Hiroshima from 15-45 years of age at examination who were exposed to the atomic bomb within 2400 m from the hypocenter. The subjects were divided into groups by the degree of epilation they had undergone following the bomb and a selection was then made of subjects in each group on a random basis. Originally the epilation groups were as follows:

Zero epilation, 1%-39%, 40%-60%, 61%-89%, and 90%-100%.

Because of the small numbers in some groups these categories were combined for analysis as follows:

1%- 39% Epilation - light epilation  
40%- 89% Epilation - moderate epilation  
90%-100% Epilation - severe epilation

The results of the examination show that the percentage of people with lens changes increases with the increase in the degree of epilation and decreases with distance from the hypocenter (Table 14). It must be noted that this group includes all types of shielding and thus the percentages only indicate the general trend. Analyzed by the factorial  $\chi^2$  method the effect of distance was significant ( $P < 0.01$ ) and for epilation was highly significant ( $P < 0.001$ ).

The zero epilation group was too heterogeneous to permit comparison with the epilated groups. The

に減衰したであろうと考えた。対照者には幅広い年齢層の人々が含まれていたが、今回の解析には検査時に年齢が15歳から45歳までの者を使用した。表13に対照標本の年齢および性別構成を示す。

対照者における水晶体変化の検査および解析の結果、発現頻度に男女間の差はなく、ここで取り上げた年齢の範囲内では年齢の影響は無視できると認めた。 $(P, 0.3-0.5)$ 。しかし、年齢をもっと広げた場合(8歳から60歳まで)、年齢の影響が有意であることを指摘しなければならない。15歳から45歳までの間に年齢の影響が認められなかったのは、この年齢の範囲内では発生頻度があまり変わらないためである。15歳以下では発現頻度は急速にゼロに落ちる。45歳以上では発現頻度は急速に増加する。年齢の影響をできるだけ小さくしてこの解析から1つの変数を除外するため、計画的に15歳から45歳までの年齢の者を選んだ。被爆者も同様に年齢差がないだろうと仮定した。

**被爆群** この報告で取り上げた調査対象標本は、検査時年齢が15歳から45歳までの広島市在住者で、爆心地から2400m未満で被爆した人々である。対象者の被爆後に生じた脱毛の程度によって分類し、各群から標本を無作為抽出した。初めに使用した脱毛の分類は次のとおりであった。

無脱毛, 1% - 39% 脱毛, 40% - 60% 脱毛, 61% - 89% 脱毛, および 90% - 100% 脱毛。

ある群では例数が少ないため、解析の際にこれらの分類を次のとおり組み合わせた。

1% ~ 39% 脱毛 軽度の脱毛  
40% ~ 89% 脱毛 中等度の脱毛  
90% ~ 100% 脱毛 強度の脱毛

検査の結果、水晶体変化を有する者の百分率は、脱毛の程度が多いほど高く、爆心地からの距離とともに減少すると認めた(表14)。これらの距離群はすべての種類の遮蔽を含んでいるので、この百分率は一般的傾向を示すにすぎないことに注意しなければならない。 $\chi^2$  要因分析で、距離の影響は有意であり( $P < 0.01$ )、脱毛の影響は非常に有意であった( $P < 0.001$ )。

無脱毛群はあまりにも異質であったので、脱毛を有する群との比較ができなかった。脱毛があったことは、対象



TABLE 13 COMPOSITION OF THE CONTROL GROUP FOR LENTICULAR CHANGES STUDY

表13 水晶体変化調査の対照群の構成

Age at Examination 検査時年齢	Male 男		Female 女		Total 合計	
	Subjects 対象者数	Lens Changes 水晶体変化を有する者の数	Subjects 対象者数	Lens Changes 水晶体変化を有する者の数	Subjects 対象者数	Lens Changes 水晶体変化を有する者の数
15-19	7	0	25	2	32	2
20-24	8	1	12	0	20	1
25-29	3	0	22	0	25	0
30-34	3	0	13	3	16	3
35-39	8	0	9	2	17	2
40-44	6	2	12	1	18	3
Total 合計	35	3	93	8	128	11
% with Lens Changes 水晶体変化の百分率		8.6		8.6		8.6

TABLE 14 INCIDENCE OF LENTICULAR CHANGES BY DEGREE OF EPILATION AND DISTANCE FROM HYPOCENTER HIROSHIMA SUBJECTS AGED 15-45 YEARS AT EXAMINATION

表14 水晶体変化の発現頻度：脱毛の程度・爆心地からの距離別、検査時年齢15歳から45歳までの広島対象者

Distance m 距離	Light Epilation 軽度の脱毛			Moderate Epilation 中等度の脱毛			Severe Epilation 強度の脱毛		
	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化を有する者の数	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化を有する者の数	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化を有する者の数	%
0-399	-	-	-	-	-	-	2	2	100
400-599	2	2	100	4	4	100	9	8	89
600-799	18	12	67	17	12	71	29	28	96
800-999	6	3	50	26	19	73	65	62	95
1000-1199	10	4	40	32	23	72	59	53	90
1200-1399	7	2	29	16	8	50	11	8	73
1400-1599	8	2	25	11	5	45	2	0	0
1600-1799	9	0	0	-	-	-	-	-	-
1800+	16	2	12	-	-	-	1	0	0
Total 合計	76	27	36	106	71	67	178	161	90

presence of epilation is an indication that the person received some radiation and in an approximate fashion the degree of epilation is a measure of the dose. The absence of epilation indicates only that the person received less than the minimum epilating dose. The zero epilated group contained some persons who because of heavy shielding received no radiation although they were close to the hypocenter. Other persons in this group received a moderate amount of radiation. The zero epilation groups can be analyzed only in connection with shielding data.

**Effect of Sex and Age** Because of the comparatively small numbers a detailed analysis of the effects of sex and age in the exposed group was not possible. The controls showed no difference between the sexes and a nonsignificant change with age over the age range 15-45 years. It was felt that these conclusions would apply to the exposed group and

者がある程度の放射線を受けたことを示すものであり、したがって、脱毛の程度は線量の近似的な指標になる。無脱毛であったことは、被曝線量が脱毛を生ずる最小線量以下であったことを示すにすぎない。無脱毛群には、爆心地近くにいたが、重遮蔽のため放射線を受けなかった者が若干名含まれている。そのほかにこの群には中等度の放射線量を受けた者もいる。無脱毛群は、遮蔽資料を合わせて初めて解析することができる。

**性および年齢の影響** 例数が比較的少ないため、被曝群における性および年齢の影響を詳細に解析することは不可能であった。対照者には男女間に差がなく、15歳から45歳までの範囲内では年齢による有意な差を認めなかった。これらの結論は、被曝群にも適用されると思われる。この点の検討を可能にする程度じゅうぶんな例数が

an analysis of the data on one small exposed group, where sufficient numbers were available to make it possible, seemed to confirm these conclusions. Accordingly in the rest of this analysis subjects are combined without regard to age or sex.

**Effect of Shielding** During the project it became evident that shielding information was necessary and investigations were made on the shielding situation of those under study. It was found that the majority of the patients fell into three categories defined as follows.

**Unshielded** In the open ATB without any shielding. This group was uniformly characterized by having received flash burns. As might be expected the number of survivors under these conditions is small and very few were found within 1000 m. For purposes of this analysis this group is too small to treat.

**Light shielding** The majority of the survivors were found to have been in Japanese houses ATB and were shielded by either tile roofs or mud walls. This is a comparatively uniform group as the shielding value of a tile roof or a mud wall is very small and whether a given individual was shielded by one to three walls or a wall and a roof made little difference. The main effect of this type of shielding was to protect against flash burns.

**Heavy shielding** A number of people were in concrete buildings ATB and therefore had more shielding than the lightly shielded people. The shielding was, however, extremely variable ranging from a few inches up to as much as six to eight feet of concrete in some cases. Because of this great variability and the small number of subjects this group is not considered further in this report.

**Effect of Symptoms upon Cataract Incidence** Although epilation was the symptom chosen as an indicator of radiation dosage received, the other major symptoms of radiation damage, purpura and oropharyngeal lesions needed to be considered. To investigate this, people who were protected by light shielding only were selected and sorted into mutually exclusive categories of the three major symptoms and their various combinations. Only three groups had enough subjects to justify analysis. These groups were epilation only; epilation and purpura only; and epilation, purpura and oropharyngeal lesions. The percentage of lens changes in each of these groups was determined for each distance category as shown in Table 15. Analysis of these data by the probit regression technique fails to show any significant difference between the three groups and it may be concluded that the combination

求められている被爆者の小さな群に関する資料の解析の結果、これらの結論は確認されたように思われる。したがって、下記の解析では、年齢もしくは性に関係なく対象者を合計した。

**遮蔽の影響** この調査の途上において遮蔽に関する資料の必要なことが明白となったので、調査対象者の遮蔽状態について調査を行なった。被検者の大部分は次のような3つの分類に該当することが判明した。

**無遮蔽** 原爆時、屋外にいてなんら遮蔽がなかった。この群は一律に熱傷を受けたという特徴がある。予想されたとおり、この状況下にある被爆生存者の数は少なく、1000m未満ではきわめて少数であった。今回の解析のためには、この群は小さすぎるので取り上げることはできない。

**軽遮蔽** 被爆生存者の大部分は、原爆時に日本家屋内にいて、屋根瓦や土壁で遮蔽されていた。屋根瓦や土壁による遮蔽効果は非常に小さく、対象者の遮蔽が壁1つであったか、3つであったか、または遮蔽が壁と屋根であったかどうかによって大差はないので、この群は比較的均一である。この種類の遮蔽のおもな効果は、熱傷を防ぐことであった。

**重遮蔽** 原爆時にコンクリート建築物内にいた者が少数であった。この人々は、軽遮蔽の者よりも多く遮蔽されていた。しかし、その遮蔽の程度には著しい差があり、2、3インチであったものも、6ないし8フィートもあった場合もある。このように差が大きく、例数も少ないので、この報告ではこの群はこれ以上考慮しない。

**白内障発現頻度に及ぼす症状の影響** 被曝線量の指標として脱毛症状を選んだが、放射線による傷害のその他の主要症状、すなわち紫斑や口腔咽頭部病変も考慮する必要があった。これを検討するため、軽遮蔽のあった者だけを選び、この3つの主要症状のいろいろな組み合わせによって分類した。解析ができるほどじゅうぶんな例数があったのは3つの群だけであった。それは、a) 脱毛のみを有する群、b) 脱毛および紫斑だけを有する群、およびc) 脱毛、紫斑および口腔咽頭部症変を有する群であった。表15に示すとおり、これら各群における水晶体変化の百分率を距離区分ごとに計算した。資料のプロビット回帰解析では、この3群の間に有意な差を認めることはできなかったため、水晶体変化の指標として脱毛

TABLE 15 LENS CHANGES IN HIROSHIMA SUBJECTS BY RADIATION SYMPTOMS AND DISTANCE FROM HYPOCENTER—LIGHT SHIELDING

表15 広島対象者における水晶体変化：放射線症状・爆心地からの距離別—軽遮蔽

Distance 距離 m	Subjects 対象者数	Epilation 脱毛	Subjects 対象者数	Epilation, Purpura 脱毛 紫斑	Subjects 対象者数	Epilation, Purpura, Oropharyngeal 脱毛, 紫斑 口腔咽頭病変
600-799	1	100 %	7	86 %	4	100 %
800-999	16	88	34	71	30	90
1000-1199	22	59	57	77	50	66
1200-1399	18	50	15	33	8	50
1400-1599	17	35	7	14	2	50

TABLE 16 CORRELATIONS (PEARSON PRODUCT MOMENT) BETWEEN THE OCCURRENCE OF RADIATION SYMPTOMS AND LENS CHANGES

表16 放射線症状の発生と水晶体変化の相関関係 (Pearson プロダクトモーメント)

Symptom 症状	Correlation 相関関係	Significance 有意性
Purpura 紫斑 .....	0.05	No なし
Oropharyngeal lesions 口腔咽頭部病変 .....	0.18	Yes あり
Epilation and Purpura 脱毛および紫斑 .....	0.49	Yes あり
Epilation and Oropharyngeal 脱毛および口腔咽頭部病変 .....	0.36	Yes あり
Purpura and Oropharyngeal 紫斑および口腔咽頭部病変 .....	0.06	No なし
Epilation, Purpura and Oropharyngeal 脱毛, 紫斑および口腔咽頭部病変 .....	0.53	Yes あり
Epilation (all degrees) 脱毛 (すべての程度) .....	0.33	Yes あり
10% - 39% Epilation 脱毛 .....	0.11	No なし
40% - 60% Epilation 脱毛 .....	0.17	Yes あり
70% - 100% Epilation 脱毛 .....	0.43	Yes あり

of epilation and other symptoms cannot be shown to be superior to epilation alone as an indicator of lens changes.

A more detailed analysis of the entire data was made using the somewhat more crude 2x2 table to compute correlation coefficients between the various symptoms and lens changes (Table 16). It is seen that purpura and oropharyngeal lesions alone or in combination with each other had either nonsignificant or very weak associations. Epilation showed significant associations with lens changes either alone or in combination with other symptoms in all cases except for the lightly epilated group. The results seem to indicate that epilation is most strongly associated with lens changes, and the other symptoms show association only because they in turn are associated with epilation.

To clarify the association of epilation and lens changes all people with light shielding were separated and classified by degree of epilation and distance (Table 17). These data show significant differ-

とその他の症状の組み合わせが脱毛だけの場合よりすぐれているといえないという結論に達した。

もっと粗雑な2×2表を使って、各症状と水晶体変化の間の相関係数を計算して、資料全体について詳細な解析を行なった(表16)。紫斑および口腔咽頭部病変は、単独の場合も組み合わせた場合にも、関係は有意でないか、または非常に弱いと認められた。脱毛についてみれば、軽脱毛群を除けば、脱毛は単独に、またはその他の症状と組み合わせても、水晶体変化と有意な関連を示した。この結果は、脱毛が水晶体変化と最も強い関係があり、その他の症状は脱毛と関連があるということだけの理由で関係を示していることを表わしているように思われる。

脱毛と水晶体変化の関連を究明するため、軽遮蔽のあった者全員を、脱毛の程度および距離別に分類した(表17)。この資料では、脱毛の程度によって水晶体変化の発生頻

ences between the occurrence of lens changes in the different epilation groups. It should be noted that there is a distinct difference between the zero and partially epilated group on one hand and the heavily epilated group on the other hand. The zero and partially epilated subjects, show in general, a distinct decrease with distance in the percent of people showing lens changes. The totally epilated group shows very little change with distance until the end of the range for total epilation and then a sudden decrease occurs.

度に有意な差を認めた。一方では、無脱毛および部分脱毛のあった群と、他方強度の脱毛のあった群との間に、明らかな差があることを指摘しなければならない。無脱毛および部分脱毛のあった対象者では、一般に水晶体変化を示す者の百分率が距離とともにはっきり減少している。完全脱毛群については、完全脱毛の生ずる距離の範囲内では距離による変化はほとんどなく、それから急激な減少が認められる。

TABLE 17 PERCENT WITH LENS CHANGES BY DEGREE OF EPILATION AND DISTANCE FROM HYPOCENTER—LIGHT SHIELDING

表17 水晶体変化を示す対象者の百分率：脱毛の程度・爆心地からの距離別—軽遮蔽

Distance 距離 <sup>m</sup>	Subjects 対象者数	Zero Epilation 無脱毛 %	Subjects 対象者数	Partial Epilation 部分的脱毛 %	Subjects 対象者数	Total Epilation 完全脱毛 %
600-799	1	0	2	100	8	88
800-999	4	0	22	64	29	97
1000-1199	6	33	49	61	34	91
1200-1399	8	50	23	44	3	33
1400-1599	28	7	11	27	1	0
1600-1799	18	6	4	0	.	.

## NAGASAKI STUDY

**Method** The ophthalmological survey in Nagasaki (November - December 1953, Ed.) was done on a somewhat different basis than the survey in Hiroshima. Instead of using symptoms categories as a basis of selection, shielding categories were employed. Cards listing all subjects known to have been exposed within 1800 m from the hypocenter were sorted into groups by shielding categories and then arranged in order by distance, sex and age. Persons below 15 and above 45 years of age were rejected from this sample for the reasons given. Subjects were drawn at random from the desired shielding groups and from each distance zone to give the desired numbers at each distance. An attempt was made to adjust the numbers drawn so as to give equal accuracy to the expected percentage of lens changes. Light and heavy shielding were the only shielding groups considered. Later on, heavy shielding was dropped from the study because of factors beyond the control of the investigators.

Subjects were classified by degree of epilation in the same way that the Hiroshima patients had been classified.

**Results Degree of Epilation and Incidence of Lens Changes** Table 18, which is comparable to Table 14

## 長崎

**調査方法** 長崎における眼科調査(注: 1953年11月~12月)は、広島調査とやや異なる方法で実施された。標本抽出の基礎として症状分類を用いる代わりに、遮蔽区分を利用した。爆心地から1800m未満で被爆したことが判明している者全員を遮蔽区分に従って分類し、次いで距離、性別および年齢別に分けた。すでに述べた理由で、15歳未満および45歳より上の年齢の者をこの標本から除外した。各距離群に必要な人員を求めるため、該当する遮蔽群の各距離区分から対象者を無作為抽出した。水晶体変化の期待百分率に一樣の正確性を与えるため、抽出人員数の補正を行なうよう努力した。遮蔽群としては、軽遮蔽および重遮蔽だけを考慮した。その後、処理不能の要因があるため重遮蔽群をこの調査から除外した。

広島対象者の分類に用いたと同一の方法で、脱毛の程度によって対象者を分類した。

**成績** 脱毛の程度と水晶体変化の発生頻度 表18は、広島に関する表14に匹敵するもので、遮蔽の種類は一応無視



TABLE 18 INCIDENCE OF LENTICULAR CHANGES BY DEGREE OF EPILATION AND DISTANCE FROM HYPOCENTER.  
NAGASAKI SUBJECTS AGED 15-45 YEARS AT EXAMINATION

表18 水晶体変化の発現頻度：脱毛の程度・爆心地からの距離別  
検査時年齢15歳から45歳までの長崎の対象者

Distance 距離 m	Light epilation 軽度の脱毛			Moderate epilation 中等度の脱毛			Severe epilation 強度の脱毛		
	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%
0-399	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400-599	3	0	0	1	1	100	5	5	100
600-799	22	10	45	9	6	67	4	4	100
800-999	6	2	33	4	4	100	14	14	100
1000-1199	18	6	33	16	13	81	14	14	100
1200-1399	30	21	70	19	12	63	6	5	83
1400-1599	13	4	31	1	1	-	4	4	100
1600-1799	7	2	29	-	-	-	-	-	-
1800+	2	1	50	-	-	-	-	-	-
Total 合計	101	46	46	50	37	74	47	46	98

for Hiroshima, is based on all subjects reporting epilation regardless of type of shielding and classified by degree of epilation and distance to show the effect of these two variables on lens changes. There is a clear and statistically significant ( $P < 0.001$ ) increase in the incidence of lens changes with the increase in epilation but the change with distance is nonsignificant ( $P 0.2-0.3$ ). Since analysis of the light shielding group alone shows a highly significant effect of distance the discrepancy between the cities requires explanation. The fact that the Hiroshima table shows a significant change with distance while the Nagasaki table does not is probably most easily explained on the basis that a chance distribution of the proportions of light and heavy shielding obscures the real picture.

**Effect of Degree of Epilation and Distance with Light Shielding** Subjects exposed while protected by light shielding were classified by degree of epilation and distance. Epilation was classified as follows; Zero epilation; Partial epilation 1%-89%; Total epilation 90%-100%.

Table 19 shows the distribution. A very marked change with distance is observed for the zero and partially epilated groups and incidence between the epilated groups differs markedly. Figure 3 shows that the incidence of lens changes drops rapidly with distance for the zero and partial epilation groups. This implies a dependence on the amount of radiation received. The totally epilated group, however, have a 100% incidence of lens changes at all distances where totally epilated people were found. The reason for this is obscure but it may be suggested that people who suffered total epilation received a relatively constant dose of radiation, a

して、脱毛を報告している対象者全員を脱毛の程度および距離別に分類して、これら2つの変数の水晶体変化に及ぼす影響を調べた。脱毛の増加とともに水晶体変化の発生頻度に明白かつ統計学的に有意 ( $P < 0.001$ ) な増加を認めるが、距離による差は有意ではない ( $P 0.2-0.3$ )。解析の結果、距離の影響は軽遮蔽群だけに非常に有意であると認められたので、両市の間の相違について説明を求める必要がある。広島に関する表では距離によって有意な差が認められるが、長崎では認められないということは、軽遮蔽者および重遮蔽者の割合の偶然分布のために実際の様子が不明確になったということにより最も容易に説明されると思われる。

**軽遮蔽群における脱毛の程度および距離の影響** 軽遮蔽の被爆者を脱毛の程度および距離によって分類した。脱毛は次のとおり分類した。無脱毛; 部分脱毛1%-89%; 完全脱毛90%-100%。

表19にその分布を示す。無脱毛および部分脱毛群には、距離によってきわめて顕著な差が認められ、各脱毛群の間で発生頻度は著しく異なっている。図3は、無脱毛および部分脱毛群における水晶体変化の発生頻度が距離とともに急激に下降することを示す。これは被曝線量に依存していることを意味する。しかし、完全脱毛群についてみると、完全脱毛のあった者がみられるいずれの距離においても、水晶体変化の発生頻度は100%であった。この理由は不明であるが、完全脱毛のあった者は相対的に一様の放射線量を受けたのではないかと考えられる。すなわち、線量がもっと大量であれば、かれらは生存しな

FIGURE 3 LENS CHANGES IN NAGASAKI SUBJECTS BY DEGREE OF EPILATION AND DISTANCE FROM HYPOCENTER - LIGHT SHIELDING

図3 長崎対象者における水晶体変化：脱毛の程度・爆心地からの距離別—軽遮蔽

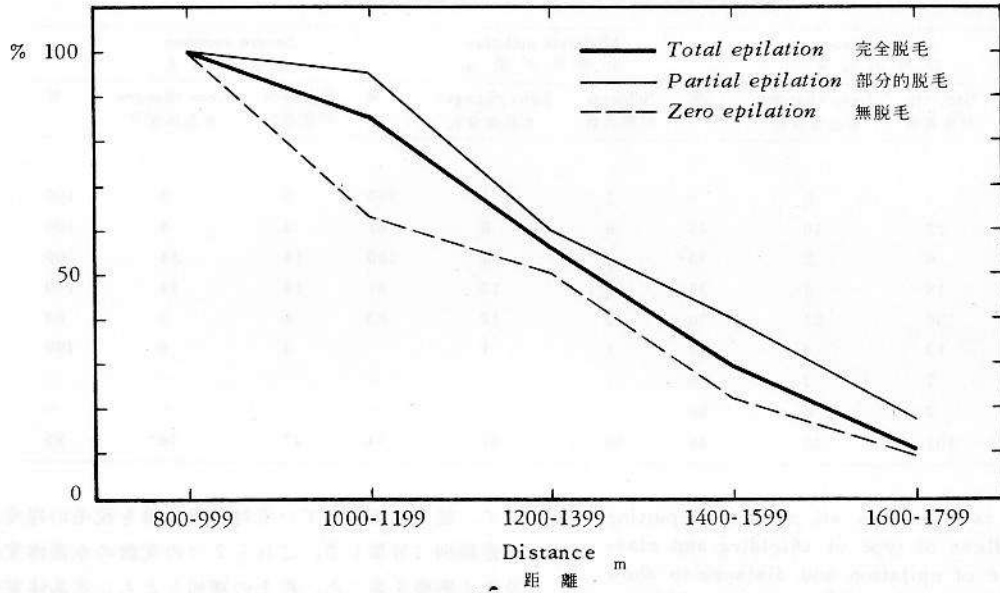


TABLE 19 LENS CHANGES IN NAGASAKI SUBJECTS BY DEGREE OF EPILATION AND DISTANCE FROM HYPOCENTER—LIGHT SHIELDING

表19 長崎対象者における水晶体変化：脱毛の程度・爆心地からの距離別—軽遮蔽

Distance m 距離	Zero epilation 無脱毛			Partial epilation 部分脱毛			Severe epilation 完全脱毛			Total 計		
	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%	Subjects 対象者数	Lens changes 水晶体変化	%
800-999	1	1	100	3	3	100	6	6	100	10	10	100
1000-1199	19	12	63	21	20	95	14	14	100	54	46	85.2
1200-1399	56	28	50	43	26	60	4	4*	100	103	58	56.3
1400-1599	45	10	22	10	4	40	3	3	100	58	17	29.3
1600-1799	42	4	9	6	1	17	-	-	-	48	5	10.4

\* Includes one borderline case きわめて軽度のもの1例を含む。

larger dose and they would not have survived, a smaller dose and they would not have had total epilation. As will be shown later the epilating dose of radiation is generally higher than the dose required to produce lens changes so that it might be expected that severely epilated people would all have lens changes.

The totally epilated group in Hiroshima differs from the Nagasaki group in that generally less than 100% of its members have lens changes. The reasons are not clear but one possible explanation may be that since the studies were done some time apart the criteria for distinguishing between a normal eye and one in which a lens change due to radiation has occurred may have changed. The determination of

かったであろうし、線量がもっと少量であれば、完全脱毛は生じなかったであろう。後述のように、脱毛線量は、水晶体変化の発生に必要な線量より一般に高いので、強度の脱毛のあった者はいずれも水晶体変化があると予想される。

長崎の場合と異なり、広島完全脱毛群では水晶体変化を有する者の割合が一般に100%よりも少ない。その理由は不明であるが、1つ考えられることは、両市の調査を行なった時期がそれぞれ異なっているため、その間に正常な眼と放射線による水晶体変化のある眼とを区別する規準が変わったのかもしれないということである。水晶体におけるきわめて軽度の変化の決定は、技術的にき

the occurrence of minimal changes in the lens is technically extremely difficult requiring much experience and it is entirely possible that with examinations made a year or more apart the criteria of presence or absence could change.

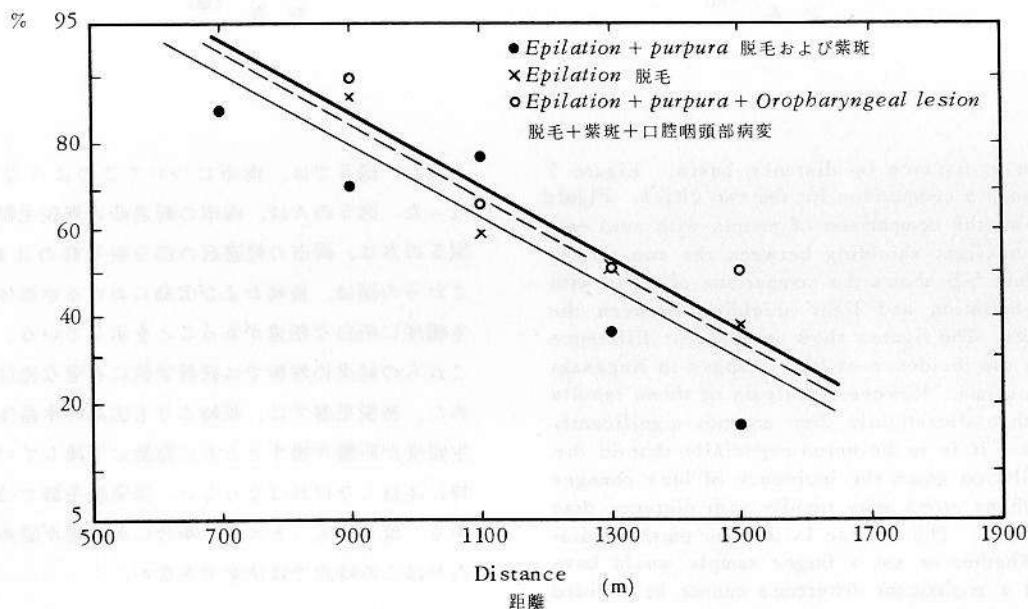
**Comparison of incidence of lens changes with incidences of radiation symptoms** Since the Nagasaki subjects were chosen by distance and shielding without regard to symptoms, it is possible to make a comparison between the incidence of the various radiation symptoms and the incidence of lens changes. The data on significant radiation symptoms and lens changes were summarized for the light shielding group only and are plotted as a function of distance in Figure 4. The various symptoms are high close to the hypocenter and decrease with distance. Cataracts show the highest incidence at any given distance followed in order by epilation, purpura and oropharyngeal lesions. In other words cataracts have the lowest threshold followed by radiation symptoms in the order listed.

わめて困難であり、多くの経験が要求されるので、1年以上も経過して検査を実施すれば、異常の有無の基準が変化することはじゅうぶん考えられる。

放射線症状の発生頻度と水晶体変化の発生頻度との比較  
長崎の対象者は、症状を無視して距離および遮蔽によって選ばれており、各種放射線症状と水晶体変化とを比較することができる。軽遮蔽群だけについて、主要な放射線症状および水晶体変化に関する資料をまとめて図4に距離の関数として示した。各症状は、爆心地近くでは高率で、距離が増すに従って減少する。いずれの距離においても、白内障の頻度が最高を示し、次いで脱毛、紫斑、および口腔咽頭部病変の順であった。換言すれば、白内障の閾値が最も低く、放射線症状についてはここに記載した順序である。

FIGURE 4 LENS CHANGES IN NAGASAKI SUBJECTS BY RADIATION SYMPTOMS AND DISTANCE FROM HYPOCENTER LIGHT SHIELDING

図4 長崎対象者における水晶体変化：放射線症状・爆心地からの距離別一軽遮蔽



#### COMPARISON OF LENS CHANGES BETWEEN HIROSHIMA AND NAGASAKI

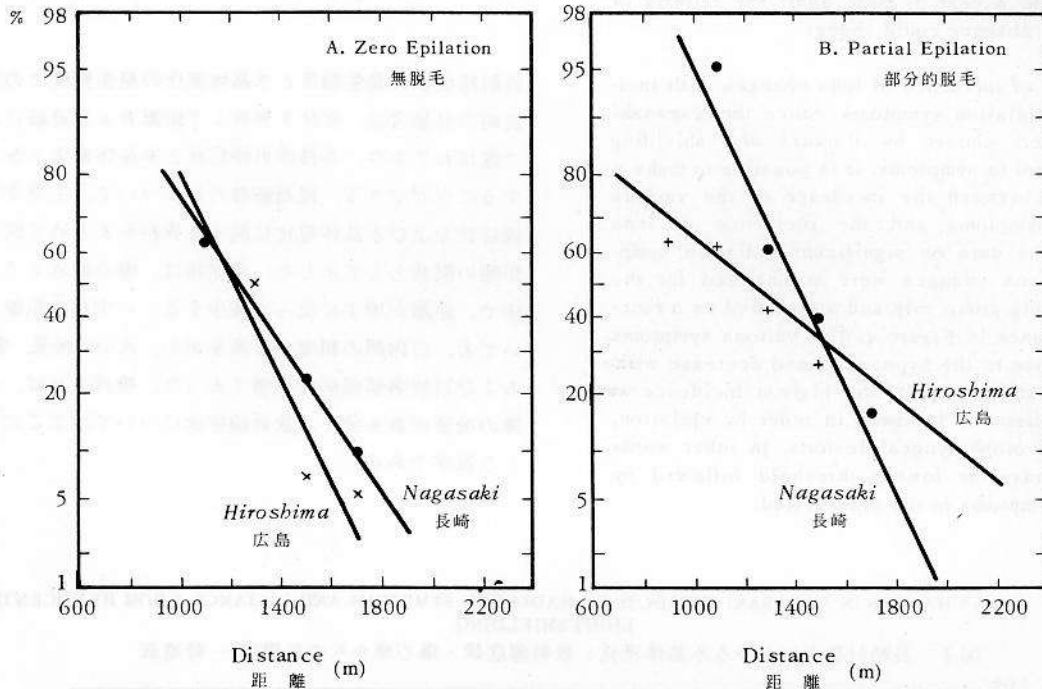
A comparison may be made between the incidence of lens changes in Hiroshima and Nagasaki by comparing people with equal degree of epilation and of the same shielding. The comparison must be

#### 広島および長崎における水晶体変化の比較

同一遮蔽群の中で脱毛の程度が等しい者を比較することにより、広島および長崎における水晶体変化の発生頻度の比較ができる。この種の比較は距離別に行なわねばな

FIGURE 5 LENS CHANGES IN HIROSHIMA AND NAGASAKI SUBJECTS BY DEGREE OF EPILATION AND DISTANCE FROM HYPOCENTER - LIGHT SHIELDING

図5 広島および長崎の対象者における水晶体変化：脱毛の程度・爆心地からの距離別—軽遮蔽



made on a distance by distance basis. Figure 5 shows such a comparison for the two cities. Figure 5-A shows the comparison of people with zero epilation and light shielding between the two cities, and Figure 5-B shows the comparison of those with partial epilation and light shielding between the two cities. The figures show an apparent difference between the incidence of lens changes in Nagasaki and Hiroshima. However, analysis of these results shows that statistically they are not significantly different. It is to be noted especially that in the zero epilation group the incidence of lens changes in Hiroshima drops more rapidly with distance than in Nagasaki. The reverse is true for partial epilation. Whether or not a larger sample would have revealed a significant difference cannot be decided at this particular time.

らない。図5では、両市についてこのような比較を行った。図5のAは、両市の軽遮蔽の無脱毛群の比較で、図5のBは、両市の軽遮蔽の部分脱毛群の比較を示す。これらの図は、長崎および広島における水晶体変化の発生頻度に明白な相違があることを示している。しかし、これらの結果の解析では統計学的に有意な差はないと認められた。無脱毛群では、長崎よりも広島の水晶体変化の発生頻度が距離が増すとともに急激に下降していることに特に注目しなければならない。部分脱毛群ではその逆である。標本がもっと大きい場合に有意差が認められるか否かはこの時点では決定できない。



# STUDIES OF EYE CHANGES OCCURRING IN THE POPULATION OF HIROSHIMA

## 広島の人人口集団に発生した眼の変化の研究

From ABCC Semi-annual Report, 1 January 1954 - 30 June 1954

ABCC 半年報 1954年1月1日～1954年6月30日号から抜粋

Cases are being examined by the ophthalmologist (Kellett J.) with three purposes in mind:

1. To check progression or resolution of lesions previously diagnosed as radiation cataracts in survivors who were exposed to the atomic bomb;
2. To provide an independent assessment of lesions previously interpreted by a former ABCC ophthalmologist;
3. To assess suspected cases of radiation cataract newly discovered by the Internal Medicine Department during the course of its ME 74 examinations, and to study new cases analogously with previously diagnosed cases.

The need for this project arises from the known occurrence of radiation cataracts in animal experiments, in radiation accidents and in atomic bomb survivors. Much work has already been done in the study of radiation cataracts in atomic bomb survivors and a correlation has been observed between their occurrence and the exposure to radiation.

In general, the findings of previous eye examiners have been confirmed. Cases seen present the following lens changes:

- a. Large granular irregularly shaped patches at the posterior pole of each lens;
- b. Cases with small plaques, essentially the same type of lesion only much smaller;
- c. Cases with white fibrous matted debris, strictly localized to the posterior pole;
- d. Cases with a similar appearance, but the impression was that these matted fibers lie in a fluid cavity;
- e. Collection of greyish-brown spots lying in the posterior cortex close to the center;
- f. Cases with scattered small brownish-white spots, scattered throughout the cortex of each lens;
- g. Cases presenting vacuoles at the posterior pole.

1 広島の人人口集団に発生する眼科的变化の調査 眼科医 J. Kellett は下記の3つの目的で診察を実施している。

1. 原子爆弾被爆者のうち、以前に放射線白内障と診断された者について病変の進行または消退を調べる。
2. 前任の ABCC 眼科医によって判定された病変について、あらためて独自の評価を行なう。
3. ME74 調査中に臨床部で新たに発見された放射線白内障の疑いのある例を評価し、すでに診断されている例について用いられているものと同じ方法で新しい症例を調査する。

動物実験、放射線事故および原爆被爆者において放射線白内障が発生すると知られているので、この研究を行なう必要がある。原爆被爆者における放射線白内障についてはすでに多くの研究が行なわれており、白内障の発生と放射線被曝との間に相関が認められている。

全般的には、以前の眼科担当医の所見が確認されている。診察で下記の水晶体変化が認められている。

- a 両眼水晶体後極部における大きな顆粒状不整形混濁。
- b 小さな円板状混濁。これは上記のものと同様であるが、はるかに小さい。
- c 後極部に限局された白色線維性絮状残屑物。
- d 上記に類似した像を呈する例であるが、この絮状線維は液を入れた洞内にあるように見える。
- e 後部皮質の中央部近くに散在性の灰褐色斑点。
- f 両眼水晶体皮質全体に小さな散在性褐色白色斑点。
- g 後極部空胞

On surveying previous findings and correlating these findings with those seen at the present time, a diagnosis of radiation cataract has been made if there is a history of epilation and an absence of eye disease. In general, many cases appear to have retrogressed and vision improved since the 1950-52 period. Reported polychromatic plaques appear now to have lost their color and have become smaller or have disappeared. Vacuoles noticed then have not been found and the general impression gained is that these changes represent debris from forming lens fibers. The debris migrate to the center of the back of the lens where it appears to be gradually absorbed.

A comparison of cataract examinations by Dr. Sinskey and Dr. Kellett is shown in Table 20. These ophthalmologists saw many patients, but only 141 patients were examined by both doctors. Out of this group of 141 patients, there was agreement on 102 patients (72.3%) and disagreement on 39 patients (27.7%). The greatest difference in diagnosis occurred in the questionable radiation cataract groups, as would be expected. This comparative study emphasizes the need for an intensive continuing radiation cataract study of the type done by Dr. Kellett. It is regrettable that his tour of duty in Her Majesty's Forces in the Far East cannot be extended.

以前の所見を調べて現在の所見との関係を見ると、病歴に脱毛があり、ほかに眼疾患のない場合は、放射線白内障とした。一般に、1950~52年の診察以来、病変は後退して視力がよくなっているものが多いように思われる。以前に報告のあった多色性混濁は、現在はその色彩を失い、小さくなっているか消失している。以前に認められた空胞は発見されていないので、全般的な印象として、これらの変化は水晶体線維形成による残屑物であると考えられる。この残屑物は水晶体後面の中心部に移動し、ここで徐々に吸収されているように思われる。

Dr. Sinskey および Dr. Kellett による白内障検査の比較が表20に示してある。この2人の眼科医は、多数の患者を取り扱ったが、両医師の診察を实际受けた患者は141人にすぎない。この141人のうち、102人(72.3%)について所見の一致がみられ、39人(27.7%)について所見の相違がみられた。予想されるとおり、診断に最も差があったのは、放射線白内障の疑いのある群であった。この比較調査の結果、Dr. Kellettが行なったような強力な継続的な放射線白内障調査を行なう必要があることが強調された。英国極東軍におけるかれの任務期間を延長できないことは遺憾である。

TABLE 20 COMPARISON OF CATARACT EXAMINATIONS BY SINSKEY AND KELLETT  
表20 Sinskey および Kellett による白内障検査の比較

Findings by Kellett Kellettによる所見	Findings by Sinskey		Sinskeyによる所見	
	Definite 明確な 放射線白内障	Questionable 放射線白内障 の疑い	Normal 正 常	Total 合計
Definite Radiation cataract 明確な放射線白内障 .....	30 (21.3%)	1 (0.7%)	-	31 (22.0%)
Questionable radiation cataract 放射線白内障の疑い .....	5 (3.5%)	19 (13.5%)	2 (1.4%)	26 (18.4%)
Normal 正 常 .....	2 (1.4%)	29 (20.6%)	53 (37.6%)	84 (59.6%)
Total 合計 .....	37 (26.2%)	49 (34.8%)	55 (39.0%)	141

## REFERENCES

### 参考文献

1. FINCH SC, JABLON S: Ophthalmology programs at ABCC: A brief review and preliminary plan. ABCC TR 12-61  
(ABCCにおける眼科学的研究企画。簡単な業績回顧と暫定的調査計画)
2. MILLER RJ, FUJINO T, NEFZGER MD: Ophthalmology research protocol, Hiroshima-Nagasaki. ABCC TR 13-64  
(眼科学的調査研究計画書, 広島・長崎)
3. JABLON S, ISHIDA M, BEEBE GW: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 2. Mortality in Selections I and II, 1950-59. Radiat Res 21:423-45, 1964  
(原子爆弾被爆生存者の寿命調査。第2報。第1次-第2次抽出サンプルにおける死亡率の研究。1950-59年)
4. Research plan for Joint ABCC-NIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62  
(原子爆弾被爆者生存者の寿命調査。第3報。サンプルおよび死亡率の概略。1950-60年)
5. FREEDMAN LR, FUKUSHIMA K, SEIGEL D: ABCC-JNIH Adult Health Study, Hiroshima and Nagasaki. 1960-62 cycle of examinations. ABCC TR 20-63  
(ABCC-予研成人健康調査, 広島・長崎。1960-62年診察周期)
6. ANGEVINE DM, JABLON S: Late radiation effects of neoplasia and other diseases in Japan. Ann NY Acad Sci 114:823-31, 1964  
(日本における放射線後影響としての新生物形成およびその他の疾患)
7. AUXIER JA, CHEKA JS, et al: Free-field radiation-dose distributions from the Hiroshima and Nagasaki bombs. Health Phys 12:425-9, 1966  
(広島および長崎における原爆の無遮蔽放射線分布)
8. COGAN DG, MARTIN SF, KIMURA SJ: Atomic bomb cataract. Science 110:654-5, 1949  
(原爆白内障)
9. COGAN DG, MARTIN SF, IKUI H: Ophthalmologic survey of atomic bomb survivors in Japan. Trans Amer Ophthal Soc 48:62-87, 1950  
(日本において行なわれた原爆被爆生存者の眼科学的調査)
10. KIMURA SJ: Ophthalmic survey in Hiroshima. Incomplete data. ABCC Files, August 1950  
(広島における眼科学的調査)
11. FILLMORE PG: Medical examination of Hiroshima patients with radiation cataracts. ABCC TR 28-59  
(放射線性白内障を有する広島被爆者の診察)
12. ROHRSCHEIDER W: Klinischer Beitrag zur Entstehung und Morphologie der Röntgen Strahlenkatarakt. Klin Mbl Augenheilk 81:254, 1928  
(放射線照射の白内障の形成および形態に対する臨床的寄与)
13. KIMURA SJ: Ophthalmic survey in Nagasaki. Incomplete data. ABCC Files, 1950  
(長崎における眼科学的調査)
14. KIMURA SJ, IKUI H: Atomic bomb radiation cataract: Case report with histopathological study. Amer J Ophthal 34:811-6, 1951  
(原爆放射線性白内障。症例報告とその組織病理学的検索)
15. COGAN DG, DONALDSON DD, REESE AB: Clinical and pathological characteristics of radiation cataract. Arch Ophthal 47:55, 1952  
(放射線性白内障の臨床的ならびに病理学的特質)
16. SINSKEY RM: The status of lenticular opacities caused by atomic radiation: Hiroshima and Nagasaki, Japan, 1951-53. Amer J Ophthal 39:285-93, 1955  
(広島、長崎の原爆放射線による水晶体混濁の状態。1951-53年にわたる調査)
17. WOODBURY LA: Analysis of the relationship of shielding and distance factors to radiation cataracts. ABCC Semi-Annual Report, January-June 1953. (Appended to this report)  
(遮蔽ならびに距離要因と放射線白内障との関係の解析) (本報告付録参照)
18. WOODBURY LA: Effects of sex, age, distance, and symptoms upon the occurrence of lenticular changes in people exposed to the atomic bomb in Hiroshima and Nagasaki. ABCC Files, undated. (Appended to this report)  
(広島および長崎の原爆被爆者における水晶体変化の発生に及ぼす性、年齢、距離および症状の影響) (本報告付録参照)
19. Studies of eye changes occurring in the population of Hiroshima. ABCC Semi-Annual Report, January-June 1954. pp 10-11 (Appended to this report)  
(広島の人口集団に発生した眼の変化の研究) (本報告付録参照)

20. MILLER RW: Delayed effects occurring within the first decade after exposure of young individuals to the Hiroshima atomic bomb. *Pediatrics* 18:1-18, 1956  
(原爆被爆後の最初の10年間に広島若年層被爆者に認められた遅発性影響)
21. INADA GJ, HALL CW: Statistical observations of lenticular changes in survivors of the Hiroshima A-bomb: Clinical and statistical observations of delayed effects. *Amer J Ophthal* 59:216-21, 1965  
(広島原爆被爆生存者における水晶体変化の統計的観察, 遅発性影響の臨床的, 統計的観察)
22. HALL CW, MILLER RJ, NEFZGER MD: Ophthalmologic findings in atomic bomb survivors of Hiroshima: 1956-57. ABCC TR 12-64  
(広島原爆被爆生存者における眼科学的所見, 1956-57年)
23. HIROSE I, FUJINO T, FUJISAWA H: Amplitude of visual accommodation in atomic bomb survivors. ABCC TR 9-67  
(原爆被爆者の眼調節力)
24. FRANCIS T, JABLON S, MOORE FE: Report of *ad hoc* Committee for Appraisal of ABCC Program. Memorandum addressed to Dr. R. Keith Cannan, Chairman, Division of Medical Sciences, NAS-NRC, 6 November, 1955. ABCC TR 33-59  
(ABCC研究計画の評価に関する特別委員会の報告)
25. BEEBE GW, ISHIDA M, JABLON S: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 1. Plan of study and mortality in the medical subsample (Selection I), 1950-58. *Radiat Res* 16:253-80, 1962  
(原子爆弾被爆生存者の寿命調査, 第1報. 医学調査サンプルにおける死亡率と研究方法の概略, 1950-1958年)
26. HAM WT Jr: Radiation cataract: A review. *Arch Ophthal* 50:618-43, 1953  
(放射線白内障, その再検討)
27. VISHNEVSKIY NA, ABDULLAYEVA VM, IVANOVA YEA: Initial symptoms and classification of A-cataract. *Vestn Oftal* 74:65-7, 1961  
(原爆による白内障の初期症状および分類)
28. COGAN DG, DONALDSON DD: Experimental radiation cataracts. 1. *Arch Ophthal* 45:508, 1951  
(実験的放射線性白内障, 第1報)
29. COGAN DG, GOFF JL, GRAVES E: Experimental radiation cataracts. 2. *Arch Ophthal* 47:581, 1952  
(実験的放射線性白内障, 第2報)
30. COGAN DG, DONALDSON DD: Experimental radiation cataracts. 3. *Arch Ophthal* 50:597-602, 1953  
(実験的放射線性白内障, 第3報)
31. LEINFELDER PJ, KERR HD: Production of cataracts in animals by X-rays of fast neutrons. *Amer J Ophthal* 19:739-56, 1936  
(速中性子X線照射による動物の白内障発生)
32. MERRIAM GR, FOCHT EF: A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. *Amer J Roentgen* 77:759-85, 1957  
(放射線白内障の臨床的研究および線量との関係)
33. WOODS AC: Cyclotron cataracts. *Amer J Ophthal* 47(5)Part 2:20-28, 1959  
(サイクロトン白内障)