

## [研究ノート] 広島・長崎原爆による 放出エネルギーの配分に関するノート

今中 哲二

京都大学複合原子力科学研究所

広島大学平和センター客員研究員

## [Research Note] Note on the Energy Distribution Released by the Atomic Bombs of Hiroshima and Nagasaki

Tetsuji IMANAKA

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Sciences, Kyoto University

Affiliated Researcher, The Center for Peace, Hiroshima University

### Abstract

The energy distribution released by the Hiroshima-Nagasaki type atomic bomb explosion is usually illustrated using a circle graph consisting of 50 % blast/shock, 35 % heat radiation, 5 % initial radiation and 10 % residual radiation. The origin of this circle graph is found to be in a series of enlightenment books describing the effects of atomic/nuclear weapons edited by Samuel Glasstone and sponsored by the US government. In this note, through detailed checking the contents of four Glasstone books: 1950, 1957, 1962 and 1977 versions, several misinterpretations and inappropriate translations found in Japanese books are explained. The term of “residual nuclear radiation” that means late radiations emitted after the explosion is misunderstood in Japanese books as “residual radiation” that means radiation from local fallout and neutron induced radioactivity near the hypocenter. Because the 10 % fraction for “residual (or delayed) nuclear radiation” is not included in the explosion energy when it is expressed as TNT equivalent value of kiloton, the circle graph

illustrating the energy distribution from atomic bomb becomes a cause of misunderstanding.

## はじめに

東日本大震災と引き続く福島第1原発事故にともなう騒然とした雰囲気はまだ続いていた2011年4月、『原爆放射線の人体影響1992』（放射線被曝者医療国際協力推進協議会 1992）の改訂作業を進めていた広島放射線被曝者医療国際協力推進協議会（以下HICARE）の編集担当の方から、最初の章（原子爆弾による物理的破壊）の原稿をチェックしてほしいとの依頼があった。改訂版を出すに当たって、「原爆放出放射線エネルギーに“誘導放射能”や“死の灰”とかが入っている（図1左）のは解せない」とのコメントがあるそうだ。実は私も、原爆放出エネルギー配分の定説となっている、「爆風50%、熱線35%、放射線15%（うち5%が初期放射線で10%が残留放射線）」というのは誰が言い始めたのだろうと、それ以前にも調べたことがあったがよく分からなかった。2011年のときは、米国政府から出版され、原爆の解説書として定評のある“The Effects of Nuclear Weapons. Third Edition”（Glasstone 1977）を読み込むと、円グラフは出て来なかったものの、原爆エネルギー配分について該当する記述があり、この本が出典であろうと判断した。そして、炸裂後に核分裂生成物などから放出される放射線を意味する“residual (or delayed) nuclear radiation”を「残留放射線：“誘導放射能”と“死の灰”」とするのは不適切なので、HICARE改訂版（2012）では「後期放射線」に変えてもらった（図1右）。その他に留意すべきこととして、Glasstone本の1977年版では「原爆放出エネルギーをTNT火薬換算で表すときには後期放射線の10%は含めない」ということも分かった。つまり、広島原爆の爆発力をTNT換算で16kton（キロトン）とすると、総放出エネルギーは $16/0.9=17.8\text{kton}$ となる。

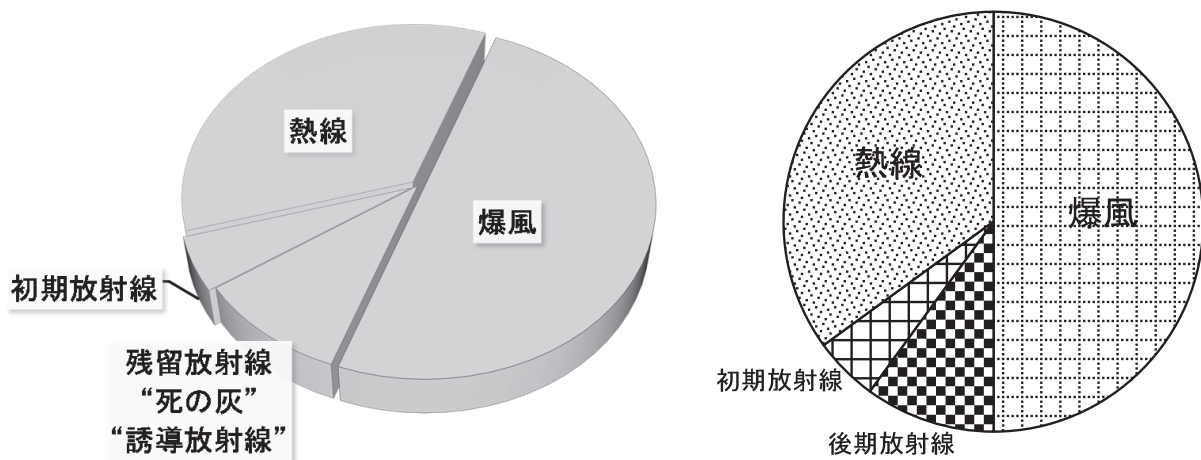


図1. 「原爆放射線の人体影響」で示されている原爆エネルギー配分の円グラフ

左：1992年版 右：2012年改訂版

Glasstone本の初版は1950年の出版で、その後1957年版、1962年版、1977年版と3回改訂され、1950年版と1957年版については邦訳も出版されている。原爆放出エネルギーの配分に関する記述を改めて初版から辿ってみると、微妙に違っていたり一貫していなかったりする点も認められる。このノートでは、エネルギー配分に関する円グラフや「残留放射線」という不適切な訳が出てきた所以や、版の間での矛盾した記述を整理しておく。

## 1. Glasstone本について

Samual Glasstone (1897-1986) はロンドン生まれの化学者で1939年に米国に移り1944年に米国籍を取得している<sup>1</sup>。マンハッタン計画には直接の関与はなかったようだが、米国で物理化学に関する啓蒙本を出している。最初の原爆本1950年版は、米国国防省 (USDoD) と米国原子力委員会 (USAEC) をスポンサーとする原爆解説書として計画され、Los Alamos研究所の専門家が中心となって執筆していたところに、Glasstoneが全体の編集者 (Executive Editor) として招聘された。初版は“The Effects of Atomic Bombs”として1950年に出版された。1957年に水爆を加えて“The Effects of Nuclear Weapons”というタイトルの改訂版になり、1962年に改訂第2版、1977年に改訂第3版が出ている。原水爆の原理、火球や原爆雲の発生と成長、爆風・熱線・放射線の物理的プロセス、放射性降下物、広島・長崎の原爆被害、人に対する被曝影響といった問題を網羅的に丁寧に記述した「教科書」のように見なされてきた。

いずれも下記からdownloadできる。

- ・1950年版：<https://nige.files.wordpress.com/2009/11/eaw.pdf><sup>2</sup> 2021年12月23日アクセス
  - ・1957年版：<https://www.osti.gov/servlets/purl/972900> 2021年12月23日アクセス
  - ・1962年版：<https://www.osti.gov/servlets/purl/972902> 2021年12月23日アクセス
  - ・1977年版：<https://www.osti.gov/servlets/purl/6852629> 2021年12月23日アクセス
- 1950年版と1957年版は、日本語訳が出版されている。
- ・1950年版：武谷三男ら訳「原子兵器の効果」科学振興社、1951.
  - ・1957年版：武谷三男ら訳「原子力ハンドブック 爆弾編」商工出版社、1958.

## 2. 原爆放出エネルギーの配分についての記述

以下、各版での放出エネルギーに関する記述について、「原本の抜粋」、「記述の要点」、「筆者のコメント」の順にまとめる

---

<sup>1</sup> <https://prabook.com/web/samuel.glasstone/1447802> 2021年12月23日アクセス

<sup>2</sup> 一部が抜けている。

## 2-1. 1950年版：The Effects of Atomic Weapons

### 2-1-1. 1950年版原文抜粋（太字は今中による強調カ所）

1.36項 (p13) In order to provide a definite basis for discussion, **the present book will consider, primarily, the effects of a nominal atomic bomb, similar to those used at Hiroshima and Nagasaki. The energy release of such a bomb is approximately equivalent to that of 20 kilotons, i. e., 20,000 tons, of TNT, and since the energy equivalent of a ton of TNT is taken to be  $10^9$  calories, the energy release of the nominal atomic bomb is  $2 \times 10^{13}$  calories.**

1.38項 (p14) When uranium 235 or plutonium undergoes fission, not all of the energy is released promptly; **about 89 percent is liberated within the first second, while the remaining 11 percent appears later, as will be explained below (§ 1.55). Since the latter is not available to contribute either to the blast or to other immediate primary effects of an atomic bomb, it is not included in the energy values given above. The fission of a single atom of uranium or plutonium releases  $6.7 \times 10^{12}$  calories, and hence, in order to produce  $2 \times 10^{13}$  calories, it is necessary for about  $3 \times 10^{24}$  atoms to suffer fission to release the energy equivalent to 20 kilotons of TNT. This number of atoms is, of course, approximately the total number present in 1 kilogram of uranium 235 or plutonium.**

1.55項 (p21) In the fission of uranium 235 by slow neutrons, **about 83 percent of the total energy liberated is converted into kinetic energy of the fission fragments, 3 percent is energy of the instantaneous gamma radiation, and another 3 percent of the energy is carried off by the neutrons, thus making a total of 89 percent of the fission energy, which is released promptly (§ 1.38). The remaining 11 percent is set free in the course of time as energy of the beta and gamma rays produced by the radioactive decay of the fission products.**

6.2項 (p180) As a consequence, the temperature attained is much higher, with the result that a larger proportion of the energy is emitted as thermal radiation at the time of the explosion. **An atomic bomb, for example, releases roughly one-third of its total energy in the form of this radiation.** For the nominal atomic bomb discussed in this book, the energy emitted in this manner would be about  $6.7 \times 10^{12}$  calories, which is equivalent to about 8 million kilowatt hours.

8.1項 (p248) **The residual nuclear radiation, that is to say, those which are emitted after 1 minute from the instant of an atomic explosion, would arise mainly from the fission products, to a lesser extent from the uranium 235 or plutonium 239 which has escaped fission in the atomic explosion, and, in certain circumstances, from activity induced by neutrons in various elements present in the earth or in the sea.**

### 2-1-2. 1950年版の要点（下線は、筆者による強調部分）

1) 1.36項：TNT換算 1 kton (キロトン) のエネルギー量 =  $1 \times 10^{12}$  cal (カロリー) とする。 広島・長崎は標準の原爆 (nominal bomb) で、その出力は TNT換算にして  $20 \text{kt} = 2 \times 10^{13}$  cal。

- 2) 1.38項：原爆炸裂時 (within the first second) に放出されるのは核分裂エネルギーの89%で、残り11%はその後に放出される。この11%は、(TNT換算) 放出エネルギーには勘定しない。核分裂1回の放出エネルギーは $6.7 \times 10^{12}$  calで、20ktonの爆発は $3 \times 10^{24}$ 個の核分裂に相当する。
- 3) 1.55項：89%の内訳は、核分裂片の運動エネルギー83%、即発ガンマ線3%、中性子3%。
- 4) 6.2項：TNT換算20ktonの爆発エネルギーのうち、約3分の1 ( $6.7 \times 10^{12}$  cal) が熱線 (thermal radiation) エネルギーに変換される。
- 5) 8.1項：原爆炸裂1分後以降に放出される「後期放射線」(residual nuclear radiation) には、核分裂生成物、燃え残りのウラン235やプルトニウム239、それに中性子誘導放射能が含まれる。

### 2-1-3. 1950年版へのコメント

- i) TNT火薬（トリニトロトルエン）1gの爆発で発生するエネルギーは条件によって若干変わるが約1000cal（カロリー）なので、シンプルに「TNT換算 1g=1000cal」と定義される。TNT換算1ktonは $1 \times 10^{12}$  calで、広島・長崎型の標準原爆は20ktonなので $2 \times 10^{13}$  calの放出エネルギーとなる。
- ii) このノートでは、特に触れない限り、広島・長崎程度の規模の空中爆発が議論の対象である。ちなみに、広島・長崎での放射線量評価に用いられているDS02（Dosimetry System 2002）によると、広島原爆の爆発規模は16ktonで爆発高さは600m、長崎原爆の爆発規模は21ktonで爆発高さは503mとされている（Young and Kerr 2005）。
- iii) 炸裂時に放出されるのは、総放出エネルギーの89%で、残りの11%は後から放出される。この11%は爆発の直接的効果に寄与しないので、TNT換算で爆発力を表すときには含めない。つまり、TNT換算20ktonの場合、総放出エネルギーはTNT換算で $20/0.89=22.5$  ktonとなる。
- iv) 8.1項に出てくる“residual nuclear radiation”は、1950年版の日本語訳（武谷ら 1951）では「残留核放射線」と訳されている。この訳が、いつの間にか「残留放射線」になり、図1左のように、原爆放出エネルギーの一部として表されるようになったのであろう。「はじめに」で述べたように、HICARE改訂版（2012）ではresidual nuclear radiationは「後期放射線」とした。
- v) 一般的に「残留放射線」という用語は、爆心付近での中性子誘導放射能による早期入市者の被曝、ならびに黒い雨などの放射性降下物からの被曝に対して用いられる。残留放射線も「後期放射線」の一部を構成するが、原爆放出エネルギーとしての割合は小さい。
- vi) 核分裂1回の放出エネルギーは $6.7 \times 10^{12}$  calで、をMeV単位で表すと173MeVとなる。後期放射線の11%も勘定に入れると194MeVとなる。

## 2-2. 1957年版：The Effects of Nuclear Weapons

### 2-2-1. 1957年版原文の抜粋

1.19項 (p6) In a fission weapon, however, the situation is different. Only about 85 percent of the energy released in fission is in the form of heat (kinetic) energy,.... The fraction of the fission energy emitted as thermal radiation varies with the nature of the weapon and with the conditions of the explosion, but for a bomb burst fairly high in the air it is roughly one-third.

Consequently, about 50 percent of the total energy is then utilized to cause blast and shock (Fig. 1.19).

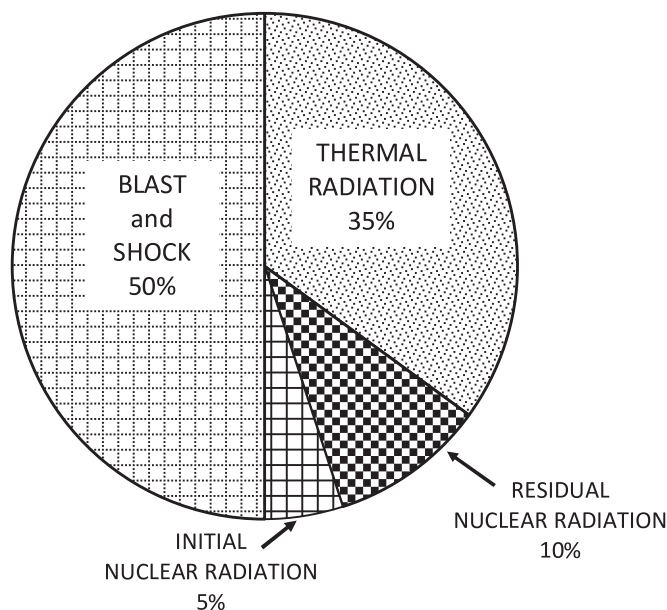


Figure 1.19. Distribution of energy in a typical air burst.

1.20項 (p6) The remaining 15 percent of the energy of the nuclear explosion is released as various nuclear radiations. **Of this, 5 percent constitute the initial nuclear radiations produced within a minute or so of the explosion; whereas the final 10 percent of the bomb energy is emitted over a period of time in the form of the residual nuclear radiation.** This is due almost entirely to the radioactivity of the fission products present in the bomb residue after the explosion.

7.4項 (p285) Of the total energy of nuclear explosion, **one third is emitted in the form of thermal radiation. This means that for every 1-kiloton energy of the nuclear explosion, something like  $3.3 \times 10^{11}$  calories**, which is equivalent to nearly 400,000 kilowatt hours, is released as radiation thermal energy within a few seconds (or less) of the detonation.

9.1項 (p390) **Another source of residual nuclear radiation is the activity induced by neutrons captured in various elements** present in the earth, in the sea, or in substances which may be in the explosion environment.

#### 2-2-2. 1957年版の要点

- 1) 1.19項で「核分裂エネルギーの85%は熱（運動）エネルギーとして放出され、空中爆発の場合に熱線として放出されるのは核分裂エネルギーの約3分の1で、50%は爆風と衝撃に費やされる（Fig. 1.19）」。
- 2) 1.20節で「放射線15%のうち、5%はinitial nuclear radiationで10%はresidual nuclear radiationである」と述べている。

### 2-2-3. 1957年版へのコメント

- i) 「爆風50%、熱線35%、放射線15%」の円グラフは、1957版のFig. 1.19由来していたと考えて間違いないだろう。1950年版にあった「TNT換算での放出エネルギーにはresidual nuclear radiationを含めない」という記述が、何故か1957年版では見あたらない。原爆の放出エネルギー割合としてFig. 1.19を示されたら、TNT換算エネルギーに後期放射線も含まれていると考えるのが普通の感覚だろう。
- ii) 7.4項で、「熱線エネルギーは、総エネルギーの3分の1で1kton当り約 $3.3 \times 10^{11}$ calが放出される」という記述がある。(TNT換算) 1kton当りの総放出エネルギーは $1 \times 10^{12}$ calとなる。この値は、1950年版と同じであるが、1950年版では後期放射線は含めないと明確に述べている。
- iii) 1950年版では、各章の執筆者が明示されているが、1957年版では「Samuel Glasstone編」とあるだけで、各章の執筆者は示されていない。1957年版では水爆に関する項目が増え構成が変わったこともあって記述に混乱が起きたのかも知れない。

### 2-3. 1962年版：The Effects of Nuclear Weapons—Revised Edition

#### 2-3-1. 1962年版原文の抜粋

- 1.22項 (p7) The fraction of the explosion yield received as thermal energy at a distance from the burst point depends on the nature of the weapon and particularly on the environment of the explosion. **For a detonation in the atmosphere below an altitude of about 100,000 feet, it ranges from about 30 to 40 percent. For purposes of illustration, it will be assumed here that 35 percent of the explosion energy is received as thermal energy. In this event, about 50 percent of the fission energy will be utilized in the production of blast and shock (Fig. 1.22)** (筆者注：1950年版のFig.1.19と同じ円グラフ)
- 1.23項 (p8) In addition to the **85 percent of the fission energy which is converted into blast, shock, and thermal radiation, the remaining 15 percent is released as various nuclear radiations. Of this, some 5 percent constitutes the initial nuclear radiations produced within a minute or so of the explosion. The final 10 percent of the total fission explosion energy represents that of the residual (or delayed) nuclear radiation which is emitted over a period of time.**
- 1.24項 (p9) Since about 10 percent of the total fission energy is released in the form of residual nuclear radiation some time after the detonation, **this is not included when the energy yield of a nuclear explosion is stated, e.g., in terms of the TNT equivalent** as in § 1.18. Hence, in a pure fission weapon the explosion energy is about 90 percent of the total fission energy

#### 2-3-2. 1962年版の要点

- 1) 1.22項：熱線の割合は30～40%だが、とりあえず35%にしておく。熱線と爆風・衝撃を合わせて85%なので、爆風・衝撃は50%となる。
- 2) 1.22項：円グラフFig.1.22は、1950年版のFig.1.19と全く同じ

- 3) 1.23項：核分裂で発生するエネルギーの85%が、爆風、衝撃、熱線に変換される。残り15%は、initial nuclear radiationsの5%とresidual (or delayed) nuclear radiationの10%である。
- 4) 1.24項：residual (or delayed) nuclear radiationの10%は、TNT換算の爆発力に含めない。つまり、爆発放出エネルギーは核分裂エネルギーの90%である。

### 2-3-3. 1962年版へのコメント

- i) 1957年版と同じ円グラフ (Fig.1.22) が出てくるが、「後期放射線の10%はTNT換算に含めない」と述べている。
- ii) 少々まどろっこしいが、「円グラフの総放出エネルギー」と「TNT換算の原爆放出エネルギー」とが異なることを承知していれば、1950年版の記述と矛盾しない。
- iii) 1950年版と1957年版のresidual nuclear radiationがresidual (or delayed) nuclear radiationと、(or delayed) が追加されている。「後期放射線」とresidual radiation「残留放射線」との区別を明確にするためかと思われる。

### 2-4. 1977年版：The Effects of Nuclear Weapons—Third Edition

#### 2-4-1. 1977年版原文の抜粋

- 1.25項 (p7) The exact distribution of energy between air shock and thermal radiation is related in a complex manner to the explosive energy yield, the burst altitude, and, to some extent, to the weapon design, as will be seen in this and later chapters. However, an approximate rule of thumb for a fission weapon exploded in the air at an altitude of less than about 40,000 feet is that **35 percent of the explosion energy is in the form of thermal radiation and 50 percent produces air shock.**
- 1.26項 (p7) Regardless of the height of burst, approximately 85 percent of the explosive energy of a nuclear fission produces air blast (and shock), thermal radiation, and heat. The remaining 15 percent of the energy is released as various nuclear radiations. **Of this, 5 percent constitutes the initial nuclear radiation, defined as that produced within a minute or so of the explosion (§ 2.42). The final 10 percent of the total fission energy represents that of the residual (or delayed) nuclear radiation which is emitted over a period of time.**
- 1.27項 (p8) Because about 10 percent of type of the total fission energy is released in the form of residual nuclear radiation some time after the detonation, **this is not included when the energy yield of a nuclear explosion is stated, e.g., in terms of the TNT equivalent as in § 1.20. Hence, in a pure fission weapon the explosion energy is about 90 percent of the total fission energy, ...**
- 1.43項 (p12) The manner in which this energy is distributed among the fission fragments and the various radiations associated with fission is shown in Table 1.43
- 1.45項 (p12) Only part of the fission energy is immediately available in a nuclear explosion; this includes **the kinetic energy of the fission fragments, most of the energy of the instantaneous**



Table 1.43

## DISTRIBUTION OF FISSION ENERGY

	MeV
Kinetic energy of fission fragments	165 ± 5
Instantaneous gamma-ray energy	7 ± 1
Kinetic energy of fission neutrons	5 ± 0.5
Beta particles from fission products	7 ± 1
Gamma rays from fission products	6 ± 1
Neutrinos from fission products	10
Total energy per fission	200 ± 6

gamma rays, which is converted into other forms of energy within the exploding weapon, and also most of the neutron kinetic energy, but only a small fraction of the decay energy of the fission products. There is some compensation from energy released in reactions in which neutrons are captured by the weapon debris, and so it is usually accepted that about 180 MeV of energy are immediately available per fission.

## 2-4-2. 1977年版の要点

- 1) 1.26項：空中爆発の場合、おおよその話だが、爆発エネルギーの35%が熱線、50%が爆風・衝撃となる。残りの15%は、5%が1分以内の初期放射線、10%が1分以降の後期放射線である。
- 2) 1957年版と1962年版に出てきた“問題の円グラフ”はなくなった。
- 3) 1.27項：後期放射線の10%は、原爆の爆発エネルギーをTNT換算で表すときは含めない。つまり、核分裂爆弾の爆発エネルギー (explosion energy) は、核分裂エネルギー (fission energy) の90%である。
- 4) 1.43項：1回の核分裂にともなう放出エネルギーの配分がTable 1.43に示されている。合計は200MeVで、このうち90%の180MeVが爆発エネルギーに使われるとされている。

## 2-4-3. 1977年版へのコメント

- i) 例の円グラフは紛らわしいので、1977年版では削除されたようだ。
- ii) 核分裂で発生する各粒子へのエネルギーの配分がTable 1.43で示された。核分裂生成物の165MeVの全部、また即発ガンマ線（7 MeV）や中性子線（5 MeV）のエネルギーの多くは爆弾構成物に吸収・散乱され、fireballを生成する。そのfireballから、熱線（35%）と爆風・衝撃（50%）が発生すると考えた方が分かりやすい。
- iii) 1.45項のTable 1.45で、「TNT換算 1 ktonの核爆発は $1.45 \times 10^{23}$ 個（0.24mole）の核分裂に相当する」と定義している。先に、TNT換算 1 koton= $10^{12}$ calと定義しているので、核分裂当たりの爆発エネルギーは180MeVとなり、1.43項と一致する。

### 3. 日本語本での扱い

原爆の仕組みや威力についての日本語の学術書から、放出エネルギーの分布に関する記述を抜き書きしておく。

#### 3-1. 武谷三男ら共訳「原子兵器の効果」科学新興社 1951年

Glasstone本1950年版の翻訳。initial nuclear radiationは「初期核放射線」、residual nuclear radiationは「残留核放射線」と訳されていて、residual radiationは「残留放射線」。TNT換算については、p17で「最初の約1秒間には約89%放出され、残りの11%はそののちになって現れる。...後者は原子爆弾の爆風やその他の直接の一次的な効果に役立たないから、上述のエネルギー値の中には含めなかったのである」と正確に訳されている。

#### 3-2. 武谷三男、服部学監訳「原子力ハンドブック 爆弾編」商工出版社 1958年

Glasstone本1957年版の翻訳。原本のFig. 1.19は、「1.19図 代表的な空中爆発のエネルギーの配分」として円グラフ（爆風と衝撃50%、熱線35%、初期核放射線5%、残留核放射線10%）が示され、当然ながら、「爆発力をTNTで表すときには、残留核放射線の10%は含めない」という記述はない。監訳者のひとり武谷三男氏は、高名な進歩的物理学者であり、この本の1.19図が日本で広く流布したものと思われる。

#### 3-3. 庄野直美、飯島宗一著「核放射線と原爆症」日本放送出版協会 1975年

第1章p16で（広島・長崎は）「空中爆発のため、放出エネルギーのうち50%が爆風に、35%が熱線に使われ、残りの15%が放射線に割り当てられたという（米国原子力委員会編『原子兵器の効果』参照）」とあり、p18で「全エネルギーの15%を占める放射線のうち、5%が瞬間放射線、残り10%が残留放射線であった」とされている。例の円グラフは引用されていない。また、TNT換算で原爆エネルギーを表すときに残留放射線は含まない、という言及はない。

#### 3-4. 広島市・長崎市原爆災害誌編集委員会編「広島・長崎の原爆災害」岩波書店 1979年

第2章p8で「核分裂片はいずれもつよい放射能をもち、核分裂によって生ずるエネルギー全体の約17%は放射線のエネルギーである」。p9で「火球からはその温度に応じた熱線が放出される。熱線のエネルギーは、空中爆発の原爆の場合、全エネルギーの約35%を占める。」第3章p13で「原子爆弾の全エネルギーのうち約50%は爆風のエネルギーになると考えられている」。

第5章p34で「原爆の空中爆発によって生ずる放射線は、爆発後1分以内に放出される初期放射線と、それ以降のある期間、地上で観察される残留放射線のふたつに大別できる」。「初期放射線としてガンマ線と中性子線が重要な意味をもってくる。この両放射線のエネルギーは、爆発で放出される全エネルギーのおよそ3%を占める」。p38で「残留放射線の線源として考えられるものは、核分裂生成物（主としてベータ線とガンマ線を放出する）、ウランまたはプルトニウムが未分裂のまま飛び散ったもの（主としてアルファ線とガンマ線を放出する）、原爆器材や空中あるいは地上の物質で中性子線により

放射化されたもの（ベータ線とガンマ線を放出する）などである」とあるが、残留放射能のエネルギー量についての記述はないし、例の円グラフも出て来ない。

### 3-5. 服部学著「核兵器の核戦争」大月書店 1982年

第3章p83で「代表的な空中爆発の場合、爆風や衝撃波を生ずるために消費されるエネルギーが約50%、熱線として放出されるものが約35%で、残りの15%は放射線のエネルギーのかたちをとる。放射線15%のうち5%分は爆発後約1分以内に放出され、初期放射線と呼ばれる。残りの10%分は、残留放射線として長い時間にわたって放出される」と述べている。円グラフは出てこない。

### 3-6. 沢田昭二ほか著「広島・長崎原爆被害の実相」新日本出版 1999年

第2章p43で「核分裂によって生じたエネルギーの約半分が爆風のエネルギーに、約1/3が熱線のエネルギーに、約5%が初期放射線と呼ばれるガンマ線と中性子線のエネルギーに、残りの約10%が爆発1分以降に放出される残留放射線のエネルギーとして放出される（図2.1）」と述べている。図2.1は、Glasstone本1957年版のFigure 1.19と同じである。

## 4. まとめ

- Glasstone本の中でも若干の混乱が認められるものの、「爆風50%、熱線35%、放射線15%（初期放射線5%、残留放射線10%）」という円グラフの出処がGlasstone本にあることは間違いないだろう。
- residual nuclear radiationまたはresidual (or delayed) nuclear radiationという用語は炸裂後（しばらく、または1分以降）に放出される放射線全体のことであり、早期入市者の被曝と放射性降下物にともなう被曝について用いられる「残留放射線」という訳をあてるのは不適切である。「後期放射線」としておく。
- 原爆の威力をTNT火薬換算ktonで表すときには、総放出エネルギーの約10%にあたる「後期放射線」は含まれない。
- 原爆のエネルギー配分として、「爆風50%、熱線35%、放射線15%（初期放射線5%、後期放射線10%）」とした円グラフを示すはお勧めできない。あえて円グラフを使うとしたら、TNT火薬換算値の原爆放出エネルギーには後期放射線が含まれていない旨の注釈が必要である。

## おわりに

広島・長崎原爆による放出エネルギー分布を示す円グラフの由来を知りたいと思ったのは、原子力工学を勉強しながら原爆放射線量評価にかかわってきた筆者として「残留放射線が10%とういうのは大きいなあ」という感覚があったからだった。このノートでは、Glasstone本を子細に読み込んで、その

記述がどのように解釈されてきたかを追っかけてたつもりである。

まぎらわしい言い方になるが、筆者としては、Glasstone本の記述をそのまま「正解」として受け入れているわけではない。たとえば、DS02に基づくと、広島・長崎原爆からの漏洩放射線のエネルギー量は1%以下であり、後期放射線も（宇宙のかなたまで抜けて行くneutrinoを除外すると）5%程度にしかならない。本ノートは、核兵器に関する歴史的名著である「Glasstone本に依拠して考えた」という論考として読んで頂きたい。

#### 参考文献

放射線被曝者医療国際協力推進協議会編（1992）『原爆放射線の人体影響1992』文光堂

放射線被曝者医療国際協力推進協議会編（2012）『原爆放射線の人体影響 改訂第2版』文光堂

S. Glasstone, *Executive Editor* (1950) *The Effects of Atomic Weapons*, Washington DC, USDoD and USAEC.

S. Glasstone, *Editor* (1957) *The Effects of Nuclear Weapons*, Washington DC, USDoD and USAEC.

S. Glasstone, *Editor* (1962) *The Effects of Nuclear Weapons — Revised Edition*, Washington DC, USDoD and USAEC.

S. Glasstoe and P. J. Dolan *compiled and edited* (1977) *The Effects of Nuclear Weapons — Third Edition*, Washington DC, USDoD and USDOE

R. W. Young and G. D. Kerr, *Editor* (2005) *Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. Dosimetry System 2002*. 放射線影響研究所

武谷三男ほか共訳、Samuel Glasstone編（1951）『原子兵器の効果』科学新興社

武谷三男、服部学監訳、Samuel Glasstone編（1958）『原子力ハンドブック 爆弾編』商工出版社

庄野直美、飯島宗一（1975）『核放射線と原爆症』日本放送出版協会

広島市・長崎市原爆災害誌編集委員会編（1979）『広島・長崎の原爆被害』岩波書店

服部学（1982）『核兵器と核戦争』大月書店

沢田昭二ほか（1999）『広島・長崎原爆被害の実相』新日本出版社