

昭和53年度

# 広島、長崎の残留放射能調査報告書

(厚生省調査研究委託費による)

(財) 日本公衆衛生協会

## 調査研究の目的

この調査研究は、昭和51年に実施した広島および長崎における放射能調査の結果、残留放射能が有意に高いと思われる地点があること等にかんがみ、それらの地点を含む地区の土壌中の残留放射能が有意に高いかどうかを調査することを目的とする。

## 研究班員名簿

|       |         |                                |
|-------|---------|--------------------------------|
| 班長    | 橋 詰 雅   | 放射線医学総合研究所物理研究部長               |
| 班員    | 岡 島 俊 三 | 長崎大学医学部原爆後障害医療研究施設放射線生物物理学部門教授 |
|       | 竹 下 健 児 | 広島大学原爆放射能医学研究所障害基礎研究部門教授       |
|       | 田 中 栄 一 | 放射線医学総合研究所物理研究部第一研究室長          |
|       | 田 中 仁   | 千葉大学医学部付属診療放射線技師学校講師           |
|       | 藤田正一郎   | (財)放射線影響研究所疫学統計部研究員            |
|       | 丸 山 隆 司 | 放射線医学総合研究所物理研究部第三研究室長          |
|       | 山 田 広 明 | (財)放射線影響研究所疫学統計部調査課長           |
|       | 吉 沢 康 雄 | 東京大学医学部放射線健康管理学教授              |
| 事務局担当 | 伊 達 厚 仁 | (財)日本公衆衛生協会                    |

# 1. 緒 言

広島、長崎に投下された原子爆弾による土壌中の残留放射能について、昭和51年度に第1回の調査（前回の調査という）が行われた。このときの調査では、広島、長崎の両市の爆心を中心に2kmごとに同心円を描き、その同心円上に6地点をとることを基準として、爆心から30kmの範囲内から約80地点ずつを選び、これらの地点から均等に土壌を採取した。さらに、広島では「黒い雨降雨地域」、長崎では「西山地区」を特別地域・区に指定し、それらの地域・区からも土壌を採取した。

両市で採取した合計200地点の土壌中の放射能をGe(Li)半導体検出器で測定し、地表面放射能密度(mCi/km<sup>2</sup>)（以下、放射能密度という）を算定した。その結果、特別地域・区以外に広島で爆心から北へ14km(N-14)および北北西へ22km(NNW-22)、長崎で北西へ14km(NW-14)および22km(NW-22)、それに東へ6km(E-6)の計5地点で<sup>137</sup>Csが有意に高い放射能密度を示した。しかし、これらの地点の残留放射能が、広島、長崎の原子爆弾によるものとの結論には至らなかった。

今回、再調査の機会が与えられたので、上記の地点を含むそれぞれの地区（以下、検討地区という）から10地点以上の土壌試料を採取すると共に、各検討地区の対照と考えられる地区（以下、対照地区という）からも同数の土壌試料を採取し、両地区で得た放射能密度の平均値について、その差の有意性を統計的手法により検討した。

## 2. 測定方法

### 2-1 土壌の採取

広島、長崎の原子爆弾からの核分裂生成物が地表に一様に分布したとしても、投下後の気象条件、降下点の地形、その後の核実験の影響などによって、土壌中の残留放射能はかなり変動すると考えられる。

前回の調査では、各地点から1ヶずつの土壌試料を採取し、それらの放射能密度

を測定した。その結果、広島は107地点について得た放射能密度の算術平均と標準偏差は68.4±37.5(mCi/km<sup>2</sup>)であり、長崎では98地点の試料について140.4±53.2(mCi/km<sup>2</sup>)であった。両市とも各地点間の放射能密度は、平均値のまわりに40～50%程度の変動を示した。これらの地点はこの周囲半径約1km以上の地区を代表する点と考え、各地点の放射能密度の有意差を検定した。同一地区内においても、放射能密度はある程度の変動をもつと考えられる。ある地区から採取した多数の土壌試料から得た放射能密度の平均値は、その地区の放射能密度の代表値により近い値を示す。

今回の調査では、このような考えのもとに、検討地区、対照地区などについて、各地区から10地点以上の土壌試料を採取して、それらの地区の放射能密度の平均値を算出した。

対照地区は各検討地区と同一方向の地点を選び、表1のように決めた。また、参考資料とするため、前回の調査で異常に低い放射能密度を示した広島はN-22、また、長崎の放射能密度の平均値に近い値を示したNE-22、さらに検討地区とは反対方向にある広島はESE-18、長崎はSE-8、SSW-10およびSSW-14についても調査した(表2)。

表1. 検討地区と対照地区

| 検 討 地 区 |        | 対 照 地 区             |
|---------|--------|---------------------|
| 広 島     | N-14   | N-12                |
|         | NNW-22 | NNW-14              |
| 長 崎     | NW-14  | NW-12, NW-26, NW-28 |
|         | NW-22  | NW-12, NW-26, NW-28 |
|         | E-6    | E-14                |

表2. 参考地区

| 広 島          | 長 崎            |
|--------------|----------------|
| N-22, ESE-18 | NE-22, SE-8    |
|              | SSW-10, SSW-14 |

土壌の採取にあたっては、前回の調査と同様に採取地点が投下後から採取時点まで人畜などによって踏み荒された形跡がないかなど、投下直後の自然環境を保持し

ていることを確認した。別添資料1および2に、それぞれ広島および長崎の採取地点を地図上に示す。

採取地区は前回の調査における基準採取地点を中心に、半径約1km以内とした。

土壌の採取方法や調製方法は前回と同様であり、地表から10cm位までの深さの土壌を掘り取り、風乾後植物の根毛や小石を除去して測定用の細土試料に精製した。

## 2-2 機器分析による定量

土壌中にはウラン系列やトリウム系列などの自然放射性物質が含まれており、これらの物質からの影響を受けずに $^{137}\text{Cs}$ の放射能を正確に測定するため、分解能のすぐれたGe(Li)半導体検出器を用いた。使用した検出器(A)はCANBERRA社(U.S.A)製のSCORPIO(49.5mm $\phi$ , 37.5mm,有効面積18.5cm $^2$ ), (B)は同じCANBERRA社製のモデル7229(45mm $\phi$ , 41mm,有効面積15cm $^2$ )であった。

土壌試料はあらかじめNaI(Tl)シンチレーション・スペクトロメータで測定した放射能の強弱により分類し、その強弱に従って半導体検出器の測定時間を設定した。半導体検出器による測定方法などは科学技術庁方式<sup>1)</sup>に準拠した。一回の測定に用いた土壌試料の重量は、検出器(A)および(B)でそれぞれ約1kgおよび約500gであった。任意に抽出した10地点の土壌試料について検出器(A)および(B)による $^{137}\text{Cs}$ の放射能の比較測定を行った。

参考までに、すべての試料について $^{137}\text{Cs}$ のほかに $^{40}\text{K}$ および $^{208}\text{Tl}$ の放射能を測定した。

## 3. 測定結果

### 3-1 比較測定

10地点の試料について、半導体検出器(A)および(B)で測定した結果を別添資料3に示す。両者の測定値は比較的よく一致しており、検出器(A)および(B)で得た結果を直接に比較できる。

### 3-2 土壌試料の計数率

広島および長崎の土壌試料は、それぞれ検出器(A)および(B)で測定した。 $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  および  $^{208}\text{Tl}$  についての計数率(cps)とその標準偏差を別添資料4と5に示す。計数率の標準誤差は5%以下であった。原子爆弾や核実験に無関係と考えられる $^{40}\text{K}$ および $^{208}\text{Tl}$ の放射能も地点によりかなりの変動が認められる。

### 3-3 放射能密度

別添資料4および5から求めた土壌試料の比放射能(nCi/kg)に、容積重(kg/ $\ell$ )などを乗じ $^{137}\text{Cs}$ の放射能密度(mCi/km $^2$ )を算定した(付録1参照)。それらの結果を別添資料6および7に示す。表中に前回調査の結果を併記した。今回の調査で得た各地区の放射能密度の平均値は前回の調査結果に比べて、全般的に低かった。前回の調査で高い値を示した地区の放射能密度は今回の調査では低い値となり、逆に前回低かった地区は高い値となる傾向が見られた。今回は一つの地区について10地点以上の土壌試料を対象としているのに対し、前回は一つの地区から採取した1地点の試料だけを対象としたためにこのような結果が生じたと考えられる。

## 4. 統計的処理

ある地区の $^{137}\text{Cs}$ の放射能密度が、他の地区のそれに比べて有意に高いかどうかを検定するのに、それぞれの地区における放射能密度の分布が平均値 $\mu_1$ ,  $\mu_2$ と標準偏差 $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  (必ずしも $\sigma_1 = \sigma_2$ でない)をもつ正規分布をすると仮定して、 $\mu_1$ と $\mu_2$ の比較の問題として以下の方法に従った。

2つの地区からそれぞれ大きさ $n_1$ ,  $n_2$ の標本を取り、

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \dots\dots\dots(1)$$

$$f = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}} \dots\dots\dots(2)$$

を計算し、 $|t|$ の値が自由度  $f$  の  $t$  分布の 5% 点  $t_f(0.05)$  より大きい時に、両地区の  $^{137}\text{Cs}$  の放射能密度には有意の差があるとした。ただし、 $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  はそれぞれの地区の標本平均、 $s_1^2, s_2^2$  はそれぞれの地区の標本分散である。

このような検定法に従い、別添資料 6 と 7 を用い検討地区、対照地区および参考地区について放射能密度の平均値の有意差を検討した。それらの結果を別添資料 8 と 9 に示す。資料の中で各地区の記号の下にそこでの放射能密度の平均値と標準偏差を示してある。対応する欄には、(1)と(2)式から計算した  $t$  と  $f$  の値、有意水準 5% での差の有無を指示する  $\circ, \times$  印および確率値 ( $p$ ) を示してある。例えば、広島を検討地区 N-14 の放射能密度の平均値を参考地区 E S E-18 のそれと比べたとき、自由度  $f=19.44$  で  $t=1.77$  であり、有意水準 5% では差はないが、有意水準 10% では差がある ( $p=0.09$ )。 $\ominus$  印は有意差はあるが、問題としている検討地区の放射能密度の平均値が対象地区のそれより小さいことを示す。

爆心に対して検討地区と反対方向にある参考地区の放射能密度の平均値を検討地区および他の参考地区のそれらとを比較検討した。

広島では、検討地区 N N W-22 が参考地区 E S E-18 に比べて有意に高い放射能密度であったが、対照地区とは有意差が認められなかった。長崎では検討地区のうち、N W-14 は対照地区 N W-12, N W-28 および参考地区 N E-22 のいずれとも有意差をもつが、N W-26 とは有意差がみられなかった。また参考地区 S S W-14 と N E-22 との間に有意差が認められた。

## 5. 考 察

半導体検出器 (A) および (B) による  $^{137}\text{Cs}$  の放射能の比較測定の結果は、両者による測定値の差が約 10% 以内にあり、この差は地区内の土壌試料の測定値の変動に比べてかなり小さいことを示している。検出器による測定値の差は両者におけ

る測定器や測定方法のちがいがによる。

別添資料 6, 7 に比較のため、前回の調査で得た放射能密度を示した。今回の調査では、前回の採取地点を含む地区から広範囲に土壌試料を採取しており、しかもそれらの試料から得た放射能密度の平均値を用いている。

そのため、単純に前回と今回の放射能密度を比較することはできない。

各地区内の放射能密度が正規分布すると仮定して、統計的手法により、各地区間の放射能密度に有意差があるかどうか調べた。広島、長崎の両市で対照地区の設定にあたっては、爆心からの方向が検討地区と同一で、その地区にできるだけ接近していることを条件とした。特に、長崎については N W-14 および N W-22 と同一方向に検討地区が 2ヶ所存在するため、N W-12, N W-26 および N W-28 の 3ヶ所を対照地区とした。統計的処理の結果は、長崎の N W-14 が N W-12 と N W-28 の 2ヶ所の対照地区と有意差をもつが、N W-26 とは有意差がないことを示した。しかし、検討地区と対照地区で有意差がでたのは、気象条件、地形など環境条件が異なるためであろう。参考地区の中にも高い放射能密度が認められている。これは核実験からの  $^{137}\text{Cs}$  放射能の土壌中の分布が気象条件や地形などによって左右されることから、地区間のみならず地区内においても  $^{137}\text{Cs}$  の放射能が不均一に分布していることによるものと思われる。

今回の調査でも広島に比して、長崎の土壌に  $^{137}\text{Cs}$  の放射能が多く含まれることを示している。この原因については今回の調査でも明らかにすることはできなかった。

## 6. 結 論

- (1) 広島で、検討地区 N-14 および N N W-22 の放射能密度はそれぞれ  $77.4 \pm 19.9$  および  $89.6 \pm 30.9$  ( $\text{mCi}/\text{km}^2$ ) であった。これら検討地区のうち、N N W-22 はこの地区と反対方向で気象条件、地形なども異なる参考地区 E S E-18 との間に有意差がみられたが、対照地区 N N W-14 とは有意差はなかった。また、検討地区 N-14 は対照地区 N-12 および参考地区 E S E-18 のいずれとも有意差はなかった。このことから、今回の結果で特に両検討地区に原爆からの核分裂生成物が残留しているとはいえない。

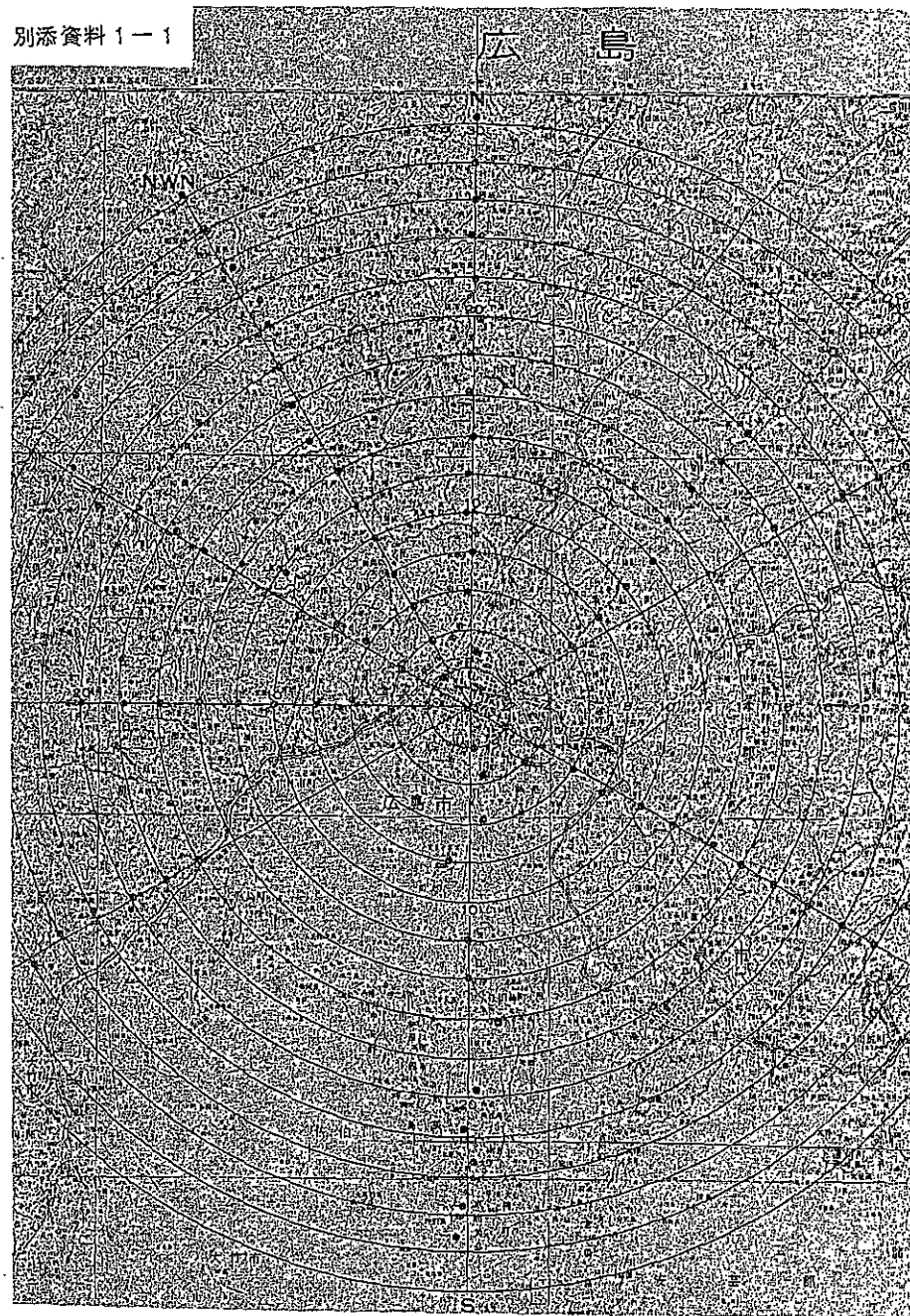
(2) 長崎で、検討地区 E-6, NW-14 および NW-22 の放射能密度はそれぞれ、 $115.1 \pm 24.0$ ,  $158.0 \pm 40.5$  および  $119.4 \pm 18.5$  (mCi/km<sup>2</sup>) であった。検討地区 E-6 は対照地区 E-14 および参考地区 NE-22 のいずれとも有意差はなかった。検討地区 NW-22 は 3 ケ所の対照地区のうち、NW-12 および NW-28 の 2 ケ所と参考地区 NE-22 との間に有意差はなかったが、対照地区 NW-26 との間に有意差がみられた。しかし、その差は負であり、NW-26 の方が NW-22 より大きかった。

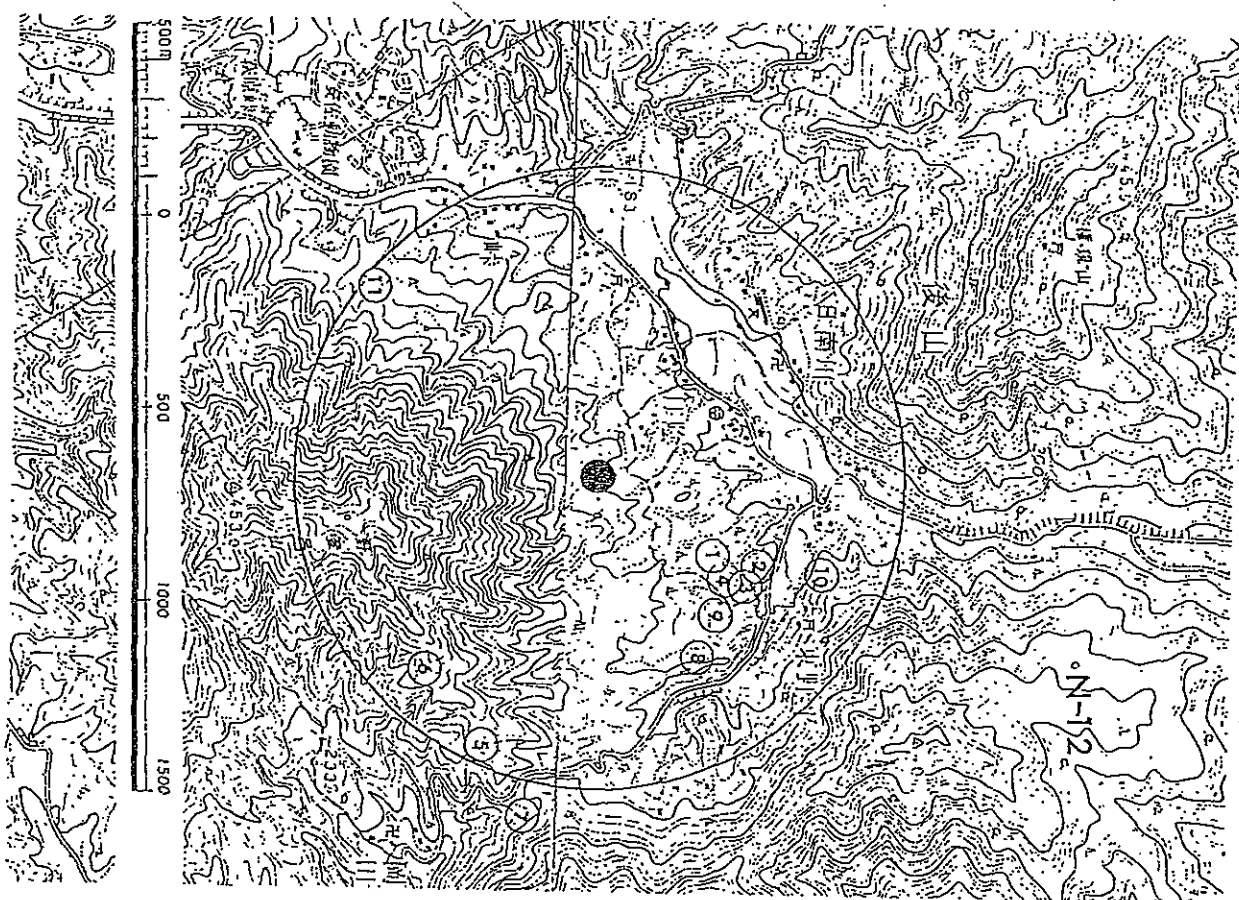
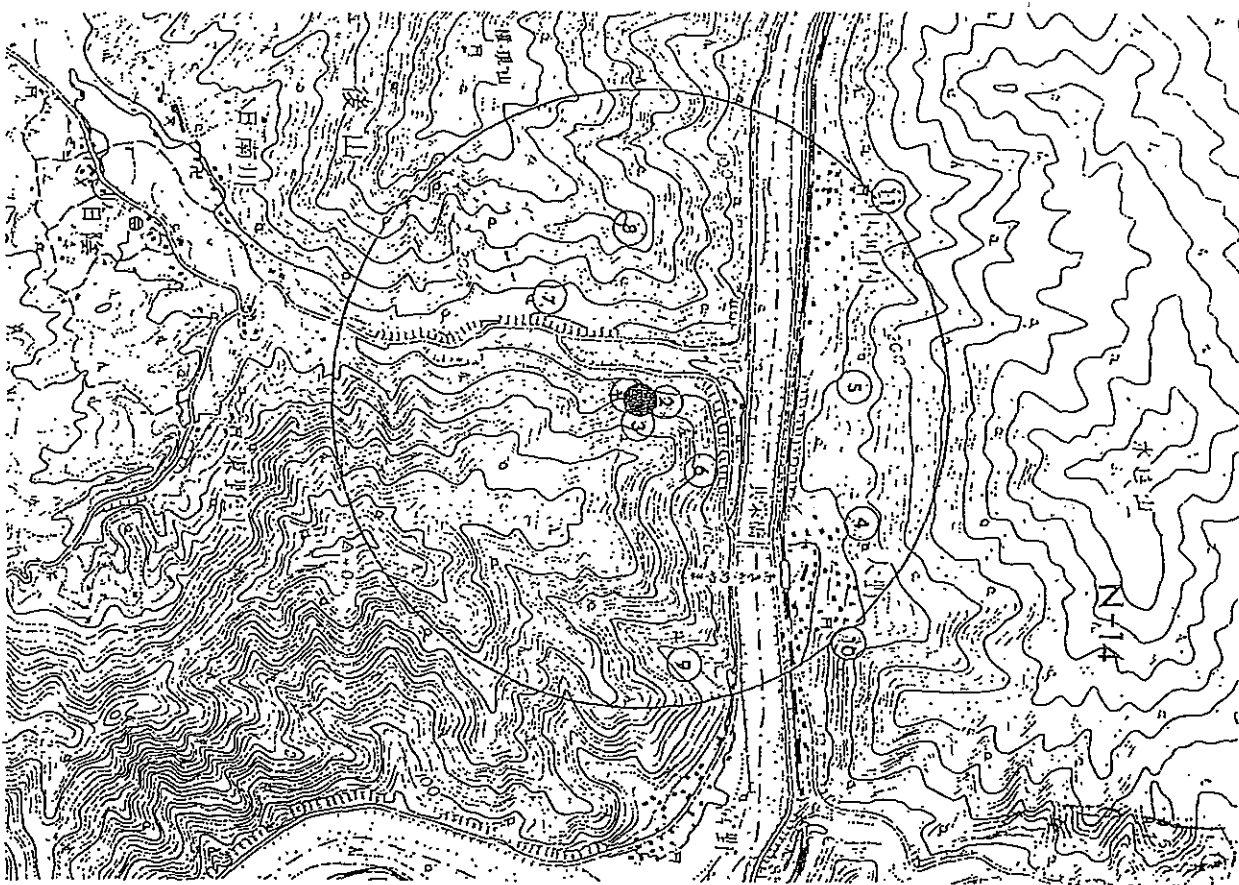
検討地区 NW-14 は対照地区 NW-12 および NW-28, 参考地区 NE-22 との間に有意差がみられたが、対照地区 NW-26 との間には有意差がなかった。NW 方向は爆発当時の風向きから考えて原爆からの核分裂生成物が降下したとは考え難い方向である。長崎の地形は複雑であり、核実験からのフォールアウトの影響のため、たまたま周囲より高めに放射能密度が観測されたものと思われる。

#### 参考文献

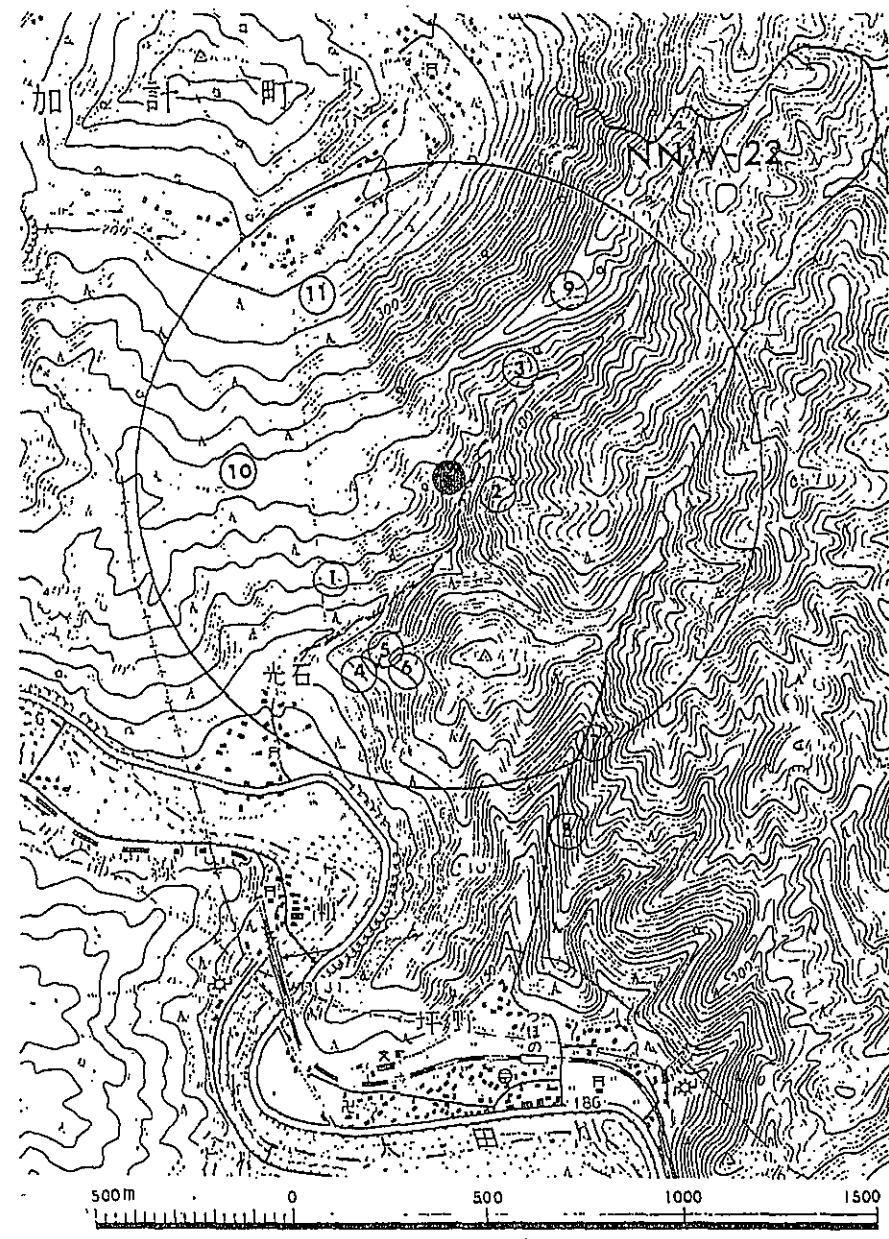
- 1) 日本公衆衛生協会：広島，長崎の残留放射能調査報告書，昭和51年度
- 2) 科学技術庁原子力局：Ge(Li) 半導体検出器を用いた機器分析法

別添資料 1-1

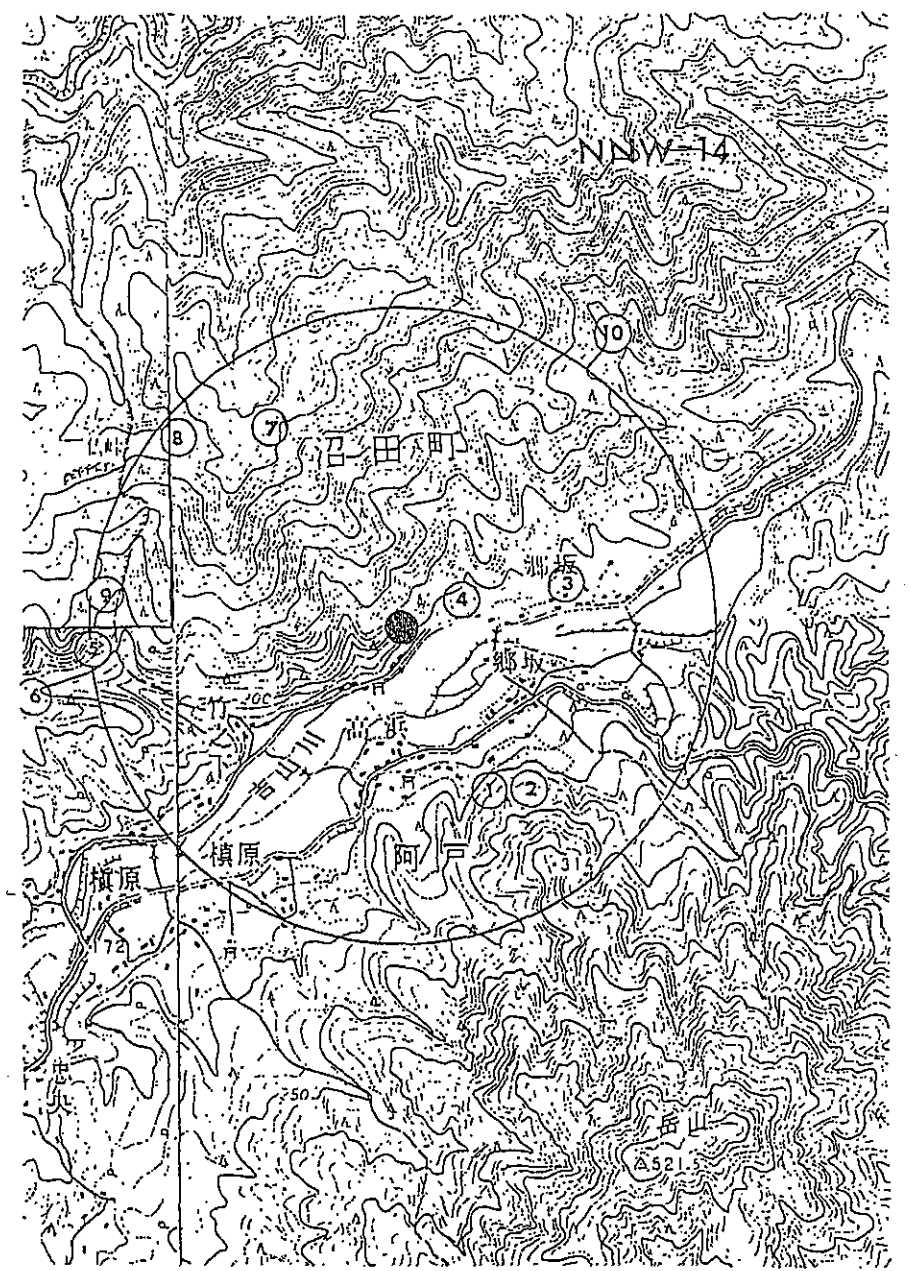




別添資料 1-4



別添資料 1-5





別添資料 1-6



別添資料 1-7



