原子力

原子力発電所周辺の放射能調査

Environmental Radiation Survey around a Nuclear Power Station

I. まえがき

発電用原子炉には運転中かなりの量の放射性物質が蓄積される．これを無制限に大気中に放出させることは許されない．したがって原子力発電所の周辺に放射線の計測・記録装置を配置し，万が一放射性物質が放出される場合には，これをすみやかに検出し，放射性災害を未然に防止すべきである．放射性物質の放出によって周辺の放射能が高くなる．同時に放射性物質が穀物や家畜に吸収されて，人間の食物が放射性になる恐れがある。

正常運転中の原子力発電所から放出される放射性物質はきわめて少量である．任意の地点の放射能とは，放射性物質放出に起因する放射能に，バックグラウンドの放射能を加算したものである．ここでバックグラウンドの放射能とは，自然界に散在する放射線源にもとづく自然放射能のことで，最近は核爆発実験に伴う放射性物質の降下物がこの放射線源の一つになっている．したがって発電所完成前に周辺のバックグラウンドの放射能を正確につかむことにより，発電所運転後にどの程度放射能が増加したか正確に確認できる．さらに放射能の増加が，発電所からの放射性物質放出によるものか，それとも他の放射線源によるものかを区別するために，放射線の種類（α線，β線およびγ線）別に放射能を測定する必要がある。

II. 放射性汚染の源

原子力発電所での放射性汚染は，主として核燃料中に蓄積する核分裂生成物によって引き起こされる．正常運転下では，これらの生成物は核燃料を包んでいる被覆の内側に閉じ込められているが，被覆に欠陥がある場合は，そこから生成物が流出して冷却ガスに混入する．この冷却ガスの一部が事故で，またフィルタを通して一定の割り合いで大気に放出される場合は，それに伴って多かれ少なかれ放射性の核分裂生成物が大気中にでて行く。

冷却回路部品の除染用水や，使用済燃料冷却池用水は放射性汚染を受けている．このような汚染水は一応の除染処理を行なってから，貯留タンクに送られる．ここで汚染水は放射能が充分低くなるまで貯留され，最後に海に放水される。

生体しゃへい用コンクリートを冷却する空気は中性子束の高い部分を通過するので，かなり放射能を帯びている．これは主として空気中に含まれるアルゴン 40 が放射性のアルゴン 41 になるためである．しかしこの同位元素はまた大気中に放出されてから空気によって稀釈されるので，この種の放射能は問題にならない。

III. 原子力発電所周辺の放射能

季節によって植物が入れかわり，気象状態が変化することを考慮すると，発電所周辺の放射能調査は，最短1年の期間，1個月に少なくとも1回の周期で行なうべきである．また調査の範囲は発電所を中心にした 24 km（15マイル）の地域とし，試料は 30 個所くらいから採取するのが適当である．試作採取点の選定には次の事項を考慮すべきである。

1) 付近の地形
2) その地方の農法
3) 人口密度および分布
4) 住民の食生活（常用飲食物）
5) 飲料水の経路
6) 1年を通じての気象変動
7) 近くに海岸がある場合は潮流の模様
8) 近くに牧場や養魚場があり，そこでとれる牛乳や魚が人間の食物となる場合

動・植物が自然の放射能を濃縮または集める作用を持っている点は注意に値する．たとえば牛乳が放射能を帯びているとすれば，それは広い牧場の牧草の中に少量ずつ吸収されていた放射能が寄せ集められたからである。

γ線の自然放射能は地表面の土質などに関係するが，特に土中の放射性物質に支配される．みかげ石などには時としてかなりの放射性物質が含まれていて，その付近のバックグラウンドを高めている場合がある．イギリス北部のスコットランドのアバーデン地方がこの一例である。

空気中の浮遊物が放射能を帯びている場合があるが，

これは地中のラジウムやトリウムからガス状のラドンやトロンが発生し，これらの崩壊生成物がイオン化して空気中の浮遊物に吸着するためである．この種類の放射能は $10m^3$ の空気を紙フィルタを通してろ過することにより，ある程度の精度で定量できる。

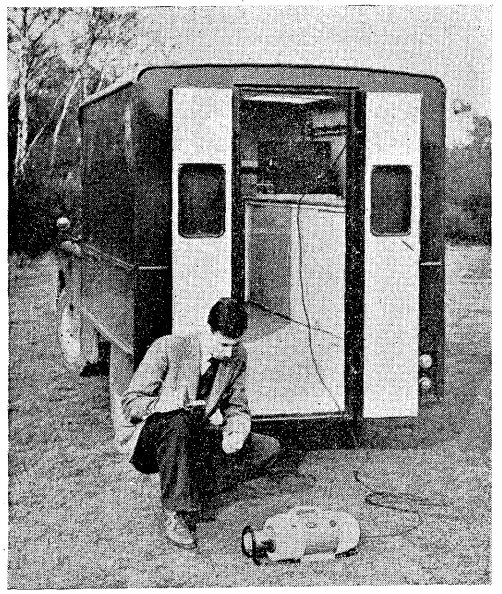
飲料水の放射能を調査するのに，イオン交換樹脂を通す方法がある．放射能を帯びた水を通した樹脂を，密封した容器に入れて実験室に持ち帰り，樹脂の放射能を測定する．この方法によれば，はじめ 227 l（50 ガロン）の水中に含まれていた放射性物質が，2 l の樹脂に吸着される．放射能を帯びた水が鉱物質を多量に含んでいる場合には，まず鉱物質を沈でん，またはろ過してからイオン交換樹脂に導くことになる。

1. 計 数 装 置

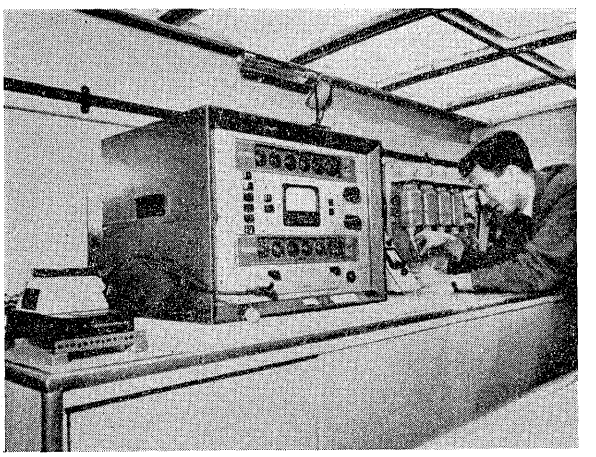
広い地域の放射能を調査するためには，移動式の実験室が必要になる．この実験室には放射線計測器用電源，空気や水の試料採取用ポンプ駆動電源を積載しなければならない．さらに γ 線の自然放射能を測定するためのポータブルの計器も必要である。

第1図の自動車が，ハンタートン原子力発電所（イギリスのGEC社が南スコットランドに建設中の 32 万 kW 原子力発電所）の付近の放射能調査に使用している移動式実験室である．この実験室に積載している発電機は重量約 180 kg，カウンタ用の鉛製しゃへい筒（カスルと通称している）は1個当たり約 180 kg である．第2図は実験室の内部を示しているが，次のような装置が積載されている．すなわち

1） 4 kW 230 V 50 % 発電機
2） EK Co 製 スケーラ（N 530 形）．これには鉛製しゃへい筒付き β 線計数用 G-M 管と，α 線計数用シンチレーション・ヘッドが付属している。
3） 毎時 10 m^3 の空気を採取できる空気サンプラ。
4） 試料用の水を採取するポンプとイオン交換樹脂装置。
5） ポータブル γ 線シンチレーション形計数率計（1413 形）
6） ポータブル γ 線 G-M 形計数率計（1368 形）
7） 動・植物試料採取用および貯蔵用施設。



第1図 空気サンプラを積載した移動式実験室
（試料用の空気を採取しているところ）
Fig. 1. Mobile laboratory with air-sampling equipment in use



第2図 移動式実験室の内部
Fig. 2. Interior of the mobile laboratory

2. 放射能計数前の試料の処理

海草，牧草，藺草などの植物，地表面の土，飲料水などの鉱物質，さらに牛乳や動物の甲状腺などの動物質の試料を実験室に持ち帰り，化学処理を施す．この処理によって，試料を均質な形（一般には細かい粉末状）にする．方法は最初に 110°C で乾燥し，次に 450°C のマ

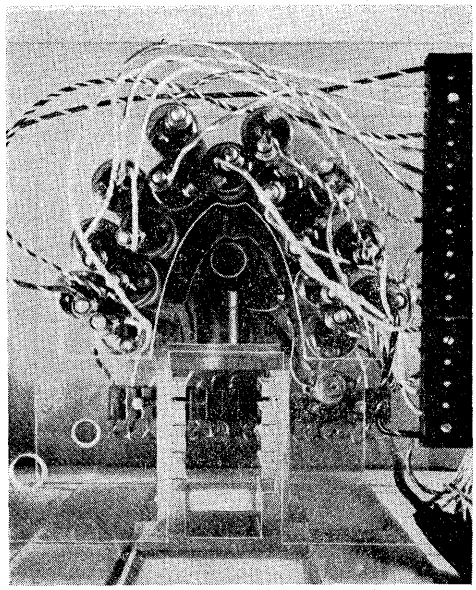
第1表 採取試料の乾燥前後および灰分の重量
Table 1. Some typical results for dry matter and ash content

試料	乾燥前 (gm)	乾燥後 (gm)	灰分 (gm)	灰分/乾燥前 (%)
牧草	400	72.0	11.18	2.80
藺草	200	116.5	5.74	2.87
海草	600	139.2	27.61	4.60
土（地表）	530	307.0	258.00	48.70
イオン交換樹脂	385	130.6	0.44	0.11

ッフル炉で灰にする．乾燥前後および灰にしてからの試料の各重量の記録例が第1表である．灰はよくつぶしてからふるいにかけ，均一な大きさのものについて放射能分析を行なう。

3. 弱い β 線の計数

計数装置そのものが放射能を持っていたり，周囲に多少の放射能があって，これがバックグラウンドの放射能となっている場合は，弱い放射能をもった試料の検出には，特に感度のよい計数装置が必要になる．採取した試料のβ放射能を測定するために，第3図のように中央に位置する1本のG-M管（GEC製GM41B形）のまわりを二重に取りまいた複数本のG-M管と，鉛製しゃへい壁をもったセットが使用される。



第3図　弱いβ線計数装置（鉛製しゃへい壁をとりはずしている）

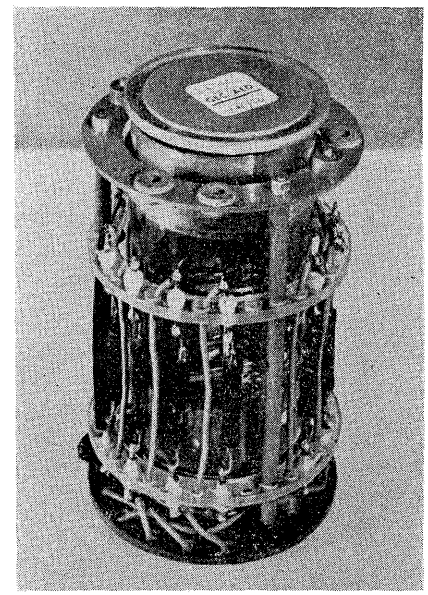
Fig. 3. Arrangement of low-background beta counter (with lead shielding removed)

中央のG-M管の使用材料は特に吟味され，放射能の少ない材料が使用されている．β粒子に対する感度を高く設計しているが，同時にγ線や宇宙線に対しても感度がよくなっている．しかしγ線や宇宙線は，これらに対して感度のよい二重のG-M管群に吸収されるので，中央のG-M管にはあらわれてこない．51 mm (2 in) 厚さの鉛製しゃへい壁は，50年以上前に鉱石から精練した鉛，すなわち充分枯れた鉛を使用している．理由は精練しても鉛中に残っている放射性アイソトープが充分減衰したところで使いたいためである。

測定用試料をアルミ製の皿に入れ，薄いテープで密封する．かくすることにより近くに放射性物質があっても，それによって測定の対象としている試料が汚染されて誤計数の原因になることはなく，また保存にも適している。

4. 弱い α 線の計数

α粒子を放出する放射性物質は，通常シンチレーション法により検出される．この方法では，けい光物質を塗布した膜を高感度の光電子増倍管に接触させている．α粒子が膜に吸収されるとけい光を発生し，これが光電子増倍管で電気パルスに変換される．しかしこの種類の装置は一般に効率が悪い．理由はけい光膜と光電子増倍管が光を通さない密閉容器の中に収容されているため，容器によるα線の吸収が多いためである．またこの方法では相当量のバックグラウンドを拾うことになる。



第4図　弱いα線計数装置（光電子増倍管の上に試料がのっている）

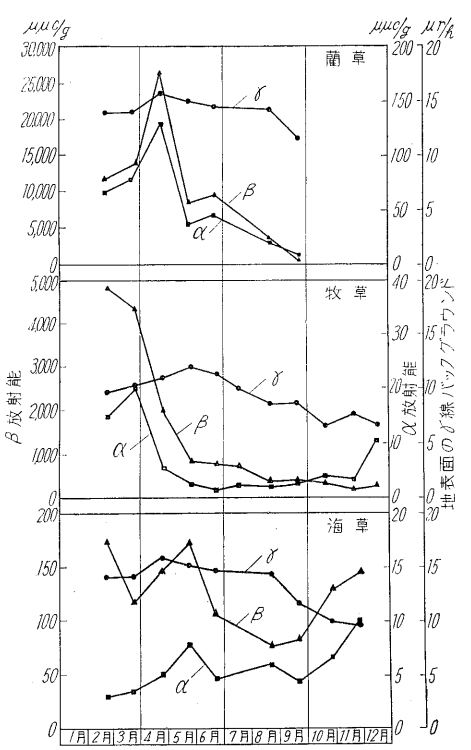
Fig. 4. Arrangement of low-background alpha counter, showing sample in place on photomultiplier assembly

Brit. J. Radiol の1958年8月号にTurner博士が発表した方法は，以上の点を改良したものである．この方法では試料を硫化亜鉛のけい光膜とともに気密な容器の中に収容している．容器の本体は厚さ 3 mm，直径 55 mm の Perspex 製の底なし円筒で，その一端に透明な粘着テープを差し渡してはりつける．このテープの粘着面に硫化亜鉛の粉末をふりかけ，薄いけい光膜を形成させる．このような円筒形の容器に粉末状の試料を詰め，最後に他端をテープで封じる．かくしてえられた試料箱を，けい光膜を下側にして光電子増倍管の上に乗せる（第4図参照）．あとは通常の方法でα放射能を計数する．α粒子によるけい光の強さは，増幅器の雑音や，γ線に

よる低いエネルギーのパルスが無視できる程度に強い．試料箱は気密になっているので，外から他の放射性物質が混入することはない．またα粒子は粘着テープを貫通できず，途中でテープに吸収される形となる．したっがてバックグラウンドはほとんど計数されない（バックグラウンドの計数量は1時間当たり1カウントの程度）。

5. γ 線 の 計 数

放射性物質からのγ線のエネルギー分布は，その物質に固有のものである．したがってγ線のエネルギー・スペクトラムによって，その放射性物質が何物であるか推定できる．γ 線の検出法の一つに沃化ナトリウムの結晶を用いる方法がある．この結晶はγ線を吸収してけい光を発生する．このけい光を光電子増倍管で受け，電気的パルスに変換する．この場合電気的パルスの高さが，γ 線が失ったエネルギーに比例する．発電所周辺のγ放射能の測定に用いた装置では，直径 38.1 mm (1.5 in)，厚さ 25.4 mm (1 in) の沃化ナトリウムの結晶を使用している．試料は結晶の上に直接置かれる．試料が不規則な形をしている場合は，底が結晶にちようどはめ込まれるような形をしたポリエチレン製の容器を用意し，これに試料を入れて結晶の上に置く。



第5図　1959年1年間のハンターストン原子力発電所周辺の放射能

Fig. 5. Activities around the Hunterston area during 1959

IV. 原子力発電所周辺の放射能の実測例

ハンターストン発電所の周辺の自然放射能を実測した一例を第5図に示した．これは発電所建設中の 1959 年に予備的に行なった結果である．同図から湿地帯特有の藺草に含まれる放射能が，1958 年冬にソ連で行なわれた核爆発実験の放射性降下物によって，いちじるしく増加していることがわかる．4月採取した試料中のγ線のエネルギーを調べてみると，半減期の短い核分裂生成物が含まれている．この生成物が示すいちじるしいβ放射能の消長と，灰にした試料が示す α 放射能の消長とは似たような経過を示している．α 放射能は核実験による放射性降下物だけでなく，豪雨によってその地域のラドンの崩壊物質が集められたためと解釈される．藺草についていえたことは牧草についてもいえるが，海草の場合は異なる．海草では放射性降下物のいかんにかかわらず，含まれる放射能に変化がなく1年中ほぼ一定の低い値を示している。

γ 線のバックグラウンドは放射性降下物の影響により顕著に上昇し，夏の間中高い値を持続している．海草のγ 線のバックグラウンドは，海草採取点の最寄の海岸で測定した値である。

測定結果によれば，空気中の浮遊物の放射能は気象状態により5から 100 $\mu\mu c/m^3$ の範囲に変化している。

V. む　す　び

以上記述した自然界の放射能の調査法は，比較的簡単，かつ安価なものである．おおがかりな放射化学の手法は使用していない．当然この方法の適用には自ら限度があるが，核実験に伴なう放射性降下物を検知するには充分であるし，この程度の検出感度があれば，正常運転中の原子力発電所からの放射性物質の放出およびそれによる発電所周辺の放射能の増分は充分検知できる。

（訳者注
本稿は GEC Atomic Energy Review Vol. 2, No. 4, に記載の “Environmental Radiation Survey around a Nuclear Power Station” を訳出したものである．しかし Nuclear Power Station としては，GEC がイギリスで建設中のハンターストン発電所を中心に扱っているので一般性はなく，この記述をそのまま日本に適用できないと考える．最後に本稿の訳出にあたり GEC 社が示した厚意に対し感謝の意を表する．　（原子力部技術課　由 利 達 雄）

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。