

話 題

福島第一原子力発電所事故に起因する放射線の KEK 放射線科学センターでの測定

伴 秀一*

Measurements of Radiation due to Accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station at KEK Radiation Science Center

Syuichi BAN*

Abstract

KEK Tsukuba site is located at 165 km distance from Fukushima Dai-ichi nuclear power station. After the East Japan Earthquake on March 11, the electric current was almost cut off. Only few radiation monitors at the site boundary were powered from outside, and they detected steep increase of gamma-ray doses at 2:13 on March 15. Then radiation and radioactivity measurements from the power plants were started in KEK Radiation Science Center.

1. はじめに

KEK つくばキャンパスの放射線管理用のモニターは、200 台以上が昼夜測定を続けており、このうち 64 台は一時的にでも加速器の不調で放射線の量が基準を超えたことを検出すると、加速器を自動停止させる仕組み（インターロック）が採用されている。敷地の外周部の 9 カ所に置かれているものは、通常は早い変化を見る必要は無いが、加速器の近くに設置したものと同じように、10 秒毎に積算データを集計して中央の監視室に送っている。

3 月 11 日の東日本大震災直後から停電になり、連続測定を行っていた放射線機器がほとんど使えない状態になっていた。逆に加速器室や実験室の空調設備も動いていないので、この後飛来する放射能を引き込むことは少なかった。敷地境界の 2 カ所の検出器だけが、外部からの通電、または内部の自家発電で 24 時間連続測定を行っていた。但し中央監視室へのオンラインの光通信が途絶えていたので、3 月 14 日 14 時からデータロガーを置いて記録し、後日、人がデータを回収してまわる予定であった。

3 月 15 日 2 時 13 分敷地境界のガンマ線モニターが、線量のするどい上昇を捉え始めた。4 時頃、関係者が現場に集まり、後述の NaI (TI) シンチレータの波高分布を見て、I-131 などのガンマ線が線量上昇の原

因であることを確認した。15 日中には放射線の中央監視室がある建物に自家発電で通電し、オンラインでデータが収集できるようになった。

KEK は元々、測定データを迅速に公開するのに積極的であり、ホームページからオンラインのガンマ線線量率の変化が、見られるようにした。国立環境研究所との協力で始められた空気中の放射能の測定結果も、結果がでると迅速に公開され続けた。KEK では、素核研・物構研など、各所でこの事故による放射線の影響測定を行っているが、以下では放射線科学センターによる測定を主に採り上げる。

2. ガンマ線の線量率の時間変化

3 月 15 日 2 時頃から、モニターでのガンマ線線量率測定値が上昇を初め、8 時 40 分に $1.1 \mu\text{Sv/h}$ を記録した。これが現在までの KEK つくばキャンパスでの最高値になっている¹⁾。

15 日午後に第一報を広報室から KEK ホームページに以下のように記載した。

「測定された数値は 15 日午前 3 時 52 分、午前 6 時、午前 8 時 40 分に 0.3 ~ 1.3 マイクロシーベルト毎時まで上昇しております。これは自然放射線と比べると最大で約 10 倍ですが、健康に影響のあるレベルではありません。このうち 1.3 マイクロシーベルト毎時の測定は時間的推移から見て、東海村の原子力科学研究所

* 高エネルギー加速器研究機構 KEK, High Energy Accelerator Research Organization

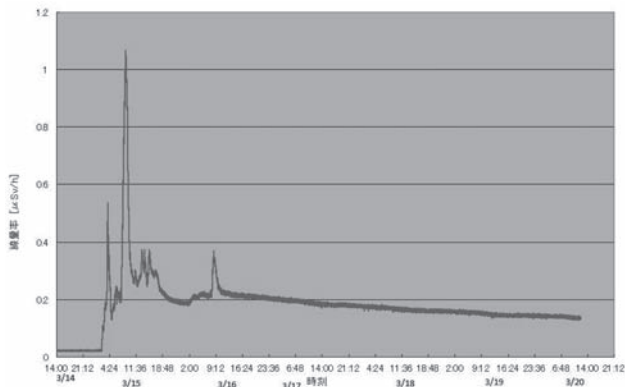


図1 3月14日～3月20日のガンマ線線量率の時間変化. つくばキャンパス敷地境界でのNaI (TI) シンチレータでの測定¹⁾

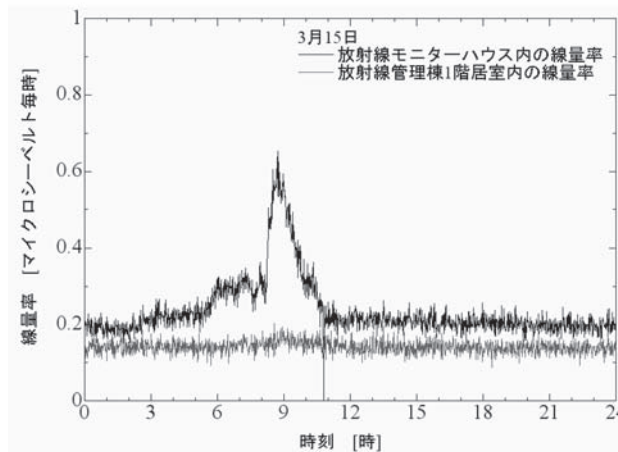


図2 3月15日の1日の屋内と屋外のガンマ線線量率の比較

における5マイクロシーベルト毎時測定時の影響がつくばでも観測されたものと見られます。」

但し、放射性雲が通過し、一部の放射能が地面に沈着し始めた時期も、建物の中では線量率の上昇は小さかった。

図2に屋外に近い状況（外気を取り込んでいるコンテナの窓際に置かれたモニター）と、空調が停まっているコンクリートの建物の1階で窓から6m離れた位置にある、同じ種類のGM管を用いたガンマ線線量計の値の比較を示す。放射性雲の通過時でも、線量の上昇は屋内では小さい。

3月15日中に建物に通電され、オンラインでデータが採れるようになっていた。16日の10時に茨城県原子力安全対策課から電話があり、県南地方のデータが不足しているので、10分おきにデータを送れないかと打診があった。広報室にデータを送って掲載してもらっていたが、改めてオンラインデータ公開の意義を認識して、関係者のご協力でホームページからオンラインデータを外部からも見えるようにしている (<http://rcwww.kek.jp/norm/>)。故障・停電などによる短い中断はあるが、多い時には1日に30万ヒットを数えた。この公開は現在も続いている。

図3に敷地境界の2インチ直径長さ2インチのNaI (TI) シンチレータで測った、ガンマ線の波高分布を示す。3月14日には、K-40, TI-208などの自然ガンマ線しか見えないが、わずかに半日後の3月15日には、Xe-133 (0.081 MeV), I-131 (0.365 MeV), Te-132/I-132などのガス、沸点の低い粒子が放射性雲として通過したのが分かる。地上へもヨウ素の微粒子が一部、沈着し、ガスが去った後も線量が上がったままであった。

図3には短半減期の核種が崩壊した後の、6月20日の波高分布も示す。Cs-134 (0.605 MeV, 0.796 MeV),

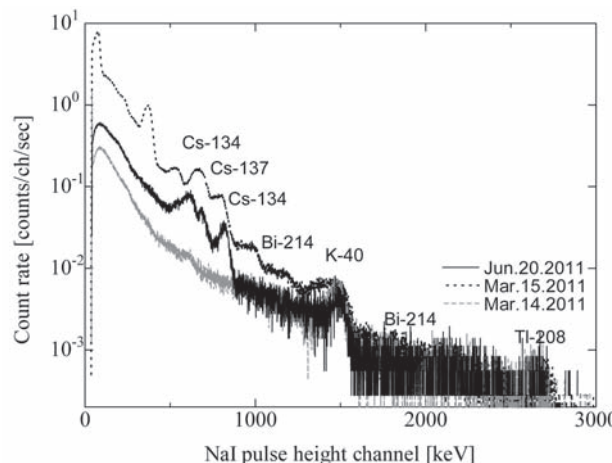


図3 敷地境界 NaI (TI) シンチレータで測った、ガンマ線による波高分布¹⁾. 3/14, 3/15, 6/20 に測定

Cs-137 (0.662 MeV) によるピークが主になっている。

3月15日に飛来する放射性雲によるガンマ線は、他の場所でも測られている。福島県災害対策本部から、政府を経由して要請があり、サーベイメータ、ポケット線量計、マスク・防塵服などの援助物資を提供した時に、測定のために2人の研究者を派遣した。同時期に理化学研究所から来ていた2人と共に、福島県内を高速道路で移動しながら測定を行った。つくばより約半日おくて、3月15日15時に郡山で線量の最初の上昇を確認した時に、LaBr シンチレータで測定したガンマ線スペクトルが、図4である。LaBrはエネルギー分解能が良く、より多くの成分が見える。最初に到達した時に、Xe-133, Te-132/I-132, I-131, Cs-134, Cs-136が同時に来ているのが、分かる。Cs-137は、I-132のピークに隠れて見えていないが、あると考えられる。同様に初期からCsもつくばに飛来していたと考えられる。

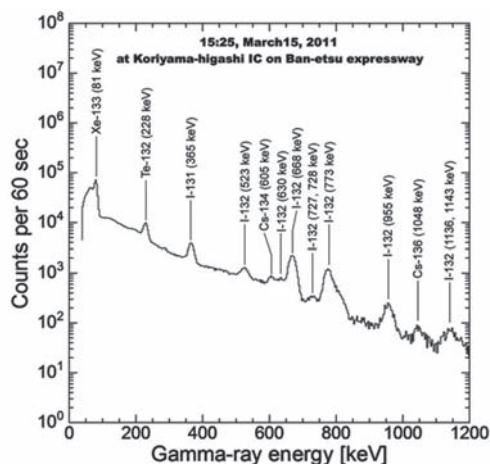


図4 3月15日に郡山近くの高速度路上で最初に線量が上昇した時に LaBr シンチレータで測ったガンマ線スペクトル²⁾

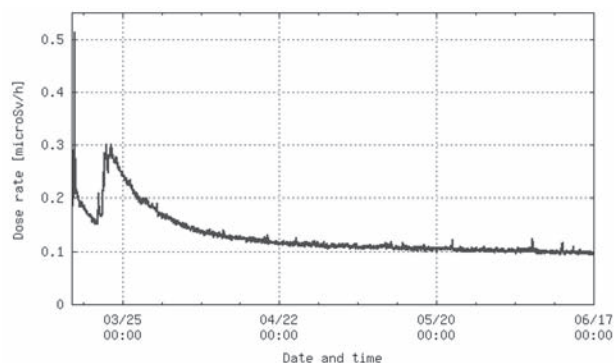


図5 3月16日－6月1日間の敷地境界でのガンマ線線量率の変化. $\mu\text{Sv/h}$ 単位.

図5につくばでの長期間のガンマ線線量率の変化を示す。3月21日に、新たに放射性雲が飛来した。この時の量は3月15-16日よりも少なかったものの、事故後のつくばでの最初の本格的な雨であったため、地面に沈着した量が多い。放射性雲が通過した後も、3月21日の時の量とその後の線量率を決定している。I-131 (半減期8日) が減衰した後は、Cs-134 (2.06年), Cs-137 (30.2年) が主で、急な減衰は望めない。

図5には5月以降もガンマ線線量率が短期的に小さく上昇して、すぐに元の値まで下がるのが、見える。これは降雨の時期に対応しており、天然の空気中の放射能が降雨で地上付近に集まるため、福島原子力発電所からの再放出によるものではない。図3のようにガンマ線による波高分布を調べると、この小さい上昇は天然由来の放射能によることが分かる。

KEKでは加速器トンネルから誤って放射化した機器を持ち出さないように、入口近くに大型のプラスチックシンチレータの測定器を置いて、持ちだし機器のガンマ線を測っている。8 GeV電子リニアックの地上の入口部に置かれた測定器の10秒間の計数の変化を、図6に示す。

震災後の停電の時期に測定の中断があるが、前後の時期の計数の変化が分かる。建物の中にあるが、地上部の搬入口に近く外部の地表に沈着したI-131ガンマ線の影響を受け、4月は3月の震災前よりも計数が上昇した。しかし6月には震災前に近い計数値に戻っている。

I-131 (半減期8日) による地表の汚染が残っている間は、靴の裏や膝下の服に汚染が見られ、これを加速器室に持ち込むことを防ぐため、幾つかの施設では

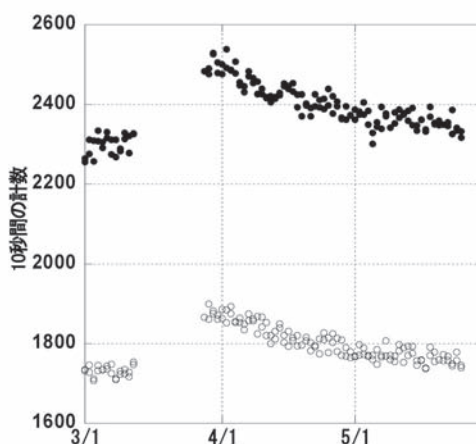


図6 8 GeV電子リニアック入口のガンマ線検出器の10秒間の計数

管理区域の外側で、靴の履き替えを行って頂いた。

3. 空気中放射能の測定

空気中放射能の測定のため、KEKでも3月15日にRI実験室での作業環境測定用の小型のサンプラーで屋外の空気の収集始めたが、I-131は見えるものの、測定は困難であった。

国立環境研究所は以前から環境中の空気中の放射能の測定を行っている。このため協力して測定を行うことになった。国立環境研究所の建物2階ベランダに、ハイボリュームエアサンプラーを置き、毎分600ℓで空気を吸引して石英繊維ろ紙および活性炭ろ紙の2段組のフィルターで採取した放射能をKEKのGe検出器で測った³⁾。

3月15日14時39分～17時34分に最初の採取を行い、測定結果をKEKのホームページに3月17日に「高エネルギー加速器研究機構は国立環境研究所の協力を得て、2011年3月15日から3月16日にかけて、

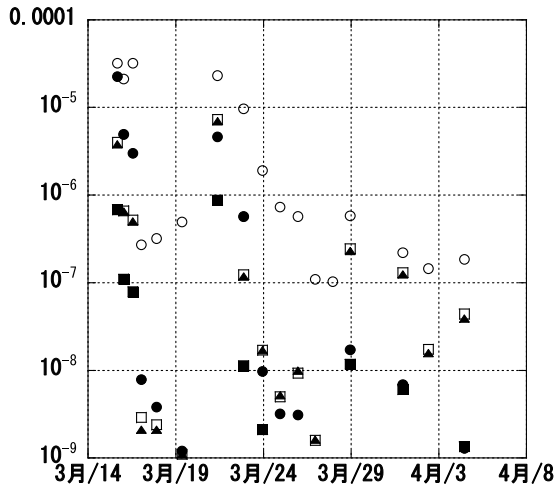


図7 つくば市で観測された空気中の放射能 (Bq/cm³)
 ○ :I-131, ● :Te-132, □ :Cs-134, ■ :Cs-136,
 ▲ :Cs-137

つくば市における空気中の放射性物質の種類と濃度の測定を別表のように2回実施しました」と記載した。

その後も、次々と結果の公表を続けた。雨などの測定は多いが、空気中の放射性物質の濃度を初期から公表している機関は少ない。

エアロゾルの形でフィルターに捕まった核種を測っているのですが、Xe-133は測られていないが、Xe-133は初期の外部被ばくには重要だが、内部被ばくには効かない。最初期の外部被ばくは、Te-132/I-132, Xe-133の寄与が大きいものに対して、内部被ばくはI-131の寄与が大きい。Cs-134, Cs-136, Cs-137は当初から検出されるものの、濃度はI-131の1/10以下である。

当初のI-131の濃度が長期間続けば、その内部被ばくによる実効線量は、同時期の外部被ばくの3-7倍に達するかもしれない。しかし、空気中放射能濃度は3月15-16日と前述の3月21日には大きかったものの、5月以降は大きい時でも当初の1/1000以下に減少した。これは、福島原子力発電所からの新たな放出が激減し、地表に降下したものが再浮揚する割合も低いためだと考えられる。

ガンマ線による外部被ばくは、今でも1/100には減少していない。Cs-134, Cs-137の減衰も遅く、地表近くにおいて移動しにくいので、これによる外部被ばくが、今後は重要だと思われる。

4. つくば市の校庭での線量測定に参加

つくばキャンパスでの測定を続けながら、いくつかの疑問があった。茨城県南部や千葉県北西部で、KEKより福島原子力発電所から遠いのに、高い線量値を報告している地域がある。これらの地域で3月21日の



図8 5月27日に行われたつくば市内全域の学校施設の校庭での放射線測定に参加するKEK職員とつくば市職員

降雨の後で、線量が上がったのは共通しているが、東海村やつくば市南部の産総研では、早朝に放射性雲の通過を示す鋭いピークがあるのに、KEKでは午後から緩やかに上昇を始める。ここでの値が、つくば市全体を代表していると考えて良いのか。

KEKとつくば市の相互協力の促進に関する基本協定が平成22年8月24日に結ばれ、災害防止、環境保全、学術振興、学校教育の増進などの連携が進められた。つくば市の放射線対策に、KEKや他の研究機関も協力してきたが、5月27日に市内全域の132カ所の学校施設の校庭で放射線測定が行われた。研究機関から13チームが、うち、KEKから6チームが出て、つくば市職員と協力して測定にあたった。地表から1m, 0.5mと地表面近くでのガンマ線による線量率をNaI(Tl)シンチレータ式のガンマ線サーベイメータで、測定した。

結果は、つくば市のホームページに公開されている。各位置での元々のバックグラウンドの値が分からないので、天然起源のガンマ線を含む現在のガンマ線線量率測定値がそのまま、示されている。遮るものがない校庭の中央で測った値は、つくば市の北部では、0.1μSv/hで、ほぼKEKの値と同じであり、特に高い値を示す場所はなかった。事故前の通常的环境放射能による値を0.07-0.09程度とすると、これに加わったものは、ごく僅かである。3月21日に飛来した放射性雲が降雨で沈着したのが、KEK付近の放射線量の主な原因と考えられ、当日の雨風の条件が同じなら、放射線の量もほぼ同じと考えられる。KEKでの値は、つくば市北部での値を代表していると考えられる。

KEKの敷地内でも広い場所で、土壌表面に残っている放射能の表面密度を4月11日に測定した⁴⁾。採取場所を図9、測定されたI-131, Cs-134, Cs-137の濃度を



図9 KEK 内の土壤試料採取場所

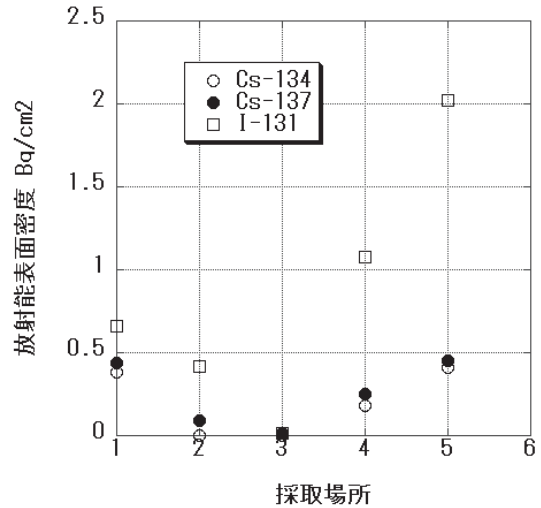


図10 4月11日に測定した I-131, Cs-134, Cs-137 の表面密度

図10に示す。深さ1-3 cmまで採取した土壤試料中の放射能をGe測定器で測定したもので、4月の時点では、ほとんどの放射能は深い場所には移行せず、表面近くに沈着した放射能を全て測定していると考えられる。逆に採取場所3は、工事のために土を入れ替えた場所なので、ほとんど放射能が残っていない。I-131が多いが、減衰が早いので残っているのは、Cs-134, Cs-137が合計1 Bq/cm²以下である。広い土表面にCs-134, Cs-137が同じ量、合計1 Bq/cm²ある時の1 cm線量当量率は、0.05 μSv/h程度であるので、サーベイメータでの線量率の測定値ともほぼ、一致している。

5. 最後に

放射線科学センターの測定を採り上げたが、KEK全体が測定を行っており、最後に略記する。センターのGe検出器の幾つかが、地震で故障し、素核研がJAEAで使っていた機器を、持ち帰って頂いた。厚生

労働省からの水道水中の放射性物質の検査の依頼、文科省からの福島県の土壌の測定の依頼に当たったのは、機器も測定者もこれらのものである。福島からつくば市に避難された方のスクリーニング測定には、加速器施設が、主にチームを組んだ。物構研には、つくば市からの急な要請にも応えて頂いた。測定データの公開には、多くの方から支持を頂いた。必要な限り、今後も公開を続けていく。

文 献

- 1) 佐波 俊哉, 佐々木 慎一, 飯島 和彦, 岸本 祐二, 齋藤 究「茨城県つくば市における福島第一原子力発電所の事故由来の線量率とガンマ線スペクトルの経時変化」日本原子力学会和文論文誌, 第10巻, 第3号, 163-169 (2011)
- 2) 松村 宏, 齋藤 究, 石岡 純, 上菟 義朋, 「高速道路上のガンマ線測定により得られた福島第一原子力発電所から飛散した放射性物質の拡散状況」, 日本原子力学会和文論文誌, 第10巻, 第3号, 152-162 (2011)
- 3) K.Masumoto et al., "RADIONUCLIDES IN AEROSOL SAMPLES COLLECTED AT TSUKUBA, IBARAKI PREFECTURE AFTER THE ACCIDENT IN FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT", ICAS2011, an international congress for analytical sciences, Kyoto, May 22-26 (2011)
- 4) 中村 一, KEK内環境測定(空間線量率と土壌濃度: 4月11日), RAD-S-2011/11(KEK)