



7.21 Ionizing Radiation and Non-Ionizing Radiation in Educational Environment

学校内及び学校周辺での環境中の電離放射線と非電離放射線

Takao Matsuzawa, Tomonobu Otsubo, Satoshi Ikke, Noriko Taguchi, Rie Takeda,
Yukako Kouriki, Ryoichi Takasaki and Hirofumi Suzuki

松沢孝男、大坪友信、一家智史、田口のり子、武田理恵、高力由香子、高崎良一、鈴木啓文

Ibaraki National College of Technology

茨城工業高等専門学校 自然科学科

〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根 866, e-mail: matsuzaw@ge.ibaraki-ct.ac.jp

Abstracts

By chance, we measured gamma dose rates in our school, and around the JCO Tokai Plant during the criticality on September 30 in 1999, with our GM survey meter. At that time, we made sure to estimate the position of criticality reaction (source point), and the source intensity of criticality reaction, with our own data, measured along the public roads, route 6 and local road 62. The intensity of gamma dose rates along the road was analyzed as Lorentz functions. At the time, there were no environmental radiation data about the criticality accident, or all the data, especially radioactivity and dose rates around the JCO Tokai Plant, was closed to the public.

Recently, we are interested in the intensity of non-ionizing radiation, especially extremely low frequency (ELF) magnetic field, and electric field, in our environment. We adopted the same method to analyze the source position and source intensity of an ELF magnetic field and electric field behind a wall.

I 環境中の電離放射線、JCOの臨界事故時の環境放射線測定

(1) 緒言 1999年9月30日の臨界事故の際、臨界継続中に筆者らがGMサーベーターで測定したJCO社周辺の γ 線の空間線量率について述べる。茨城高専はJCO社東海事業所から約9kmの地点にあり、臨界事故の当日は、夜間茨城県より屋内退避勧告が出された。(JCO社より10kmの円内に所在する)

(2) 実験 筆者は、当日公道の環境放射線の強度の測定をボランティアとして行った。国道6号線に沿って9月30日15時~17時ごろのデータを図1に、県道62号線沿いのデータを図2に示す[1-4]。

これらの実測データから計算して求めた線量率 Y と線源(反応容器)からの距離 r の関係について図3に示す。(注:このグラフは、線源の位置がわからないと描けない)当初、図3の両対数グラフの傾きから、 r^{-2} 依存性が強く示されたと判断した。それならば、点線源のモデルで扱えるか検討した。

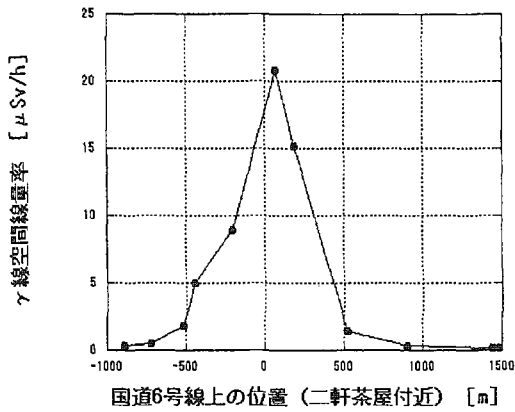


図1 国道6号線に沿って測った9月30日16時~17時ごろのγ線空間線量率

Fig.1 Gamma dose rates along Route 6 in the evening on September 30, 1999, during the criticality.

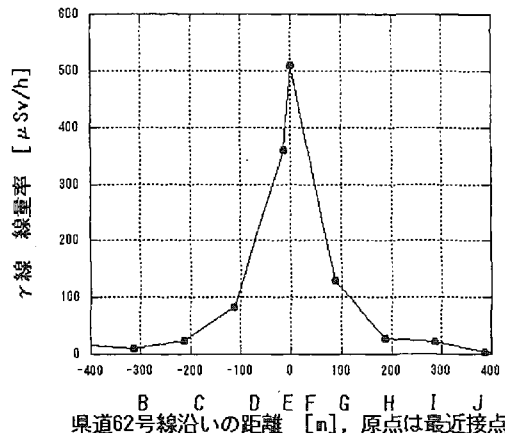


図2 20時頃の県道62号線 (常陸那珂港~瓜連線) 沿いのγ線空間線量率

Fig.2 Gamma dose rates along Prefectural road #62, at 8 p.m. on September 30, 1999, during the criticality.

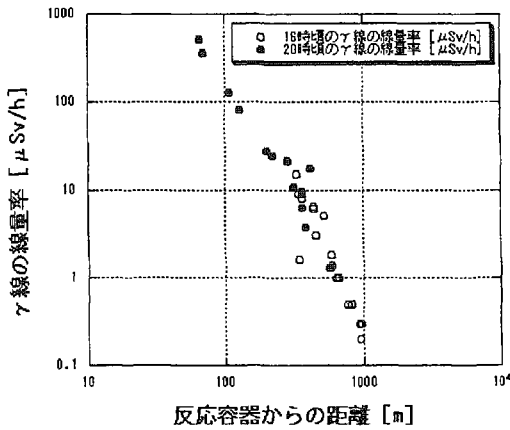


図3 臨界継続中のJCO社周辺のγ線空間線量率 (臨界継続中) [1]

Fig.3 Gamma dose rates in the vicinity of JCO Tokai Plant during the Criticality[1].

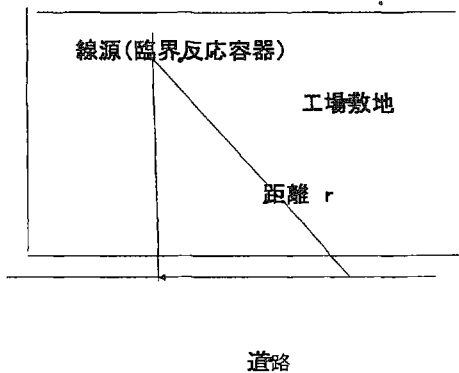


図4 道路上の測定点X、線源A、線源と道路の距離Γ、線源と測定点の距離r

Fig.4 Observing point X, Source point A, Distance between source and observing point r, and the distance between point A and straight line (road) Γ.

$$r^2 = \Gamma^2 + (X - X_0)^2$$

(3) データの解析[5]

線源の強度A、転換棟の反応容器 (沈殿槽) と道路との距離Γ、反応容器と道路上の測定点Xとの距

離 r とすれば、測定点 X での線量率 Y は、

$$Y = A \Gamma^2 / r^2$$

となるはずである。Lorentz型関数を想定した。我々部外者が事故時JCO社の敷地の外の公道で空間線量率を測定する状況を考えれば、点線源モデルは、

$$Y = A / [1 + \{ (X - X_0) / \Gamma \}^2] = A \Gamma^2 / [\Gamma^2 + (X - X_0)^2] = A \Gamma^2 / r^2$$

となり、上の式となる（分子の定数に Γ^2 が含まれる）。 $r^2 = \Gamma^2 + (X - X_0)^2$

この仮定が正しければ、各測定点について、距離で補正した線源の強さは、

$$Y r_i^2 = A \Gamma^2 \text{ (一定)}$$

となることが想定される。両辺の対数をとった

$$\log(Y_i r_i^2) = \log(A \Gamma^2)$$

を片対数グラフ用紙に、縦軸を $\log(Y_i r_i^2)$ 、横軸を r_i にしてグラフを描いた（図5）。

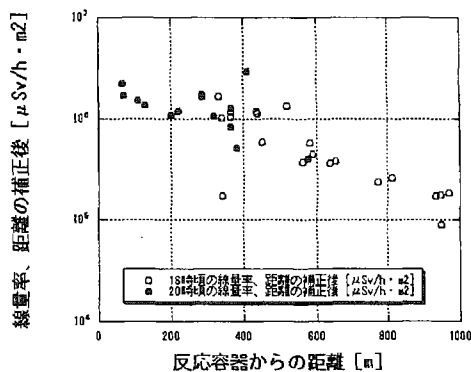


図5 点線源を仮定して距離で補正した線源の強さ
Fig.5 Estimated source-point intensity after distance correction.

図5を見ると、線源の強さの推定値 $\log(Y_i r_i^2)$ の値は一定にならず、 r の増加とともに減少している。臨界反応によるFP(核分裂生成物)線源は混合物で、放射される放射線の線質もエネルギーもわからず、壁、塀、空気の遮蔽効果の程度がわからないが、形式的に平均的な線吸収係数 μ を求めてみた。

$$Y = A \cdot \Gamma^2 \cdot \exp(-\mu \cdot r) / r^2$$

と関数の形を仮定し、

$$Y r^2 = A \cdot \Gamma^2 \cdot \exp(-\mu \cdot r)$$

と書き直した上で両辺の自然対数をとると

$$\log(Y_i r_i^2) = \log(A \Gamma^2) - \mu \cdot r_i$$

となる。図5のグラフの傾きを○(16時)、●(20時)を区別せず読み取ると、 $\mu = 0.005[1/m]$ になった。

この形式的な線吸収係数 μ の値 (0.005[1/m]) の評価を行うため距離および吸収を補正した線源の線量率を求めた。

$$Y \cdot r^2 / \exp(-\mu \cdot r) = A \Gamma^2$$

と再度式を変形すると、距離および吸収を補正した線源の強度（線量率）である左辺の値は一定値になるはずである。片対数グラフ用紙に $\log(Y_i r_i^2 / \exp(-\mu \cdot r_i))$ と r_i をプロットしたものが図6である。残念ながら、グラフは水平にならずやや右上がりの様相を示した。吸収係数を実際より大きめ（図5の傾きを実際より大きめに）に見積っている可能性がある。16時前後の○印、20時前後の●印は、線源の強度が変われば同一直線には乗らない。線種・線質が変わらず線量のみ変わった場合は傾きは同じで y 切片のみ異なる平行な2本の直線になるはずである。

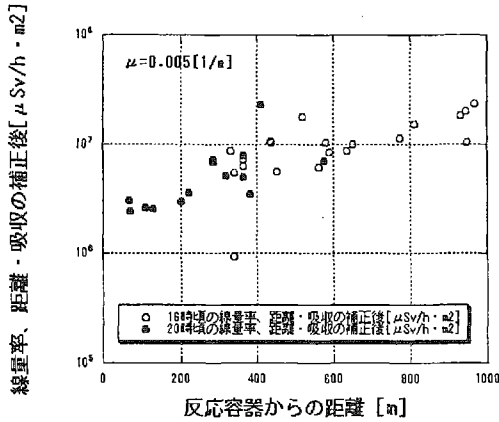


図6 距離および吸収を補正した線源の線量率

$$\mu = 0.005 [1/m]$$

Fig.6 Estimated source-point intensity after distance and absorption correction.

$$\mu = 0.005 [1/m]$$

そのため、測定時刻○、●混合のデータの時より勾配は小さくなる。線吸収係数 $\mu = 0.004 [1/m]$ および、 $0.003 [1/m]$ について $y r^2 / \exp(-\mu \cdot r)$ を試算し、図6と同じグラフを描いてみた。図7の線吸収係数 $\mu = 0.003 [1/m]$ の時、グラフはほぼ水平（方位依存性無し）になった。ビルドアップは考慮していない。

このようにしつこく放射線の強度にこだわるのは、測定した線量率のデータから異方性が認められるか否かがJCO社近隣の一般住民の被曝線量の評価の際のモデルの妥当性の評価に直接強く影響するからである。現在でもこの議論はホットに続いている[6,7]。現場周辺に存在する各種遮蔽物による線量率の異方性を認めれば、大部分の被曝住民の被曝線量の評価は現在のものより低くなるはずである。

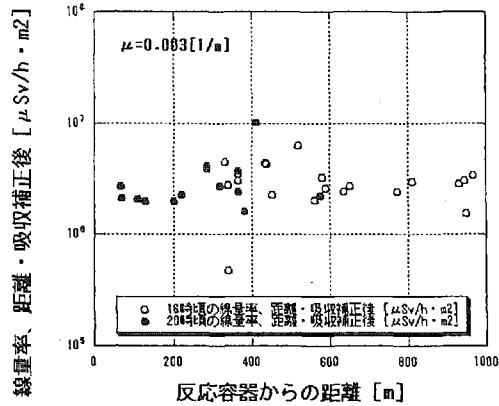


図7 距離および吸収を補正した線源の線量率,

$$\mu = 0.003 [1/m]$$

Fig.7 Estimated source-point intensity after distance and absorption correction.

$$\mu = 0.0031 [1/m]$$

今回のJCOの臨界事故時の中性子の線吸収係数については次の測定値の報告がある。

原研労組 $\mu = 3.2 \times 10^{-3} [1/m]$ [8]

小藤ら、 $\mu = 6.0 \times 10^{-3} [1/m]$ [9]

小藤ら、 $\mu = 8 \times 10^{-3} [1/m]$ [10]

この[13]は臨界継続中の中性子ドーズメーターによる測定、[9,10]は、採取した放射化試料の測定によるもので、核種も明確で信頼できるデータである。ただしこれら[9,10]は、臨界終息後、時間をかけ、かつ高度な測定器を用いての実験データであり、本報告の「臨界継続中」「測定器は、 γ 線用のGMサーベーターしかない」という、緊急時の、迅速測定とは趣を異にする。私のデータはガンマ線測定で中性子とは線種が異なるが偶然か中性子の線吸収係数 μ とほぼ同じ値となった。

測定データの解釈について述べる。事故時の現場周辺という状況では、ただ測ったデータを並べればよいというものではない。臨界事故時、事業所の塀の外から部外者が臨界事故の発生場所と線源の強さと放射

線の広がり現場で推定する必要がある。

JCO の臨界事故時、事業所の職員、旧科技庁、原研・動燃等の関係者は事業所の地図、図面や担当者等の説明で事故の概要、規模等把握できる。しかし、塀の外の一一般市民には情報は何も知らされなかった。このような場合、2本の道路に沿って線量率を測るだけで臨界の発生個所、線源の強さ、放射線の広がりほぼ把握できる。『臨界事故時の線源位置、線量の見積もり』などという本はないから、現場で簡単なモデルを考えた。

直交する x 軸、 y 軸を考える。第 1 象限に線源(臨界反応容器、沈殿槽)があるが、JCO の事業所は、塀で囲まれており外から内部の建物の配置はわからない。臨界反応の発生個所の座標を (a,b) とする。原点 $(0,0)$ は、二軒茶屋交差点のイメージである。この状況で、位置座標 a,b と線源の強さ A を求めることを考えた。学生時代、メスバウアー効果の吸収スペクトルのデータ解析に Lorentz 型関数のフィッティングを行っていたことを思い出した。当時 1 本の吸収ピークを、 $Y=A / \{1+(X/\Gamma)^2\}$ のように表わしていた。分母に Γ^2 を掛けると、 $Y=A \Gamma^2 / \{\Gamma^2+X^2\}$ となる。分母の $\{\Gamma^2+X^2\}$ を線源と測定点の距離 r の 2 乗と理解する。道路に沿って測った線量率分布の半値半幅 HWHM から線源と道路との距離 Γ を求め、道路上の x 座標 (原点は任意)、道路上で線量率の最大になる点の座標を x_0 とすれば、 $x - x_0$ がわかれば線源の座標がわからなくても線源と測定点との距離は求められることに気が付いた。 $r^2 = \Gamma^2+X^2 = \Gamma^2+(x - x_0)^2$ である。

(4) 考察

事故後、JCO の臨界事故の際の中性子や、ガンマ線の線量率の強度の報告書、論文、記事等が多数発表された。しかし、臨界反応が終息してから、また、臨界反応の容器(沈殿槽)の場所、地図(位置)がわかってから測定個所と反応容器の距離を測ったものばかりで教科書的ではあるが、臨界継続中に、反応容器の場所もわからないまま、線源位置、及び線源と道路および各測定点との距離、線源のおよその強度を線量率のデータから決めたものは無かった。時系列的に見れば後追いのデータ解析であって、一見精度が高い高級な測定のようにも見えるが、臨界終息後なら誰でもどんな解析でもできるわけで臨界継続中の事故現場では役に立たない。臨界継続中に自分の測定データ(市民には、JCO 社の敷地内の地図は無い)のみでどれだけの情報を把握し、その解析から放射線の広がりとその強度をどの程度正確に予想できるかが防災上重要である。

臨界継続中のこの時点では、筆者も点線源のモデルでの解析で手一杯で、方位による線量率の僅かな変動に気がつくのは臨界終息後、落ち着いてグラフ用紙にデータをプロットしてからである。

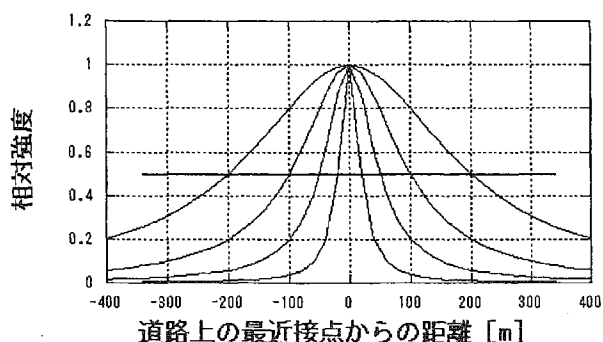


図 8 点線源近傍の直線道路沿いの空間線量率の強度分布と線源道路の距離 Γ 、20m、50m、100m and 200m. (Lorentz 型関数の半値半幅 HWHM, Γ)

Fig.8 Dose rate distribution along a straight road near source point. The distances between source point and road are 20m, 50m, 100m and 200m. Γ is HWHM, half width at half maximum of Lorentz function.

解析方法 x 軸(国道 6 号線)に沿って空間線量率を測る。同じように y 軸(県道 62 号線)に沿って空間線量率を測る。図 11、図 12 のグラフを描き、線量率の最大値の $1/2$ の高さの線幅 2Γ を求める。これを $2\Gamma_a$ 、 $2\Gamma_b$ とする。図 11 の線量率の最大値を α 、図 12 の線量率の最大値を β とする。

座標: $a = \Gamma_a$ $b = \Gamma_b$

線源： $A_1 = \alpha \cdot b^2$ $A_2 = \beta \cdot a^2$

臨界継続中の線源の強さは本来同一のはずで、ガンマ線として $A_1 = A_2 = A$ 、中性子まで含めれば、その約 10 倍、 $10A$ となる。

第 1 近似の点線源モデルでは、線源から距離 r の点の線量率 Y は(極座標系では)、

$$Y = A / r^2 \quad (1)$$

これを直交座標系で考えると、点 (x,y) の線量率は、

$$Y = A / \{(x-a)^2 + (y-b)^2\} \text{ となる。}(a,b) \text{ は線源の位置。}$$

この表現は、教科書あるいは論文にはよいが、臨界事故時、事業所の外の公道でしか放射線の測定ができないときには使いにくい。一般市民は道路 X (国道 6 号線)、道路 Y (県道 62 号線) に沿って線量率を測定できるだけであった。我々一般市民は、権限もなく、危険もあり JCO の事業所にも、付近の民家にも立ち入れない。

式(1)は、 x 軸、 y 軸に沿った 2 つの式、

$$Y = A_1 / \{b^2 + (x-a)^2\} \quad (2a),$$

$$Y = A_2 / \{a^2 + (y-b)^2\} \quad (2b)$$

の形で整理する。 x 軸に沿って測った線量率のデータ、 y 軸に沿って測った線量率のデータを図 11、図 12 のように描き、それぞれの線量率の最大値の 1/2 の高さの水平線を書き込み、グラフとの交点から、それぞれの線幅 FWHM、 2Γ を読み取る。(臨界事故の現場で最小 2 乗法等できなかった。)

図 11 の線幅 FWHM が $2\Gamma_a$ 、図 12 の線幅 FWHM が $2\Gamma_b$ である。

$$A = \Gamma_a = 550[\text{m}]/2 = 275[\text{m}],$$

$$B = \Gamma_b = 120[\text{m}]/2 = 60[\text{m}]$$

図 11 の線量率の最大値 α は (2a) より $x=a$ の時で、 $\alpha = A_1/b^2$ (3a)、

図 12 の線量率の最大値 β は (2b) より $y=b$ の時で、 $\beta = A_2/a^2$ (3b)

これらより、 $A_1 = \alpha \cdot b^2$ 、(3a')、 $A_2 = \beta \cdot a^2$ (3b')

モデルが実態に合っていれば $A_1 \doteq A_2$ となるはずである。

結果の評価 $A_2/A_1 = (\beta/\alpha)(a/b)^2$ で、モデルの適合度を評価する。実際の測定データで確認を行うと (測定時刻は 16 時と 20 時で若干異なるが)、

$A_2/A_1 = (510/20.8)(60/275)^2 = 1.167$ となった。ほぼ 1.0 に等しい。大雑把には点線源モデルで扱えるといえる。

このとき、臨界継続中の反応容器の線源の γ 線強度は、

$$A_1 = \alpha \cdot b^2 = 20.8[\mu\text{Sv/h}] \cdot (275[\text{m}])^2 = 1.57[\text{Sv/h} \cdot \text{m}^2]$$

$$A_2 = \beta \cdot a^2 = 510[\mu\text{Sv/h}] \cdot (60[\text{m}])^2 = 1.83[\text{Sv/h} \cdot \text{m}^2]$$

平均 $A \doteq 1.70 [\text{Sv/h} \cdot \text{m}^2]$ となった。中性子の線源強度は $A \doteq 17.0 [\text{Sv/h} \cdot \text{m}^2]$ となる。ここでは n/γ 比を約 10 と仮定した。臨界継続中の線源の位置は (60[m]、275[m]) と推定した。

このデータの処理の仕方は、データを Lorentz 型関数で処理したことに相当する。線源の強度を A 、線幅を Γ として、

$$Y = A / [1 + \{(x-a)/\Gamma\}^2]$$

とおき、分母・分子に Γ^2 を掛けて、

$$Y = A\Gamma^2 / \{\Gamma^2 + (x-a)^2\} = A\Gamma^2 / r^2$$

として扱う。本稿で関数の形が、 $Y = A/r^2$ でなく、 $Y = A\Gamma^2/r^2$ と線源と道路の距離 Γ^2 が入ってくる理由である。空間線量率の実測データを図 9～図 12 に示す。

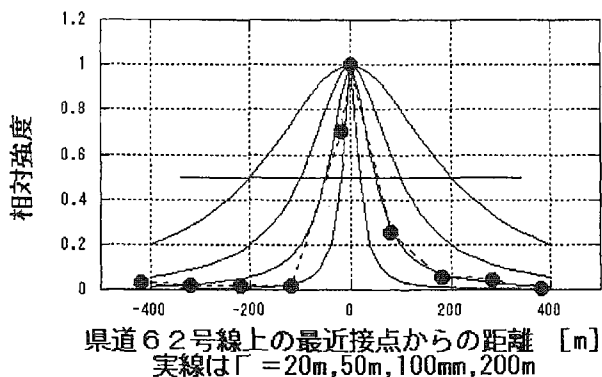


図9 道路(県道62号線)沿いのガンマ線空間線量率の実測データ(方眼紙)
Fig.9 Actual gamma radiation dose along local road #62.

$x = -200[m] \sim 0[m]$ の範囲で線量率が Lorentz 関数より小さな値をとっている。JCO社の建物による遮蔽効果を示していると考えられる。

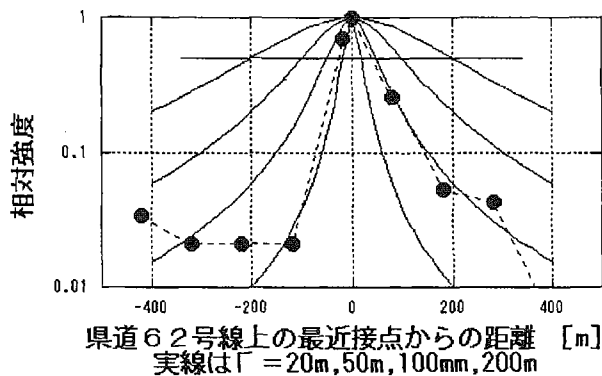


図10 道路(県道62号線)沿いのガンマ線空間線量率の実測データ(片対数方眼紙)
Fig.10 Actual gamma dose rates along the local road #62.(Semi-log plot)

片対数で表示すると、 $x = -400[m] \sim x = -300[m]$ の範囲で線量率が Lorentz 関数より大きめに観測されている(建物の隙間を突き抜けた可能性)がある。

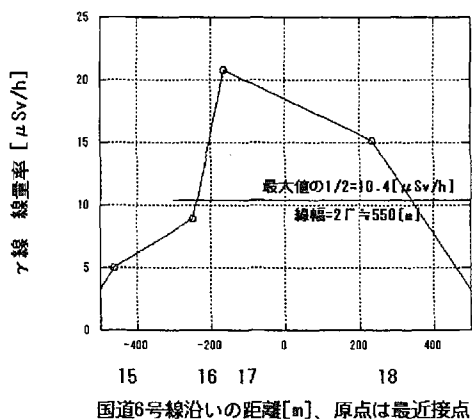


図11 x軸(国道6号線)沿いの γ 線線量率
(9月30日午後4時)
Fig.11 Gamma dose rates along the X axis;
Route 6 at 4 p.m. on 30 September, 1999.

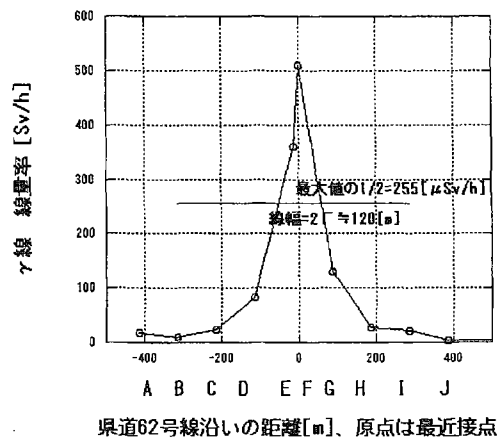


図12 y軸(県道62号線)沿いの γ 線線量率
(9月30日午後8時)
Fig.12 Gamma dose rates along the Y axis; load #62, at 8 p.m. on 30 September, 1999.

(5) 地元教員の使命[4,5]

筆者はこのような大事故時および大事故後の安全確認の測定も地元の教員の責務だと考えている[4,5]。平素地元の他の教員が(大学も含め)自校周辺の環境放射線強度に無関心(敬遠ぎみ)であることを不思議に思う。中学高等学校では理科教育振興法で購入が保障されている放射線測定機器と、放射線計測協会が無料で貸し出す「はかるくん」で誰でも測定もできることであるのにである。原研の創立以来40余年の準備期間があったのに大学等に放射線測定機器が準備されていなかったとしたら問題外である。何のための「地域の大学」であるかである。事故時もしJCOの敷地内へ入るのが躊躇れたら、JCOの事業所の外周を上記測定機で測りバックグラウンドとの差の有無を発表すればそれだけでも周辺の住民の不安感も解消できたはずであった。

今回のJCOの事故程度で「萎縮」していたら、1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原発級の事故の際ハンガリーの高校の物理教員が測定により国土の汚染地図を詳細に作成し無用な人工妊娠中絶の防止に果たしたような行動はできない[11]であろう。

JCOの臨界事故後、さまざまな原子力防災対策が検討され実施された。茨城県およびひたちなか市の施策のうち本校に直接関係ある項目についてそれら施策の齟齬(机上プランぶりを)を示す個所を本校の「学校安全の心得」(2004年度、第4版)の「原子力防災」の章[12]に明示した(文責松沢)。JCOの事故で確認したように、原子力災害時、公務員や組織の行動原理(習性)として予め文書で定められている茨城県やひたちなか市の「地域防災マニュアル」[13]や茨城県教育委員会の「学校における原子力防災マニュアル」[14]以上のことを本校(茨城高専)が期待することは無理であるから、それら規則・対策の限界について予め熟知しておく必要があるからである。以下の記述は、茨城県教育委員会の「学校における原子力防災マニュアル」[14]の記述に欠けている、しかし私たちにとっては一番知りたい情報の羅列である。我々の最大の関心事は、茨城県教育委員会は国立学校である本校の存在を無視している(念頭に入れていない)ことと、同じように縦割り行政の制約から茨城県も地元ひたちなか市も本校を原子力災害時のコンクリート屋内避難所(収容人員1,330名)に指定しておきながら、こと予算の伴う通報体制に関しては、国立学校ということでひたちなか市の防災用の無線連絡網から締め出す防災計画をJCOの事故後でも無頓着に立案実行していることである。

筆者が測定したのは、物理量に近いγ線の空間線量率だけであるが[1]その測定で、過去40余年の茨城県や国の原子力教育や学校教育の欠点を顕わにしてしまったような気がする。社会の制度に対してもそうである。危機というものは社会に対し材料試験の「破壊試験」に相当する強烈な効果があると感じた。JCO事故による貴重な生命、財産を含む損失に対し、事件を風化させず、事実と問題点を広く明らかにし改善していく必要を感じている。

(6) 将来に向かって、測定データの公表[5]

臨界事故の当日から気になっていたことであるが、測定データの公表の可否と方法についてである。従来いわれていた「情報の一元管理」の制約から、「情報を人に洩らし・伝えてはいけない」と心理的なブレーキになっていた。臨界事故のとき、東海村に入った情報を村の職員が隣接市町村に伝えなたったことも、この「情報の一元管理」の呪縛による。

事故後、「事故時、私たちの測定データを公表して良いか、またその方法は」と、旧科学技術庁核燃料規制課の課長に直接口頭で質問した所、「発表してよい。インターネット等で一般公衆に直接発表することも差し障りはない」との回答を得た。今までの自己規制の制約は何であったかと思うくらい意外な回答であった。R取扱主任者の免状(第1種)を持っていること、現にRI取扱主任者に任命されていること、放射線測定器は定期的に公的な機関で校正を受けていること、JCOの臨界事故時には、公道の空間線量率の測定をおこなったことを述べたあとの質問であり、事故時必ずしも誰でも勝手に測定値を公表してよいと言われたことにはならないかもしれないが、少なくともわたしたちは堂々と測定し測定値を一般にも公表できるとのお墨付きを旧科学技術庁の担当責任者から得たと思っている。何時あるかわか

らない次の原子力災害にも対処できるよう、平時よりの環境放射線の測定およびインターネットを含むデータの公表の手段を構築してゆく所存である。

II 環境中の非電離放射線、学校の環境中運の超低周波 (ELF) 磁界の測定

(1) 緒言

学校環境における非電離放射線の状況を調べるため、商用電源である 50Hz の超低周波 (ELF) 磁界の測定を試みた。50Hz の交流の真空中 (大気中) の波長は、6,000km であり、電界は電界として、磁界は磁界として別々に測る必要がある。VLF, ELF の電界および磁界を測る測定器として、Radiation Technology, Inc., Ohio, USA 製の、

超低周波磁界計, Dual Spectrum Magnetic Field Meter, TRACER MR 100S, V1.2 (VLF, ELF 用)

超低周波電界計, Dual Spectrum Electric Field Meter, TRACER EF1000, V1.0 (VLF, ELF 用)

を用いた。国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) の防護指針[15,16]によれば、50Hz の商用電源に対する公衆曝露に関する曝露レベルは、電界強度限は 5,000[V/m]、磁束密度の上限は 100[μ T] (1000[mG]) である。

Guideline for limiting exposure to time-varying magnetic fields

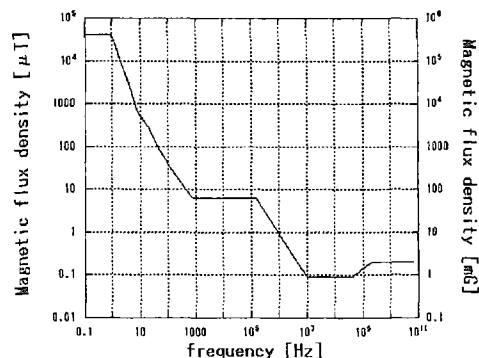


図 13. ICNIRP 方針で公衆曝露に関する磁界の曝露レベル

Fig.13 Guidelines for limiting exposure to Time-varying magnetic fields (up to 300GHz).[15]

(2) 実験

茨城高専管理棟 1 階廊下西側の壁の奥には年中唸りを上げています変電室がある。身の周りには、電磁波があふれている。電気製品はほぼ総べて非電離放射線を放射しており、その中で生活している我々は電磁波に被曝しながら生活していると言って良い。問題はその分布と量である。

電磁波($S=E \times H$)の成分である電界(電場)、磁界(磁場)は夫々強さを増すほど人体に影響を及ぼす。電界は導体で覆ってしまえば遮蔽できる。それに対して磁界は電界に比べて非常に透過能が強く理屈の上では比透磁率が鉄($\mu_r=1000$)よりも桁違いに大きい物質で覆えば磁界は漏れないが、日常生活をおくるうえでは事実上無理である。電磁波の生体への影響と他の電気機器の誤動作の問題がありうる。今回は低周波交流磁界に絞って変電室の周りに放射されている電磁界を調べた。

(2-1) 測定方法

変電室近傍の 3 次元空間の超低周波交流磁界 (磁束密度) の測定。X-Y-Z 軸方向の距離と磁界強度、磁界方向の測定その結果からの変圧器の個数、配置を推定する。小手調べに変電室脇の廊下の壁に沿った距離、廊下に垂直な距離と磁界強度との関係を調べる。

(2-2) 測定結果

まず変電室前を廊下に沿って 1[m]間隔で測って見当をつけた後測定間隔を狭め、0.5[m]間隔で測る。この時、測定器の床からの高さは約 1[m]、壁と測定器の距離は 0.3[m]とした。測定結果を横軸を基準点からの距離、縦軸を磁界の強さとしてグラフを描いた。全体的には値に時間変化はないが、局所的特に

小さめの極大付近で値がばらついて読み取りに難があった。グラフより半値半幅 (HWHM) を算出する。後に、HWHM でなく、HW0.7M(私称)に改めた。(Lorentz 型関数でなく双曲線型関数、後述)

図 15 からは廊下沿いの壁際の磁束密度のデータには、 $x=9.5[m]$ に 1 つ、 $x=11.5\sim 13.5[m]$ 付近にもう 1 つ小さなピークが見られ、コンクリート壁の向こうに変圧器か電気配線の幹線がありそうだと予想される。また、半値幅(FWHM)は細くて対称性の良い図 15 から約 HWHM, $\Gamma = 0.6[m]$ となり、 $0.3[m]$ (壁から測定点までの距離)+ $0.6[m]$ (壁の表面から変圧器等への奥行き) = $0.9[m]$ 、従って変圧器・幹線の配線は壁の奥約 $0.9[m]$ と推測された。(あとで $0.8[m]$ に訂正した)

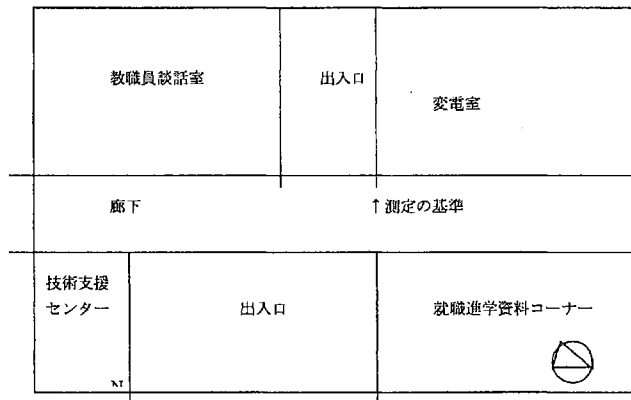


図 14 茨城工業高等専門学校管理棟 1 階変電室周辺概略図

Fig.14 Map of transformer room location in Ibaraki National College of Technology.

後日、変電室の内部を見学させてもらった。変電室の中の変圧器は廊下側ではなく、校舎の外側(西側)に 5 つ並んでおり、廊下側には送電用の太い電線が鉛直に壁に沿っていた。変電室の南側の壁の内側には、調整用の蓄電器 (コンデンサー) が 2 個設置されていた。

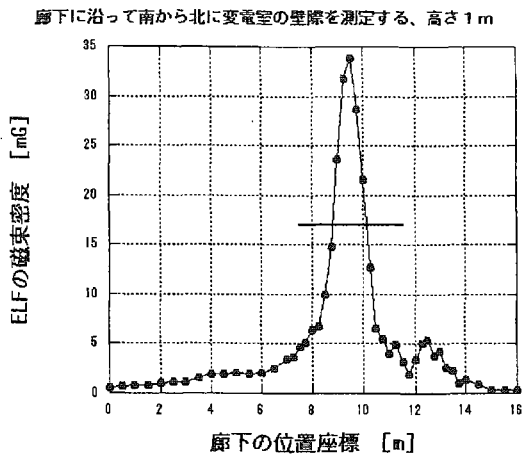


図 15. 変電室東外壁に沿って測った ELF における磁界（磁束密度分布）[mG]
 磁束密度 18mG の水平線は、HWHM 読取用
 $FWHM=1.2m, \therefore \Gamma=0.6m$
 HW0.7M の決定用には、 $34 \times 0.7 = 24mG$ の所に水平線を描く。 $2\Gamma=1.0[m], \therefore \Gamma=0.5m$
 Fig. 15 ELF magnetic flux density along the East wall of the transformer room [mG].

(3) 考察

変電室脇の廊下の壁に沿って測った磁束密度の分布が Lorentz 型関数に似ていたため、単純に点線源の電離放射線の空間分布と同じと錯覚して奥行きを推定してしまったが、ビオ・サバルの公式を積分して得られる直線電流や円形電流の周囲の磁界の強度はいずれも”電流/距離(I/r)”の関数である。Lorentz 関数の代わりに双曲線関数 $Y=A/r$ を用いて線源と道路の距離と半値幅の関係を調べた。

復習として、空間線量率分布を表す Lorentz 関数について再考する。

$Y=A/r^2$ とし、 $r^2=\Gamma^2+x^2$ とする。道路上では Y の最大値は $x=0$ のときで、 $Y_{max}=A/\Gamma^2$ 。 $\therefore A= Y_{max} \cdot \Gamma^2$ 。よって実験式の形は、 $y=(Y_{max} \cdot \Gamma^2)/(\Gamma^2+x^2)$ 。 $x=\Gamma$ となる Y の値は、 $Y_{\Gamma}=(Y_{max} \cdot \Gamma^2)/(2\Gamma^2)$ 。即ち、 $Y_{\Gamma}=Y_{max}/2=0.5 Y_{max}$ 。最大値の 1/2 の水平線と交わる X の値が HWHM である。

磁束密度の分布の場合、双曲線関数について考える。

$Y=A/r$ とし $r^2=\Gamma^2+x^2$ とする。 $Y=A/\sqrt{(\Gamma^2+x^2)}$ である。道路上では Y の最大値は $x=0$ のときで $Y_{max}=A/\Gamma$ 。 $\therefore A= Y_{max} \cdot \Gamma$ 。よって実験式の形は、 $y=(Y_{max} \cdot \Gamma)/\sqrt{(\Gamma^2+x^2)}$ 。 $x=\Gamma$ となる Y の値は、 $Y_{\Gamma}=(Y_{max} \cdot \Gamma)/\sqrt{2\Gamma^2}$ 。即ち、 $Y_{\Gamma}=Y_{max}/\sqrt{2}=0.7070 Y_{max}$ 。 Γ は Y の最大値の 0.7 倍に対応する x の値となる。これを、HW0.7M と仮称する。最大値の 1/2 の水平線ではなく 7/10 の水平線と交わる X の値が HW0.7M である。道路から線源までの奥行きに相当する。

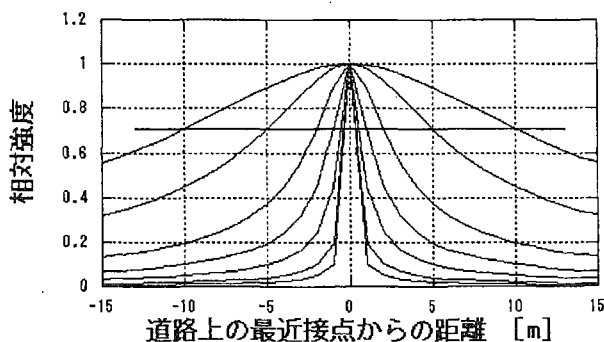


図 16 点線源近傍の直線道路沿いの磁束密度の強度分布と線源と道路の距離 Γ , 0.1m, 0.2m, 0.5m, 1.0m, 2.0m, 5.0m および 10m. (双曲線型関数の半値 0.7 幅、HW0.7M, Γ)
 Fig.16 Magnetic flux density distribution along a straight road near source point. The distances between source point and road Γ are , 0.1m, 0.2m, 0.5m, 1.0m, 2.0m, 5.0m and 10m. Γ is HW0.7M, half width at 0.7 maximum of Hyperbolic function

道路上では、電離放射線の線量率は $1/r^2$ に比例し、磁束密度の強度は $1/r$ に比例する。距離 r の変化に対し、電離放射線の強度の変化のほうが磁束密度の変化より激しい（急激に減少する）はずである。距離 r が等しいときはそのとおりであるが、今回の例では、電離放射線の測定では Γ が 60[m]程度、それ

に対し、磁束密度の測定は、 Γ が0.5[m]以下のため、一見、磁束密度の測定値の半値幅が狭く感じただけである。図15で半値幅、HW0.7Mを読み取るとHWHMの0.6[m]ではなく、0.5[m]であった。壁と線源の距離が10[cm]短縮され、より実態に近づいた。

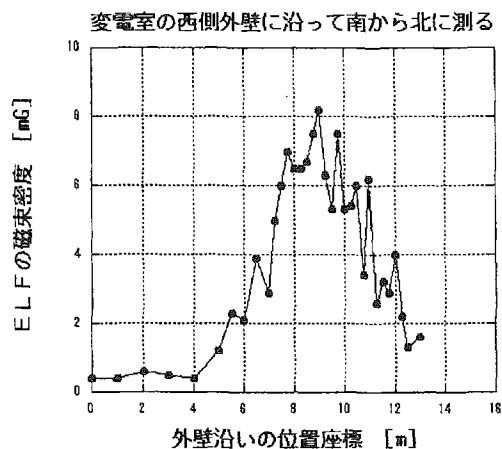


図17. 変電室西外壁に沿って測ったELFにおける磁界(磁束密度分布) [mG].

Fig. 17 ELF magnetic flux density along the west wall of the transformer room [mG].

図15と同様の図が数本重ねて描かれているのが図17である。5台の変圧器の漏洩磁界の重ね合わせとして理解できる。

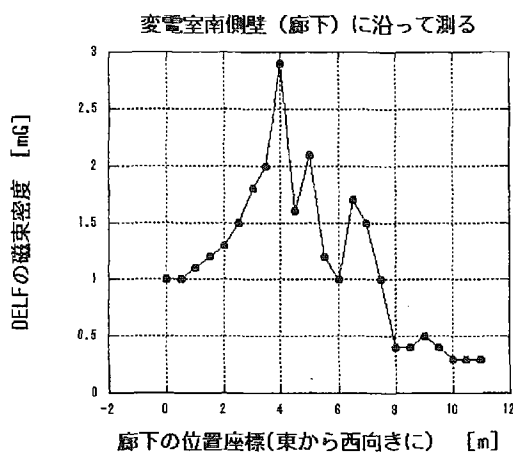


図18. 変電室南外壁に沿って測ったELFにおける磁界(磁束密度分布) [mG].

Fig. 18 ELF magnetic flux density along the south wall of the transformer room [mG].

図18の変電室の南側の壁際の磁束密度の測定は、2~3本のピークの重ねあわせにも見えるが、磁束密度は最大でも2mG程度であり、東壁の磁束密度の最大値の1/10以下、西壁の磁束密度の最大値の1/5程度であった。変圧器でなく調整用の蓄電器による漏洩磁界と思われる。

(4) まとめ

今回の測定では予備測定的な面が強いが若干の成果があったと思われる。今回は測定器の都合で1軸式の測定のみであったが、本来の磁界、磁束密度はベクトル量であり、 $H^2=H_x^2+H_y^2+H_z^2$ (磁界)、 $B^2=B_x^2+B_y^2+B_z^2$ (磁束密度) のはずなので、本当に我々が被曝している非電離放射線の量はもっと多い可能性がある。3軸式の磁束密度測定器で、再度精密な測定を行う必要がある。今回の予備測定で見る限り、学校の中で一番交流の磁界(磁束密度)の高い変電室の周辺でも、磁界(磁束密度)の強度は、ICNRP(国際非電離放射線防護委員会)の勧告値[15]の1/10以下であることがわかった。特殊な測定器や低電圧大電流の加熱装置等の近傍へ行かない限り、低周波交流電磁界の人体への影響は無いと思われる。

今後、学内の実験室、電算機端末室等の測定個所を増やすことと、現在の1軸式の磁束密度の測定器の代わりに3軸式の磁束密度測定器を用いて詳細な測定を繰り返す必要がある。さらに、超低数波(ELF)の電磁界だけでなく、GHz帯までの各周波数帯域の電磁界強度の測定を行い、総合的な非電離放射線強度の測定を行う必要がある。

III 謝辞

筆者がこの放射線教育シンポジウムで感化(感銘)を受けたのは、1998年の葉山でのISRE'98の発表のうちのハンガリーのToth及びMarxの講演であった[11]。1984年からのハンガリーの教育改革(原子物理学の必修化)と1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原発事故の際のハンガリーの高校の物理教員による国土の汚染地図の作成と国民への啓発活動の話であった。放射線を楽しむだけでなく(原子力・放射線)の重大事故の際、教員は何ができました何をすべきかを真剣に考える機会となった。幸か不幸かそれから1年も経ずにJCOの臨界事故に直面した。TothおよびMarxの講演の内容を思い出しながら、学校やJCO社周辺の空間線量率の測定をおこなった。

2002年8月、第2回放射線教育シンポジウムがハンガリーのDebrecenで開催された。JCOの臨界事故時の紹介をするとともに、Toth先生、Marx教授に再会し、ハンガリーの教育改革のこととチェルノブイリ原発事故の際のハンガリーの高校の物理の教員の活動について直接状況を聞いた。同国の自由化、政権の交代は、国民一律の放射線教育を困難にしている状況を知った。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(基盤B)「原子力災害時の避難所に指定された学校における平時のPA教育と事故時のための対策」(代表松澤孝男、1999~2002年度、No.11558064)(JCOの臨界事故以前に申請したもの)および、文部省の「臨界事故の環境影響に関する緊急学術調査」(代表小村和久金沢大学教授、1999~2000年度、No.10480024)に拠る。JCO社および地元自治体、放射線計測協会には資料や調査で多大の便宜をはかっていただいた。文部省の緊急学術調査のメンバーの方々には調査の準備、調査、討論等すべての面でお世話になった。厚く感謝する次第である。

IV 参考文献

- [1] Takao Matsuzawa, Kunihiko Kawai, Gamma dose rate in the vicinity of JCO as of approximately 8:00 pm on September 30, 1999, Journal of Environmental Radioactivity, 50 [1-2] 27-36 (2000).
- [2] 松沢孝男, 飯岡邦彦, 河井義春, 臨界事故当日のJCO社周辺の γ 線の空間線量率—情報の無いJCOの敷地の外の公衆と警備の警察官の放射線防護の為に—, 原子力学会2000年(第38回)春の年会要旨集, (2000年3月28~30日, 愛媛大学), p. 722 (2000).
- [3] T. Matsuzawa et al., Abstracts of Workshop on The Criticality Accident at Tokai-mura, 19 May 2000, International Conference Center, Hiroshima, Japan., pp. 9-11. (2000)
- [4] 松沢孝男, 原子力災害時の地元教員の役割—JCO事故当日の経験から、第2回環境放射能・放射線夏の学校ワークショップ報告書「核災害時における専門家のとりくみ」(JCO臨界事故における文部省緊急調査班の活動を中心に)、平成12年7月22日、金沢大学辰口研修センター、pp. 10-12. (2000).
- [5] 松沢孝男, 臨界事故から約130日後のJCOの敷地内および周辺の空間線量率(JCO報告、その3) 茨城工業高等専門学校研究彙報 第39号41-52 (2004).
- [6] 高田純、「世界の放射線被曝地調査」2001年1月刊、講談社。
- [7] 高田純、「科学」2003年、岩波書店。
- [8] The Central Executive Committee of Japan Atomic Energy Research Institute Labour Union, Estimation of the integral dose of neutrons using monitoring data, Journal of Environmental Radioactivity, 50[1-2](2000), pp. 37-41.

- [9] H. Kofuji, K.Komura, Y.Yamada, M.Yamamoto, An estimation of fast neutron flux by $^{35}\text{Cl}(n, \alpha)^{32}\text{P}$, *ibid.*, 50[1-2](2000), pp. 49-54.
- [10] 小藤久毅、小村和久、山田芳宗、佐々木研一、山本政儀、 ^{32}P 生成量から速中性子束の推定、第28回放医研環境セミナー、ウラン加工工場臨界事故に対する環境測定・線量推定、平成12年12月7日-8日、予稿集、pp. 15-16.
- [11] Esther Toth, Nuclear Literacy, Abstracts of Inter-national Symposium on Radiation Education (ISRE 98), December 11-14, 1998, International Productivity Center, Shonan International Village, Hayama, Kanagawa Japan. 65 (1998).
- [12] 第9編第7章原子力防災、茨城工業高等専門学校「学校安全の心得」2004年度(第4版) pp. 9-20~9-24.
- [13] ひたちなか市、地域防災計画、原子力災害編
- [14] 茨城県教育委員会(保健体育課)、「学校における原子力防災マニュアル」平成13年(2001年)11月.
- [15] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying Fields (up to 300GHz), *Health Physics*, vol.74[4](1998).
- [16] 電磁界生体影響問題調査特別委員会、「電磁界の生体影響に関する現状評価と今後の課題」、平成10年10月30日、社団法人電気学会、同委員会、「身の回りの電磁界と人の健康への影響」、平成11年3月20日、社団法人電気学会.