

基礎セミナーで名古屋大学キャンパス内の放射線をしらべる
**An application of radiation-environment in the Nagoya University Campus
for fruitful subject of the First Year Seminar**

椋本ひかり^{1,2}・田中 剛^{2*}
Hikari Mukumoto^{1,2}, Tsuyoshi Tanaka^{2*}

¹名古屋大学大学院環境学研究科・²名古屋大学宇宙地球環境研究所 年代測定研究部

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan.

²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan.

*Correspondence author. E-mail: tanakat@nagoya-u.jp

Abstract

We experienced severe accident on nuclear power plant at March 2011. We understood now that the radioactivity is one of the most important environments for our mankind. Knowledge and basic experience on radioactivity must be a fundamental curriculum to be taught in the General Education of University. We intended to understand natural radioactivity depend on our common environments. In this paper, we report the result of our trials for measurement of radioactivity in and around the Higashiyama Campus of Nagoya University. Measured activities will be memorized on students as our common exposure.

keywords: radioactivity ; First Year Seminar ; isotopes ; general education

キーワード：放射線；基礎セミナー；同位体；教養教育

1. はじめに

2011年3月に起こった東京電力福島第一原子力発電所での事故は、これまでの日常生活において、気に留める必要が無かった様々な物理量を、意識の内に持ち込んだ。その中には、放射性核種や放射線についての物理量がある。たとえば、本稿をまとめている2016年2月5日の朝日新聞名古屋版には、『放射性物質で汚染されたゴミのうち、放射性セシウムの濃度が1キロあたり8千ベクレルを超えるものを、、、』との記事が3面に掲載され、同じく2月9日の夕刊には、『丸山環境相が、除染などで国が長期目標として示している年間追加被曝線量1ミリシーベルトについて「何の根拠もない」と講演で、、、』などの記事が掲載されている。

名古屋大学の卒業生は、様々な職業に携わり、世界各地での活躍が期待されている。ヘルシンキの最高気温がマイナス5度、あるいは、ダマスカスの最低気温が30度であると聞けば、自分が過去に経験した値から類推して、どのような服装でフィールドワークに赴けば良いか、その対応にさほどの誤りは無い。しかし、マイクロシーベルト、あるいはベクレルの数値が目の前に踊った時、それらがキャンパスのある名古屋での日常体験と比較して、どれほどのものであるかの知識が無ければ、値の評価は難しく、すべて行政府から公にされる指針が行動の基準となる。将来多くの分野で指導的立場に立つであろう学生は、常にそのような指針が出された理由を考え、自分自身の行動に自ら判断を下し、社会を導く力を持つことが望まれる。

原子力発電所の事故で放出された放射性物質そのものを名古屋で直接観察する事は容易にはできない。しかし、自然界には、ウランやトリウムの娘核種やカリウムの放射壊変に伴う放射線が飛び交い、その量はキャンパス内においても、場所により大きく異なる。その値はどれほどなのか？ 場所により異なる理由は何か？ 測定機器に表示される数値は何を意味しているのか？ について TA や学生と共に考えた。

本報告は、大学初年時学生を対象として企画されている「基礎セミナー」を利用して、『シーベルト (Sv) で表現される線量当量を体感し、紙面に報道される数値を体で理解する試み』の記録である。授業は、平成 23 年度から 27 年度に田中が担当し、環境学研究科大学院生の椋本、富山、加藤、坂田がティーチング・アシスタントとして指導にあたった。学生の自宅や下宿およびキャンパス内各所における放射線量の違いは、富山ほか (2013) によって報告した。本論では、場所による放射線量の違いを生ぜしめている核種は何なのかについて、さらなる測定と考察を行った。

2. キャンパス内各所における放射線量の違い

キャンパス内各所における放射線量は、平成 11, 12, 13 年, および 15 年に、受講生 2~3 名を 1 グループとして、1 グループにサーベーター (アロカ社 TCS-161 または TCS-171) 1 台を持たせ、キャンパス内を建物の内外を問わず、各自が興味を持った場所の線量を測定した。平成 11, 12, 13 年度の測定結果は、富山ほか (2013) に報告したので、そこでの報告値に平成 15 年度の測定結果を合わせ、測定場所毎の線量率として図 1 に示す。

測定場所毎の線量率の違いは、さまざまな環境の反映と捉える事が出来る。まず、環境放射能は地質環境に依存する (たとえば 湊, 2006; 田中ほか, 2010; 地質調査総合センター HP; 金井, 2012a, 2012b)。この地質依存性を積極的に利用して、目視で区別しにくい地層の対比に環境放射能を用いる試みもなされている (片岡ほか, 2013)。

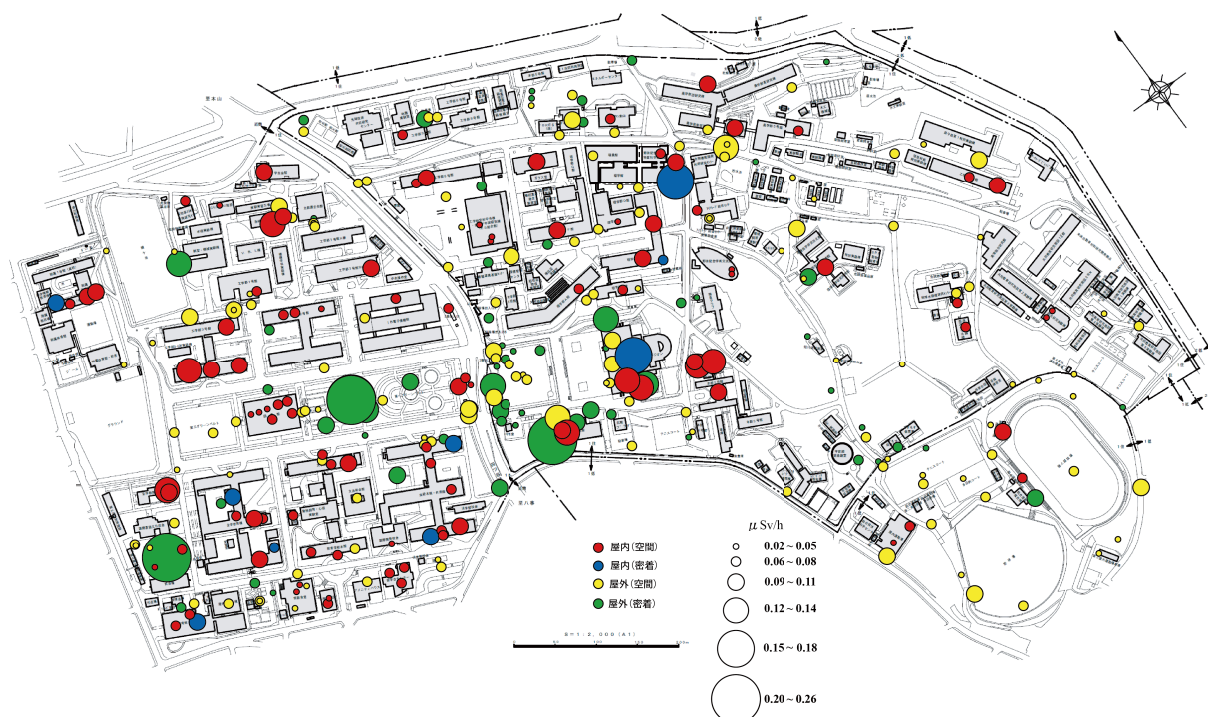


図 1 : 名古屋大学東山キャンパスの空間線量率および様々な物質表面の線量率。平成 11 年度, 12 年度, 13 年度の測定結果 (富山ほか, 2013) に、平成 15 年度の測定結果を合わせて 1 枚の図にしたもの。

また、空間線量は、その時の天候（降雨）に依存することも知られている（名古屋大学アイソトープ総合センター HP）。本報告の全測定データ（いずれも特定物へ密着して測定した値を除く）の屋外での空間線量率と室内での空間線量率の頻度分布を比較して図2に示す。全体として認められる事は、屋外の空間線量より、建物内の空間線量が多いことである。

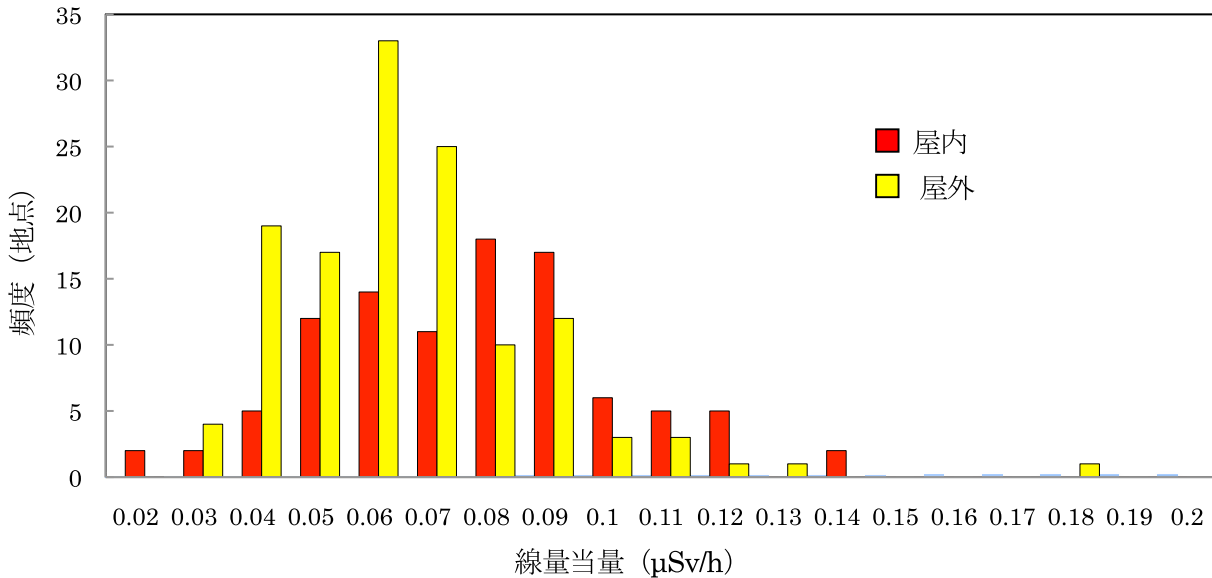


図2：名古屋大学キャンパス内、屋外と屋内の空間線量の頻度分布

これは、屋外における放射線の多くは、地面1面に存在する建材や地質に含まれるウラン・トリウムから壊変した放射性娘核種とカリウム（と宇宙線）などに由来したが、建物内では、天然の放射性元素を含むコンクリートによって上下側面の3面が囲まれた空間で3面からの放射線が合わさって測定されることによると考えられる。

東京電力福島第一原子力発電所事故の被災地では、屋外の線量が屋内より高いので、一時、児童生徒が屋外で遊ぶ時間を制限した。これは、自然由来ではない線源（原子炉からの放出物）が屋外に存在したことによる。逆に本測定で得られた屋内での線量は屋外より高い、これが汚染のない場所での自然の姿であろう。東山キャンパス内の自然由来の放射線（地質由来+宇宙線由来）は、山の上グラウンドの0.04~0.06マイクロシーベルト/時として、測定された値である。

本報告では、このような線量の違いが如何なる放射線に起因するのかを調べるため、線量の多い場所の代表として、博物館と豊田講堂ロビー、線量が少ない所の代表として山の上グラウンドと農学部農場の温室脇の4地点を選び、そこでの核種分析をおこなった。

3. 核種分析に用いた測定装置

放射性核種の分析には、アイソトープ総合センターが所有するキャンベラ社製 InInspector1000 可搬型デジタルスペクトロサーベーターに 1.5×1.5 インチのランタンプロマイド(LaBr) 検出器を装着したものをもちいた。この装置は、従来の NaI 検出器を装着したスペクトロサーベーターに比べ、高いエネルギー分解能を持ち、複雑なピークをより正確に測定できる。

測定は、自作の木製スタンドの高さ約 1m の場所に検出器を横置きにして用いた。測定時間は、いずれもライブタイム 10000 秒である。測定結果のスペクトルを図3に示す。

4. 測定結果

図3に示したスペクトルの横スケールは約 5000keV, 縦軸はフルスケール 30 万カウントの対数表示である。図3の赤色部分は、測定終了後に自動的に表示されるピーク(ROI)エリアである。ROI エリアは内蔵のピーク面積計算ソフトによってその面積が求められる。求められたピークの面積を表1に示す。

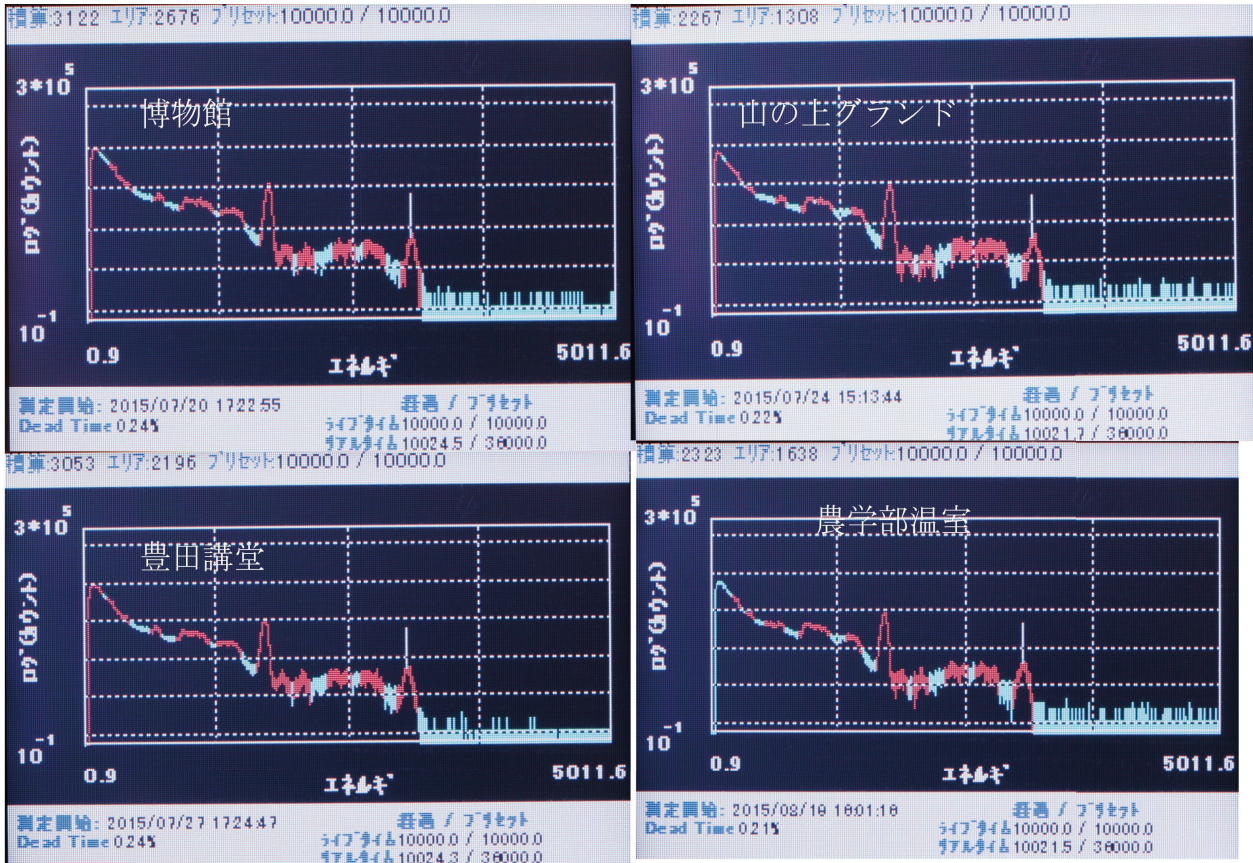


図3：これまでの研究で空間線量率の高かった博物館と豊田講堂、低かった山の上グラウンドと農学部温室脇における放射線エネルギースペクトル。それぞれ10000秒(LT)の測定。横軸は5011.6keVのリニアスケールであるが、多少のずれがある。縦軸は対数スケール。

Table 1: γ -ray activities in Nagoya University Campus

Locality	Energy(keV), (literature)	Area(counts)	error(%)	Nuclide		線量率(μ Sv)
7月20日 博物館 花崗岩	2590, (2614)	2676	3.9	^{208}Tl	屋外 (密着)	0.11
	1756, (1764)	440	34	^{214}Bi		
	1461, (1460)	41067	0.2	^{40}K		
7月24日 山の上 グラウンド	2593, (2614)	1308	11	^{208}Tl	屋外 (空間)	0.07
	1755, (1764)	257	46	^{214}Bi		
	1462, (1460)	34043	0.9	^{40}K		
7月27日 豊田講堂 入り口	2590, (2614)	2196	6.1	^{208}Tl	屋外 (空間)	0.11
	1758, (1764)	659	23	^{214}Bi		
	1461, (1460)	38729	0.8	^{40}K		
8月19日 農学部 温室付近	2586, (2614)	1638	7.2	^{208}Tl	屋外 (空間)	0.07
	1754, (1764)	0	0.9	^{214}Bi		
	1460, (1460)	32096		^{40}K		

第1表：名古屋大学キャンパス各所における γ 線エネルギー計測数(カウント数)

5. 考察

表1に掲げた核種のガンマ線計測数(カウント数)をこれまでに測定してきた空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)と比較する。一見すると ^{40}K からのガンマ線計数に比べて、 ^{208}Tl や ^{214}Bi の計数は小さく、ガンマ線の大半は ^{40}K が左右しているように見える。これは、 ^{40}K から発せられるガンマ線は1460keV 1本であるが、ウランやトリウムの娘核種 ^{208}Tl や ^{214}Bi からは、様々なエネルギーにわたり多数のガンマ線が出ており、ここで測定した2614keVと1764keVのガンマ線は、その強度は小さいが、周辺にこれらのピークに重なるガンマ線が少なく、信頼度がより高い値が得られるので、このエネルギーを測定に用いた(Potts,1987)。また検出器の感度は、低いエネルギーのガンマ線により高く、高いエネルギーをもつガンマ線に対する感度はより低い。このようなことから、異なるエネルギーをもつガンマ線の計数による強度の絶対比較はできず、比較できるのは、同じ装置で測定した計数の相対比較に限られる。表1に載せた場所による ^{40}K の計数の違いは、空間線量の違いより小さく ^{208}Tl の計数の違いは、空間線量の違いより大きい。

地質の元素組成から、線量率を求める試みもなされている。湊(2006)によれば、地上1mの高さでの線量率ナノグレイ $D(\text{nGy/h})$ は、

$$D = 13.0 C_K + 5.4 C_U + 2.7 C_m \cdot \cdot \cdot \cdot (1\text{式})$$

の計算式で求められる。

ここで $C_K(\%)$, $C_U(\text{ppm})$, $C_m(\text{ppm})$ はそれぞれカリウム、ウラン、トリウムの濃度である。(グレイとシーベルトはその意味するところは異なるが、自然界で扱われる数値は同じである。)自然界の $C_K(\%)$, $C_U(\text{ppm})$, $C_m(\text{ppm})$ の変動の中で、何が D に最も影響するかを考えた。本邦の表層地質でのカリウム、ウラン、トリウム存在量の変動幅は、日本の地球化学図(今井ほか, 2004)から、 K_2O 1.73 ± 0.59 (K換算 1.44 ± 0.49)、U, 1.41 ± 0.698 , Th, 5.89 ± 3.23 である(±は標準偏差)。標準偏差を加えた値と引いた値(カリウム: $1.93 \sim 0.95$, ウラン: $2.11 \sim 0.71$, トリウム: $9.12 \sim 2.66$)を1式に代入して得られた D の値(カリウム: $25.1 \sim 12.4$, ウラン: $11.4 \sim 3.8$, トリウム: $24.6 \sim 7.2$)が、変動に対してそれぞれの元素の影響程度を表す。最も幅が大きいのはトリウムである。しかもトリウムはウランと相伴って挙動する。(上記地球化学図のウランの分布とトリウムの分布を比較されたい)となると、自然界の空間線量の大小を左右しているのは、カリウムよりウランとトリウムであると考えられる。四谷通りの特異的に高い放射線量も舗道に使われている透水性ブロックにトリウムが多い事によることが報告されている(田中・片岡, 2010, 2011)。

謝辞

名古屋大学アイソトープ総合センターからは本研究でガンマ線エネルギーを測定するためのスペクトロサーベーター「InSpector-1000」をお貸し頂いた。また毎年度、名古屋大学初年時教育「基礎セミナーA」に、受講生数のポケット線量計12台とサーベーター6台をお貸し頂いた。また、名古屋大学アイソトープ総合センターおよび年代測定総合研究センター(現名古屋大学宇宙地球環境研究所 年代測定研究部)には、名大祭期間中、多数回にわたる施設見学会に受講生を受け入れて頂き、受講生からの放射線や年代測定に関する多くの質問に丁寧なご説明を頂いた。環境学研究科の竹内 誠 教授からは、大学の基盤となっている人事層についてお教え頂いた。基礎セミナーAの受講生(平成2011年度13名、平成2012年度12名(附属高校からの聴講生をふくむ)、平成2013年度12名、2015年度10名)とは、様々な有益な議論を交わすことができた。

本研究は、筆者のひとり田中が名古屋大学年代測定総合研究センター(現宇宙地球環境研究所 年代測定研究部)に招へい教員として滞在中になされたものである。招へい教員として受け入れて頂いた、名古屋大学年代測定総合研究センターに御礼申し上げます。

引用文献

地質調査総合センターHP : 日本の自然放射線量

<https://gbank.gs.j.jp/geochemmap/setumei/radiation/setumei-radiation.htm>

今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴(氏家)真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃・谷口政碩(2004) 日本の地球化学図。産業技術総合研究所地質調査総合センター, pp. 209.

金井 豊(2012a) 地質学と環境放射能(1) -自然放射線と人工放射線- GSJ 地質ニュース vol. 1, No. 9, 272-278.

金井 豊(2012b) 地質学と環境放射能(2) -放射性核種の観測と挙動- GSJ 地質ニュース vol. 1, No. 11, 335-342.

片岡達也、竹内 誠、田中 剛(2013) 堆積物・堆積岩の源岩推定に対する γ 線スペクトロメトリーの適用性。日本地質学会第120年学術大会(東北大学 2013年9月14~16日)

湊 進(2006) 日本における地表 γ 線の線量率分布。地学雑誌 115巻1号, 87-95。

名古屋大学アイソトープ総合センターHP : 空間線量の測定。

<http://www.ric.nagoya-u.ac.jp/info/trend.html>

Potts, P. J. (1987) A Handbook of Silicate Rock Analysis. Blackie, pp. 622.

田中 剛・於保 俊・桂田祐介(2010) 天然放射線を用いたガーネムアリ遺跡の土壌対比。名古屋大学博物館報告 26号, 59-70.

田中 剛・片岡良輔(2010) 歩道放射線の多様性とその天然放射線通路標識(Radio Guide Way)としての利用。地質ニュース 688号(2010年12月) 68-71.

田中 剛・片岡良輔(2011) 名古屋大学前歩道放射線の多様性とその天然放射線通路標識(Radio Guide-way)の提案。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(XXII) 82-87.

富山慎二・加藤ともみ・坂田 健・田中 剛(2013) 基礎セミナーの素材としての名古屋大学キャンパス内の放射線量。名古屋大学博物館報告 No. 29, 13-22.

日本語要旨

2011年3月に起こった東京電力福島第一原子力発電所での事故は、これまでの日常生活において、気に留める必要が無かった様々な物理量を、意識の内に持ち込んだ。シーベルトやベクレルの用語が新聞やテレビにあふれる今、放射線量が、気温や二酸化炭素量とともに、人間にとって最も重要な環境評価指標のひとつであることに気づいた。しかし、 μSv や Bq の単位が新聞やテレビで報道されても、いまひとつ理解に至りにくい。しかし、放射線や同位体に関する基礎的な知識は一般教養として必須のものである。

原子力発電所の事故で放出された放射性物質そのものを名古屋で直接観察する事は容易にはできない。しかし、自然界には、ウランやトリウムの娘核種やカリウムの放射壊変に伴う放射線が飛び交い、その量は名古屋大学キャンパス内においても、場所により大きく異なる。その値はどれほどなのか? 場所により異なる理由は何か? 測定機器に表示される数値は何を意味しているのか? について TA や学生と共に考えた。

本報告は、大学初年時学生を対象として企画されている「基礎セミナー」を利用して、『シーベルト(Sv)で表現される線量当量を体感し、紙面に報道される数値を体で理解する試み』の記録である。