

一橋大学キャンパスにおける 環境放射線の測定 (II)

—東2号館の建設による東キャンパスの環境放射線の変化—

上 田 望

1. はじめに

我々は、体外からは宇宙線、土壌・岩石中の放射性同位体から、また体内からは食物中の放射性同位体からの放射線を常に浴びている。たとえば、カリウムは岩石・土壌にも、食品にもふくまれる元素であるが、その約1万分の1は放射性同位体 (K-40) である。土壌・岩石からのものは地域によって異なる。コンクリート中の骨材も放射性同位体を含むためコンクリート建造物の有無によっても放射線量は異なる。コンクリート建造物の表面が花崗岩などの酸性岩の化粧板でおおわれていればさらに多い。酸性岩は関東地方に多い塩基性の玄武岩質の岩石に比べ、カリウム、トリウム、ウランの含有量が多いためである。核実験、原子炉事故があれば環境放射線は増大する。異常を知るには通常を知る必要がある。変化を知るには継続的な測定が必要である。これまでに、1993年8月から94年6月にかけて行われた東キャンパス、東本館内外の約20地点の環境放射線の測定結果は「研究年報 自然科学研究⁽¹⁾29」(以下「94報告」と略)に報告されている。「94報告」以後、東キャンパスには「東1号館」, 「東ブ

ラザ」が建設された。「研究年報 自然科学研究⁽²⁾ 31」(「97 報告」と略)に、東キャンパス、西キャンパスの約 30 地点で、1996 年 4 月から 6 月にかけて行われた測定結果が報告されている。「東 1 号館」に近い地点では環境放射線の増加が測定された。「97 報告」以後、東キャンパスには大講義室棟「東 2 号館」が建設された。西キャンパスではクラブ・ハウス、情報教育棟の建設が進められている。キャンパス外でも、大学通り、富士見通り、旭通りに面して多くの高層ビルディングの建設された。環境放射線の増加が予想される。この報告では、1998 年 3 月から 5 月にかけて東キャンパス、西キャンパスの 25 地点で測定された結果を示す。正味の測定時間はのべ 64 時間である。

核種の標準的な表記法では元素記号の左下に原子番号を添え左肩に質量数をつける。本報告では原子番号を省略し、元素記号の後に同位体を区別するため質量数を記した。例えば、U-238 と記したとき、U はウランの元素記号、238 は質量数である。エネルギーの単位はすべて電子ボルト(記号 eV)を用いている。吸収線量の単位は国際単位系(略称 SI)ではシーベルト(記号 Sv)を用いる。1 kg の物質が放射線エネルギーを 1 ジュール(J)吸収するときの吸収線量が 1 Sv である。

2. 測定装置

2.1 測定対象の放射線

広い意味での「放射線 radiation」は波長の長いものから短いものの順に、電波、赤外線、可視光、紫外線から X 線、ガンマ線にいたる電磁波、および、各種の粒子線を意味するが、この報告でいう放射線とは、いわゆる放射線、正確に言えば物質を直接、あるいは間接に電離する能力をもつ「電離性放射線 ionizing radiation」である。日本標準規格 JIS Z4001

「原子力用語」, Z4005 [医用放射線用語] では「ionizing radiation」に「電離放射線」の用語をあてているが、電離によって生ずる放射線と誤解されうるので、⁽³⁾ ノル、⁽⁴⁾ 森山にならって「電離性放射線」の用語を用いる。ここでいう「電離」—原子から電子を遊離させること—は荷電粒子線によるものに限定される。その荷電粒子線が、問題にしている粒子線であれば、「直接電離性 (荷電粒子性)」という。また、荷電粒子が光子、中性子のように電荷をもたない粒子によって電離されたものであれば「間接電離性 (中性粒子性)」という。

通常的环境放射線としてはアルファ線、ベータ線、ガンマ線と X 線を対象とすれば良い。アルファ線の実体はヘリウムの原子核、ベータ線の実体は電子である。いずれも荷電粒子性で物質との相互作用が強く、薄い物体によってでも容易に遮蔽されるので、正確に測定するには試料を真空中にもちこむ必要がある。ガンマ線と X 線は間接電離性で透過力が強く測定が容易である。今回もガンマ線と X 線を測定対象とした。ガンマ線と X 線の本質はともに波長の短い電磁波である。制動放射によるもの、原子の軌道電子の遷移によるものを X 線、原子核の励起状態の遷移によるものをガンマ線とよんでいる。測定だけではガンマ線、X 線の区別はできない。以下この報告ではガンマ線というとき X 線もふくんでいる。使用した測定装置は NaI (ヨウ化ナトリウム) シンチレーション計数器と電離箱式サーベイメータである。いずれも「94 報告」, 「97 報告」で使用したものと同じであるがその概要を以下に示す。⁽⁵⁾

2.2 NaI シンチレーション計数器

図 1 に NaI シンチレーション計数器 (カウンター) のシステム構成を示す。検出部のタリウム活性ヨウ化ナトリウム結晶 (NaI と略) は直径 2 インチ (51.4 mm), 長さ 2 インチの円筒形のものである。NaI の円筒端

面に二次電子増倍管が直結されている。二次電子増倍管の NaI に接する側には光により電子を放出させる光電面が設けられている。潮解性の大きい NaI を水分から守るため NaI と二次電子増倍管は肉厚の薄い金属容器で密閉されている。二次電子増倍管のもう一方の端にはプリアンプが多ピン・コネクタによりとりつけられている。

NaI に入射したガンマ線光子が、ヨウ素の原子核と強く結合した電子とぶつかる時はガンマ線のエネルギーのすべてが電子に与えられる（光電効果）。結合の弱い電子とぶつかる時は一部のエネルギーを電子に与え、ガンマ線のエネルギーは与えた分だけ減少する（コンプトン効果）。また電子、陽電子の静止エネルギーはいずれも 511 キロ電子ボルト（記号 keV）であるので、ガンマ線のエネルギーが 1022 keV 以上であるときは電子・陽電子の対を発生させることがある（対電子創生）。

エネルギーを与えられた電子はそのエネルギーに比例した個数の光子（可視光領域）を発生させる。この光子により光電面で放出された電子を二次電子増倍管で増幅すれば、ガンマ線が NaI 中の電子に与えたエネルギーに比例する電圧のパルス信号が出る。プリアンプでパルス信号を増幅し、伝送線の特性インピーダンスにマッチしたパルス信号に変える。さらに、リニア・アンプでパルス信号を増幅・整形しアナログ・デジタル・コンバータ（ADC）で処理し易い形にする。ADC はパルス電圧をデジタル信号に変換する。マルチ・チャンネル・アナライザ（MCA）でパルス電圧に応じて設定されたチャンネルにパルス個数、すなわちガンマ線の個数を累加してゆく。放射性核種の出すガンマ線のエネルギー、強度は核種毎に異なるため、エネルギー毎のパルス個数（ガンマ線スペクトル）を見ることにより放射性核種の種類を知ることができる。NaI の密閉容器にさえぎられるためエネルギーの低い X 線、ガンマ線に対する感度は低くなる。60 keV あたりから急速に感度が落ち 50 keV 以下のものは信号を生じない。

使用した MCA はラボラトリー・イクイップメント・コーポレーションが製作した「MCA/PC98A」で、汎用のパーソナル・コンピュータと組み合わせて使う。この MCA ではチャンネル数は 512, 1024, 2048, 4096 の 4 通りの使用法が可能である。この報告の測定値は 1 チャンネルあたりエネルギー幅 5 keV, 1024 チャンネル, すなわち最高エネルギー 5120 keV と設定して測定したものである。NaI の分解能は半値幅で 8% 前後であるので、2000 keV での半値幅は約 160 keV, すなわち 32 チャンネルに相当する。測定はノート型コンピュータと MCA ボードを組み込む I/O 拡張ユニットを組み合わせたものでコントロールされる。

MCA のスペクトル 1 組の生データの量はバイナリー・コードで 1024 チャンネルの場合、5120 バイトである。測定時間にはよらない。「MCA/PC98A」を用いてスペクトルをコンピュータ画面に表示、あるいはプリント・アウトするにはバイナリー・データのままでよいが、NEC の N 88-Basic, マイクロソフト・エクセルなどでデータ処理するためには普遍性のあるアスキー・コードに変換する必要がある。アスキー・コードに変えるとコメント文の文字数により 20 バイト程度の違いがあるが、1 組のデータは約 10000 バイトと、バイナリー・コードのほぼ倍のメモリーを必要とする。アスキー・コードへの変換にはラボラトリー・イクイップメント・コーポレーション製の「ASCII 3」を用いた。

光電効果によりガンマ線光子の全エネルギーが電子に与えられる際にできるパルス信号はコンプトン効果による信号のなだらかなスペクトルの上にピーク状に現れる。これを光電ピークと呼ぶ。ガンマ線のエネルギーがパルス信号になるまでのプロセスには確率的現象が介在するので、単一エネルギーのガンマ線に対しても光電ピークは広がりをもつ。このことによりエネルギー分解能は 8% 前後 (半値幅) となる。この値は半導体検出器 (SSD: Solid State Detector) の 1% 以下の分解能に比べて低い。しか

し SSD に比べ感度は高く、価格は安い。また液体窒素で冷却する必要のある SSD と異なり常温で使用できるという利点がある。

測定システムの必要とする電力は AC 100 V, 0.6 A である。屋外測定の際は測定器ヘッド、増幅器、ADC、コンピュータなど測定システムをリヤカーにのせて運び、電力はガソリン・エンジン発電器（マキタ G 700, AC 100 V, 5.5 A）により供給される。

2.3 ガンマ線スペクトル

図 2, 3 にガンマ線スペクトルの例を示す。図 2 は「94 報告」に示したもので、図 3 は 98 年 3 月に測定したものである。ともに測定場所は物理学研究室（東本館 1 階, 107 号室）の中央、床上 1 m で、測定時間は 1 時間である。縦軸はチャンネル・ナンバーでガンマ線のエネルギーに比例する。チャンネルあたりエネルギー幅 5 keV, 1024 チャンネルまでとっているのが最高エネルギー 5120 keV ということになる。横軸は各チャンネル毎のカウント数である。対数目盛りであることに注意してほしい。目盛りの E 0 は 10 の 0 乗、すなわち 1 を、E 6 は 10 の 6 乗を意味する。チャンネル 10 あたりから 250 あたりまでなだらかな山の斜面のような分布が見られるが、これはコンプトン効果によるものである。その上の小さなこぶが光電ピークである。ビスマス Bi-214, 鉛 Pb-214, タリウム Tl-208, アクチニウム Ac-228 のガンマ線によるものである。Tl-208 はトリウム Th-232 の崩壊系列中の核種である。Bi-214, Pb-214, Ac-228 はウラン U-238 の崩壊系列中の核種である。チャンネル 290 前後に顕著なピークがあるが、これは K-40 の出すガンマ線による光電ピークである。カリウムは岩石・土壌中に数%ふくまれる。カリウムの大部分は安定な同位体 K-39 であるが、放射性の同位体 K-40 が 0.0118% ふくまれている。チャンネル 530 前後にも顕著なピークがあるが、Tl-208 のガンマ線による光電ピークである。いず

れのエネルギーもよく知られている。核種表示のそばの数字はエネルギー(単位 keV), () 内は分岐比である。エネルギー値は K-40 (1461 keV) とガンマ線の刺激によって生ずる鉛の X 線 ($K\alpha$, 75 keV) のピークを用いて較正した。外挿すると T1-208 のピークは 2614 keV 前後となるのでチャンネル・ナンバーとエネルギーの関係はリニアであるとしてよい。天然に存在する放射性核種の出すガンマ線では T1-208 の出す 2614 keV より高いものは知られていない。それより上の信号は宇宙線によるものと考えられる。

「94 報告」では 2800 keV 以下のカウント数が 588 kc/h, 「97 報告」では 613 kc/h, 今回は 599 kc/h である。「94 報告」では 2800 keV 超えのカウント数は 284 c/h, 「97 報告」で 323 c/h, 今回が 297/hc である。2800 keV 以下で $\pm 2\%$ の変動が見られる。これは、戸棚、ホワイト・ボードなどのスティール什器の数・位置が変わり壁からの放射線の遮蔽量が増減したためと考えられる。2800 keV 超えで $\pm 7\%$ の変動が見られる。これは自然変動の範囲である。図 2, 3 のスペクトル, カウント数ともに大きな違いが無いことから NaI 測定システムの再現性はあると考える。

2.4 電離箱式サーベイメータ

密閉した容器に気体を満たし、中に対向する一対の板状電極をおき電極間に数百ボルトの直流電圧をかける。ガンマ線が入射するとき電極から電子が放出され、これが電極間の気体をプラス・イオンと電子に分離し(電離), 電子はプラス極に、プラス・イオンはマイナス極に流れる。生ずる電離対はガンマ線の個数に比例するので一定時間に蓄積された電気量を知ればその間の放射線の吸収線量を知ることができる。電離箱はガス増幅、すなわち電子なだれを利用しないので、ガス増幅を用いる GM サーベイメータより感度は低い安定性が高い。また感度はガンマ線のエネルギー

ギーにより余り異ならず変化は数%以下である。

使用したものはICS-311（アロカ社）で、吸収線量は皮膚表面下1 cm 吸収線量に換算した値がレート ($\mu\text{Sv/h}$)、あるいは累積値 (μSv) で表示される。累積値の最大感度レンジはフルスケール3 マイクロシーベルト (μSv) である。環境放射線は $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 程度であるので、1 日以上累積してやっとフルスケールに達する。メータ針の読みでは有効桁数が2桁なので、レコーダ用出力（フルスケール100 mV）をデジタル・ボルトメータで読みとった。読みとりの最小単位は0.01 mVで、 $0.0003 \mu\text{Sv}$ に相当する。文字どうりバックグラウンド・レベルの量を最大感度レンジ（累積値、フルスケール3 μSv ）で測るので値はばらつく。屋外で測定する際、直射日光、降雨などにより温度が急変するときは特に注意が必要である。

2.5 人体吸収線量

実測されたNaIガンマ線スペクトルからNaI内でのコンプトン効果の分を差引き本来のガンマ線スペクトルを求めれば人体の吸収線量を推定できる。それには測定システム総合感度の標準線源による較正、あるいは標準放射線場での較正が必要である。「94報告」以後、標準線源は購入されたが較正に必要なバックグラウンドの極めて低い空間が未だない現状では不可能であるので今回も市販の電離箱式サーベイメータの吸収線量の指示を正しいとした。

3. 測定結果と考察

3.1 国立東、西キャンパスのコンクリート建造物から離れた地点での測定値

東、西キャンパスのコンクリート建造物から離れた地点での測定値を表

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

表1 国立東キャンパスの環境放射線：
コンクリート建造物から離れた地点での測定値。

測定地点	NaI		電離箱 $\mu\text{Sv/h}$	備考：Data ID 等
	$\leq 2800 \text{ keV}$ kc/h	$> 2800 \text{ keV}$ c/h		
軟式テニスコート南側フェンス北1m	294.10	441	0.070	HK 3-1~2, 電離箱データは1h測定2回の平均
コート東西中央, 2本の木の東木の東2m	± 0.01	± 14	± 0.013	
軟式テニスコート南側フェンス	289.06	504	0.072	HK 3-3~4
北1m2本の木の間に 東木の西5m	± 0.24	± 9	± 0.022	1h測定2回の平均
東キャンパス東南隅	219.34	471	0.062	HK 3-5~6
	± 0.31	± 10		
東キャンパス東北隅	262.96	507		HK 3-7~8
	± 0.54	± 15		
東キャンパス北西隅	285.15	467		HK 3-9~10
	± 0.35	± 1		
東キャンパス南西隅	281.30	477		HK 3-11~12
	± 0.29	± 10		
院生寮北15mの古木の間	303.46	440		HK 3-13~14
	± 0.20	± 23		

1 時間連続測定。

複数回測定した場合は平均値の下に標準偏差を付記した。

1, 表2, 図4に示す。比較のために図5に96年4月—6月の測定値を示した。いずれの測定の際も, NaI, 電離箱式サーベイメータはカメラ用アルミ製三脚を用いて地表1mの高さに設置された。測定点のわきの上段の数字は2800 keV以下(kc/h), 下段の数字は2800 keV超え(c/h)のものである。NaI測定システムのカウント数は2800 keV以下のガンマ線に対する単位はキロカウント/時(kc/h)で, 2800 keV超えに対する単位カウント/時(c/h)の千倍であることに注意してほしい。前述のように2614 keV以上のものは宇宙線によるが, NaIのエネルギー分解能を考えて2800 keVを境界とした。東キャンパス軟式テニスコート南フェンス際の地点の測定値は「97報告」の261 kc/hに比べ289 kc/hと10%増加, 2800 keV超えは491 c/hから441 c/hと10%の減少が見られる。東2号

表2 国立西キャンパスの環境放射線：

コンクリート建造物から離れた地点での測定値。

測定地点	NaI		電離箱 μSv/h	備考：Data ID 等
	≤2800 keV kc/h	>2800 keV c/h		
野球場・陸上競技場間の松の木の 間	176	481		NN 2-1
職員グラウンド3塁ベース東20 mの林の中の路上	163	476		NN 2-2
弓道場の場より東10mの林の 中の路上	240	479		NN 2-3
兼松講堂東北約40mの林の中	169	468		NN 2-4
南西隅，南フェンスより40m， 西フェンスから15m内側	264	493	0.080	NN 2-5
陸上競技場南側のキャンパス東南隅， 東・南フェンスから各6m内側	226	532	0.017	NN 2-6
別館南の西キャンパス東南隅， 東，南フェンスから各5m内側	221	511	0.055	NN 2-7
西キャンパス西北隅，公務員住 宅RA棟西10m，RB棟北35m 8地点，正味測定時間のへ8時間	373	461		NN 2-8

1 時間連続測定。

館の建設によりコンクリート起源のものが増え、宇宙線起源のものが遮られたと考えられる。東キャンパスの東南（HK 3-5, 6）、東北（HK 3-7, 8）、西北隅（HK 3-9, 10）における測定値は2800 keV以下、超え、ともに「97報告」の値との差は統計的変動の範囲である。東キャンパス西南隅（HK 3-11, 12）における2800 keV以下の値が281 kc/hであり、「97報告」の226 kc/hと有意の差がある。「97報告」以後のこの測定点周辺の顕著な変化はふたつある。ひとつは、東キャンパス南に道路を隔てて直前にコンクリート3階建ての寮が建設されたことである。もうひとつは、下水道幹線工事の機器・資材の搬入のためにの大学通りに巨大な構造物が仮設されたことである。下水道工事終了後に再測定する必要がある。

西キャンパスの西南隅の測定値 (NN 2-5) を東南隅の測定値 (NN 2-6, 7) と比較すると, 2800 keV 以下の値がやや大きい。これは, 測定地点の南側にある高さ約 5 m, 幅, 奥行き各約 30 m の土盛りのためと考えられる。西キャンパス西北隅の測定値は他の隅に比べ, 2800 keV 以下が有意に大きく, 2800 keV 超えがやや小さい。これは, 測定点の北に富士見通りの商店街があり, 南には公務員住宅 RB 棟, 東には RA 棟があるためと考えられる。西キャンパスの測定値のいくつか他に異なるスペクトルがある (図 7)。東キャンパス軟式テニスコート南フェンス際の地点のスペクトル (図 6) と比べると, ウラン, トリウム起源のピークが小さい一方, 660-670 keV 前後にピークが存在することがわかる。これは, 兼松講堂北西の林の中, 陸上競技場・野球場間の松の木の間の測定値で顕著である。このピークは「97 報告」で指摘したように, セシウム Cs-137 のガンマ線と考えられる。よく知られているように Cs-137 は核分裂生成物のひとつである。半減期 30.2 年でベータ崩壊して Ba-137 になる。その際, 662 keV のガンマ線を出す。今後も定期的に測定する必要がある。

電離箱式サーベイメータにより測定された吸収線量は 0.04~0.08 $\mu\text{Sv/h}$ である。年率にすると 0.4~0.7 mSv/y である。1 年間の自然放射線による被曝線量は東京都で 0.85, 神奈川県で 0.75, 千葉県で 0.78, 埼玉県で 0.83 mSv である。

ちなみに, 日本全体の平均被曝線量は 0.93, 最大は岐阜県の 1.13, 最小は神奈川県⁽⁴⁾の 0.75 mSv/y である。国立キャンパスの測定値はやや低めになっている。測定器の校正, 複数のサーベイメータによる測定が必要である。

3.2 東本館・東 1 号館・東 2 号館内外の測定値

表 3 に東本館・東 1 号館・東 2 号館内外の測定値を示す。図 8 に測定点と NaI のカウント数を示す。上段の数字は 2800 keV 以下 (kc/h), 下段

表3 東本館, 東1号館, 東2号館内外の環境放射線

測定地点	NaI		電離箱 μSv/h	備考: Data ID 等
	≤2800 keV kc/h	>2800 keV c/h		
物理学研究室(東本館107号室)	599 ±1	297 ±13	0.156 ±0.009	HA 14-1~12, 電離箱データは1h測定3回の平均
東本館中庭中央	450 ±1	412 ±10	0.123 ±0.012	HG 3-1~2, 電離箱データは1h測定2回の平均
池築山中央	327 ±1	484 ±23	0.118 ±0.033	HI 4-1~2, 電離箱データは1h測定3回の平均
東1号館北壁から北へ8m	496 ±3	445 ±7	0.073 ±0.009	HI 5-7~9, 電離箱データは1h測定3回の平均
東本館の東西中心線上	635 ±0.5	250 ±1	0.096 ±0.005	HH 5-1~2, 電離箱データは1h測定2回の平均
東本館入り口東壁	437 ±4	472 ±12	0.094 ±0.003	HJ 3-1~2, 電離箱データは1h測定2回の平均
東1号館東北角から東へ約14m	827 ±1	260 ±7	0.180 ±0.007	HL 1-1~2, 電離箱データは1h測定2回の平均
東2号館ピロティ中央	920 ±1	251 ±8	0.186 ±0.007	HL 1-3~4, 電離箱データは1h測定2回の平均
東2号館入り口ホール中央	1489 ±33	255 ±24	0.253 ±0.015	HL 1-5~6, 電離箱データは1h測定2回の平均
東2号館入り口北側壁				
9地点, 正味測定時間のべ29時間				

1時間連続測定。

複数回測定した場合は平均値, その下に標準偏差を示した。

の数字は2800 keV 超え (c/h) のカウント数である。1996年4月—6月の測定値(図9)と比べれば建築物により2800 keV以下の放射線が増えたことがよくわかる。東2号館の入り口外壁面の近くで高い値を示すのは1階正面外壁を覆っている厚さ2cmの化粧板のためである。この小豆色の岩石は「赤御影石」と一般によばれる赤色の花崗岩である。赤色の花崗岩はカリ長石を多く含むためK-40からのガンマ線が高い値を示す。また、花崗岩などの酸性岩がU, Thを多く含むことは周知のことである。

一方、東本館入り口の外壁面における放射線の値は東2号館の半分である。2800 keV 超えについて見ると、建造物から離れたところでは500 c/

h 前後で統計的ばらつきを考えれば一定とみなしてよい。「94 報告」, 「97 報告」の測定値とほとんど変わらないことから, この点からも測定システムの再現性は信頼できる。

横軸に 2800 keV 以下のカウント数, 縦軸に 2800 keV 超えのカウント数を取り, 今回測定した 24 の地点について測定値をプロットしたものを図 10 に示す。負の相関が見られる。建造物の内部, あるいは近くでは壁からの放射線による低いエネルギーのガンマ線が大きく, 一方宇宙線からのものが遮蔽されることをよく示している。右はじの点が他の点の示す相関からはずれている。この点は前述の東 2 号館入り口ピロティの壁面に接近して測定したもので, 赤色花崗岩の化粧板からのガンマ線により 2800 keV 以下のカウント数が増加したためと考えられる。

図 11 に同一地点・時点における電離箱式サーベイメータの指示値と NaI の総カウント数の相関を示す。「94 報告」, 「97 報告」の結果と矛盾しないことから, 電離箱式サーベイメータの特性も再現していると考える。

3.3 X 線診断車の影響

3.3.1 新入生健康診断

1998 年 4 月 2, 3 日の二日間, 新入生の健康診断が東 1 号館で行われた。その際 X 線診断車により X 線撮影が行われた。診断車は財団法人日本結核予防会東京支部の「けいりん B-62*号」(足立 88-せ-394*), 「けいりん B-52*号」(足立 88-す-113*) の 2 台である。診断時, 2 台とも診断室入り口のある車体後部を東 1 号館北アーケードに接して北向きに駐車した。東側が B-62*, 西側が B-52* である。西側の診断車の側面から 3.5 m 西に測定器を設置した。測定は 11 時 45 分から 17 時 45 分まで, 1 時間ずつ 6 回の測定を行った。診断車は 2 台とも 16 時過ぎに立ち去った。表 4, 図 12 に NaI のカウント数を示す。比較のために 1996 年 5 月,

表4 X線診断車の影響（新入生健康診断）.

測定開始時刻	NaI		電離箱 $\mu\text{Sv/h}$	備考：Data ID 等
	$\leq 2800 \text{ keV}$ kc/h	$> 2800 \text{ keV}$ c/h		
1996年5月28日 15:09	510	446	0.073	HI 3-5
1998年4月3日, 新入生健康診断				診断車の側面から3.5 m
11:45	542	424	0.111	HI 5-1
12:45	496	419	0.102	HI 5-2
13:45	585	444	0.133	HI 5-3
14:45	531	462	0.100	HI 5-4
15:45	490	452	0.110	HI 5-5
16:45	500	421	0.121	HI 5-6
1998年5月19日				
15:02	490	445	0.067	HI 5-7
16:02	494	429	0.083	HI 5-8
17:02	496	432	0.068	HI 5-9

測定地点は東1号館北壁から北へ8 m, 東本館の中心線上, 診断車の側面から3.5 m.
いずれも1時間連続測定.

98年5月の測定値を示した. 13時45分からの測定値 (HI 5-3) を見ると2800 keV 以下のカウント数に増加が見られる. スペクトルを15時45分からのもの (HI 5-5) と比較すると50-70 keV 領域のカウント数が増加している (図13, 14). 図15は違いをはっきりさせるために, ふたつのスペクトル (HI 5-3, HI 5-5) の1チャンネルから120チャンネル, すなわち, 5-600 keV の対応するチャンネルのカウント数の差を示した. 違いを見やすくするためカウント数のスケールは, 図13, 14の対数スケールと異なりリニア・スケールとしてある. 60 keV から150 keV にかけてははっきりと差があることがわかる. 2800 keV 超えのカウント数の変化は統計的変動と見られるので測定器の感度変化は無いと考えられる.

3.3.2 教職員健康診断

1998年5月7日, 8日定例の春季教職員健康診断が行われた.

X線診断車は西キャンパス保健センター前の路上に南を向いて駐車した。診断車は財団法人日本結核予防会東京支部の「けいりん B-43*号」(足立 88-せー-395*) 1台である。7日、診断時の駐車位置を確かめ、8日午前、測定器を設置した。診断車の側面から西に3m離れた位置に測定器をおいた。測定は10分ごとに区切り連続40回の測定をコンピュータ・コントロールによって行った。のべ時間は11時30分-18時12分の6時間42分である。1回の測定は正味600秒であるがフロッピー・ディスクへのデータ書き込みに3秒要するので40回の測定で2分ほどのずれが生ずる。測定結果を表5、図16に示す。2800 keV以下のカウント数は12時40分までは10分あたり527 kc前後である。診断の開始10分前、12時50分から増加が見られる。13時から14時20分にかけて顕著な増加が見られる。14時30分から14時50分までの値は12時50分までの値とほぼ同じである。15時01時から16時にかけて増加が観測される。16時41分からやや増加しほぼ一定となる。

カウント数の最も大きかった13時0分からの測定値(NX 1-10)と診断開始20分前、12時40分からの測定値(NX 1-8)のスペクトルを比較するとカウント数の表示が対数スケールであるにもかかわらず明らかな違いが見られる(図17, 18)。図19に1チャンネルから120チャンネル、すなわち、5-600 keVの対応するチャンネルのカウント数の差を示した。カウント数の表示はリニア・スケールとしてある。50 keVから270 keVにかけて差があることがはっきりとわかる。2800 keV超えのカウント数の変化は大きい測定時間が10分間と短いので統計的変動が大きくなったと考えられる。系統的な変化は見られないので測定器の感度変化は無いと考えられる。また、18時01分からのスペクトル(NX 1-40)と12時40分からのスペクトル(NX 1-8)の差は、400 keV以上まで尾を引き、18時01分からのスペクトル(NX 1-40)と相似している(図20)。

表5 X線診断車の影響（教職員健康診断）.

測定開始時刻	NaI		電離箱 μSv/h	備考：Data ID 等
	≤2800 keV kc/10 min	>2800 keV c/10 min		
1998年5月8日				診断車の側面から3m
11:30	52.8	92		NX 1-1
11:40	52.8	77		NX 1-2
11:50	52.7	85		NX 1-3
12:0	52.7	81		NX 1-4
12:10	52.6	94		NX 1-5
12:20	53.0	86		NX 1-6
12:30	52.9	89		NX 1-7
12:40	52.7	83		NX 1-8
12:50	61.1	71		NX 1-9
13:0	99.4	96		NX 1-10
13:10	57.8	70		NX 1-11
13:20	81.4	65		NX 1-12
13:30	64.0	88		NX 1-13
13:40	67.9	94		NX 1-14
13:50	54.8	85		NX 1-15
14:0	67.0	83		NX 1-16
14:10	61.5	76		NX 1-17
14:20	54.3	82		NX 1-18
14:30	52.6	73		NX 1-19
14:40	52.9	72		NX 1-20
14:51	53.2	78		NX 1-21
15:1	68.8	92		NX 1-22
15:11	62.4	74		NX 1-23
15:21	58.0	96		NX 1-24
15:31	67.8	80		NX 1-25
15:41	64.9	68		NX 1-26
15:51	53.0	93		NX 1-27
16:1	58.7	89		NX 1-28
16:11	55.3	77		NX 1-29
16:21	62.7	91		NX 1-30
16:31	53.8	77		NX 1-31
16:41	56.8	78		NX 1-32
16:51	58.4	97		NX 1-33
17:1	58.1	78		NX 1-34
17:11	58.7	93		NX 1-35
17:21	58.8	81		NX 1-36
17:31	58.7	91		NX 1-37
17:41	58.9	76		NX 1-38
17:51	57.8	76		NX 1-39
18:1	58.8	58		NX 1-40
正味測定時間のべ6時間40分				

測定地点は西キャンパス保健センター前、診断車の側面から3m、いずれも10分間連続測定。

最後の 10 分間、2800 keV 超えのカウント数の顕著な減少が見られる。これは、18 時頃からかなり強い雨が降り始めたので、測定器の上に覆い被さっていた樹木の繁茂したの枝の担う水滴による遮蔽の効果とも考えられる。あるいは、単なる統計的な変動とも考えられる。

診断車は前日 7 日から保健センター前に駐車。8 日は 13 時—14 時 30 分が男性教職員、15 時—16 時が女性教職員の診断にあてられた。15 時 20 分には診断車はいなかった。上記の測定結果と診断車のスケジュールから次のような解釈ができる。診断開始の 10 分前から診断装置の試運転をした。男性の診断開始から 30 分間に診断が集中した。13 時 30 分から 15 時の間は診断装置は停止した。女性は散発的に診断を受けた。診断終了の予定時刻 16 時後も時々診断装置を運転した。診断車は 16 時 45 分頃立ち去った。立ち去った後は 12 時 50 分以前の値よりカウント数が 10% 増加する。これは、診断車が保健センターの建物から出る放射線を遮蔽していたものと解釈できる。

新入生診断、教職員診断 2 回の測定で診断車による影響が見られた。診断時の NaI のカウント数は 1 時間平均で平常値より約 10~30% 大きい。医療診断用の X 線発生管のピーク電圧は通常 40-150 kV の範囲である⁽⁶⁾。新入生診断の場合は X 線の漏洩で説明できる。教職員診断の場合の影響は 50-270 keV の範囲である。X 線発生管のピーク電圧が通常より高いとすれば説明できる。

5. おわりに：測定の要約と今後の課題

東キャンパスに新たに建設されたコンクリート建造物の周辺では環境放射線の増加が見られたが、被爆線量は日本全体の平均値の程度である。東キャンパスにはさらに、体育館などの建設が計画されている。環境放射線

量はさらに増すであろう。ひきつづき変化を見守る必要がある。

国立キャンパスの詳しい測定，特に建造物内のラドン強度の測定，未だ測定されていない小平キャンパスの環境放射線の測定も今後の課題である。また，キャンパス外の測定も今後の課題である。新入生・教職員の健康診断の際，X線診断車の近くで僅かながらガンマ線の増加が測定された。機会があるたびに測定する必要がある。

本報告の測定値は「94報告」，「97報告」で用いられたと同じ2インチのNaIと電離箱式サーベイメータによる。検出器の劣化・破損に備えて購入された1.5インチ，3インチのNaI各1個の感度・スペクトル特性の相互比較，標準線源による較正も必要である。また，データの信頼性を高めるために電離箱式サーベイメータの校正と，複数の電離箱式サーベイメータによる測定が必要である。

【謝辞】

一橋大学の放射線安全管理者である社会学部御代川貴久夫教授にはGMサーベイメータ，電離箱式サーベイメータを貸していただき，また貴重な意見をいただきました。商学部矢野敬幸教授，社会学部中嶋浩一教授，商学部三村徹郎教授にいただいた関心，便宜，意見に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 上田 望，「一橋大学東キャンパスにおける環境放射線の測定」，一橋大学研究年報 自然科学研究 29，1994年12月。
- 2) 上田 望，「一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)」，一橋大学研究年報 自然科学研究 31，1997年1月。
- 3) G. F. ノル，「放射線計測ハンドブック」，日刊工業新聞社，1991。
- 4) 森内 和之，「放射線ものがたり」，裳華房，1996。
- 5) 関口 晃，「放射線計測概論」，東京大学出版会，1988。
- 6) 新山 信太郎，「レントゲンと放射線の知識」，竹内書店新社，1986。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

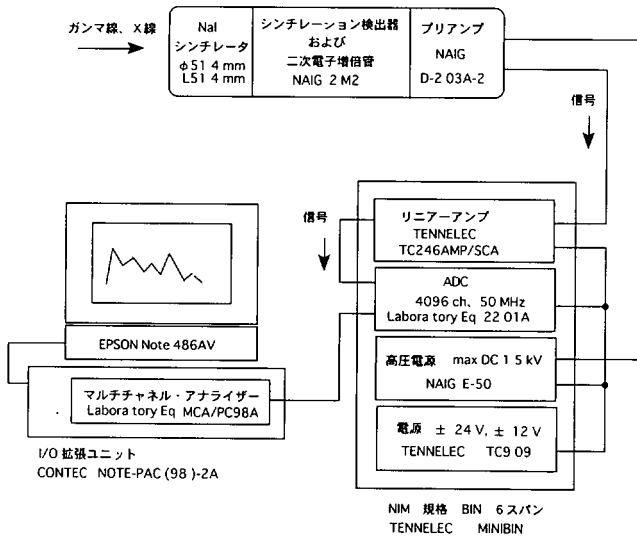


図1 NaI シンチレーション計数器システム。

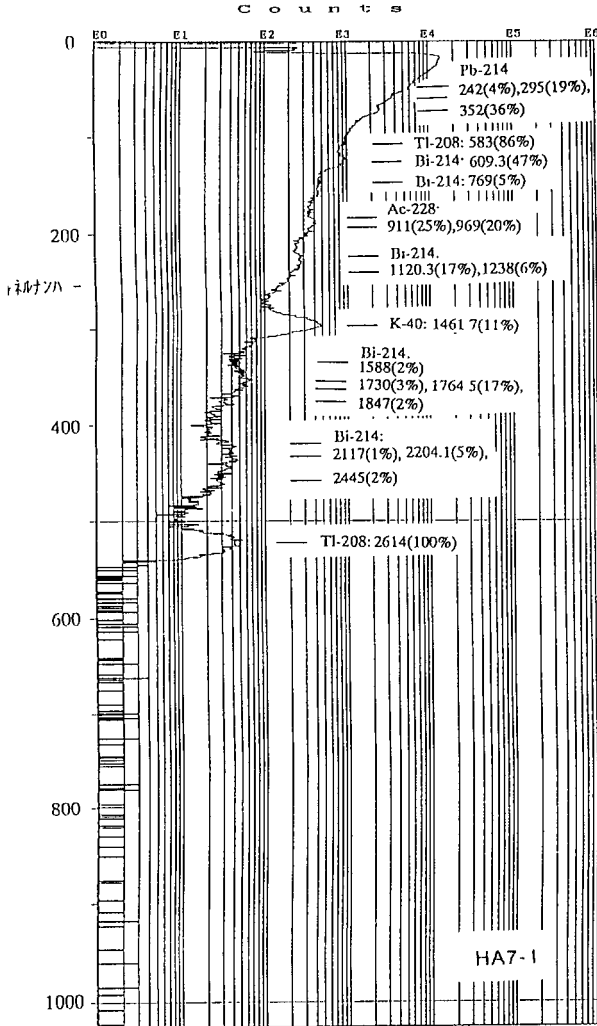


図2 ガンマ線スペクトル：東校舎物理学研究室におけるガンマ線バックグラウンドのスペクトル（1994年測定，HA 7-1）。縦軸はチャンネルナンバーでガンマ線のエネルギーに比例する。横軸はカウント数（対数表示），E 0 は 10 の 0 乗すなわち 1，E 6 は 10 の 6 乗すなわち 100 万を表す。「一橋大学研究年報 自然科学研究 29（1994年12月）」に掲載したもの。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

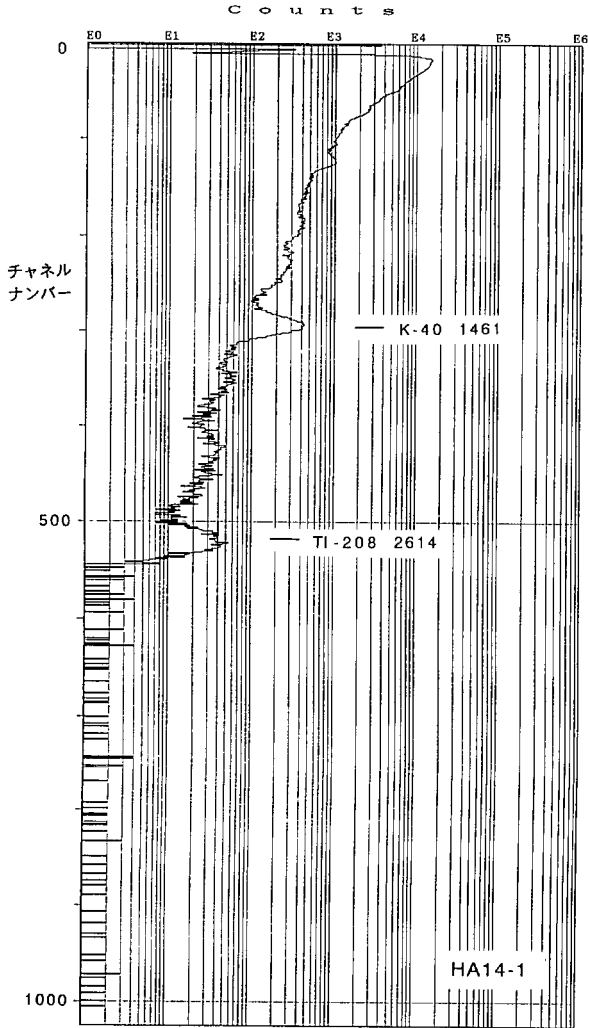


図3 ガンマ線スペクトル：東校舎物理学研究室におけるガンマ線バックグラウンドのスペクトル（1998年4月測定，HA14-1）。縦軸はチャンネルナンバーでガンマ線のエネルギーに比例する。横軸はカウント数（対数表示），E0は10の0乗すなわち1，E6は10の6乗すなわち100万を表す。

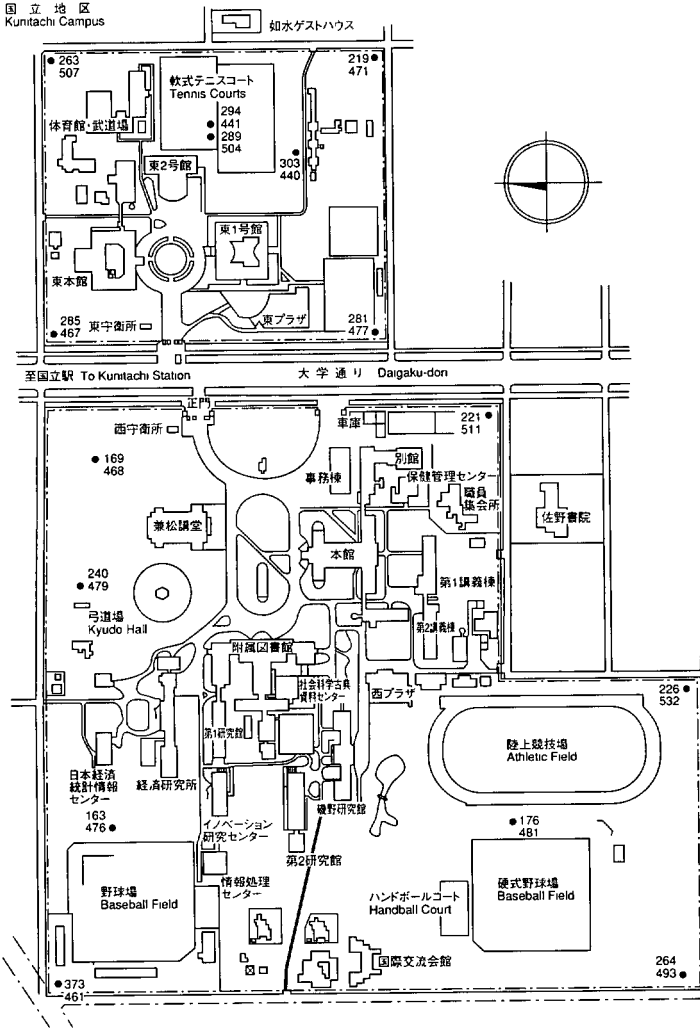


図4 国立キャンパスにおける環境放射線測定値。黒点は測定値点を示す。わきの数字は上段が2800 keV以下のNaIカウント数(kc/h)、下段は2800 keV超え(c/h)のものである。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

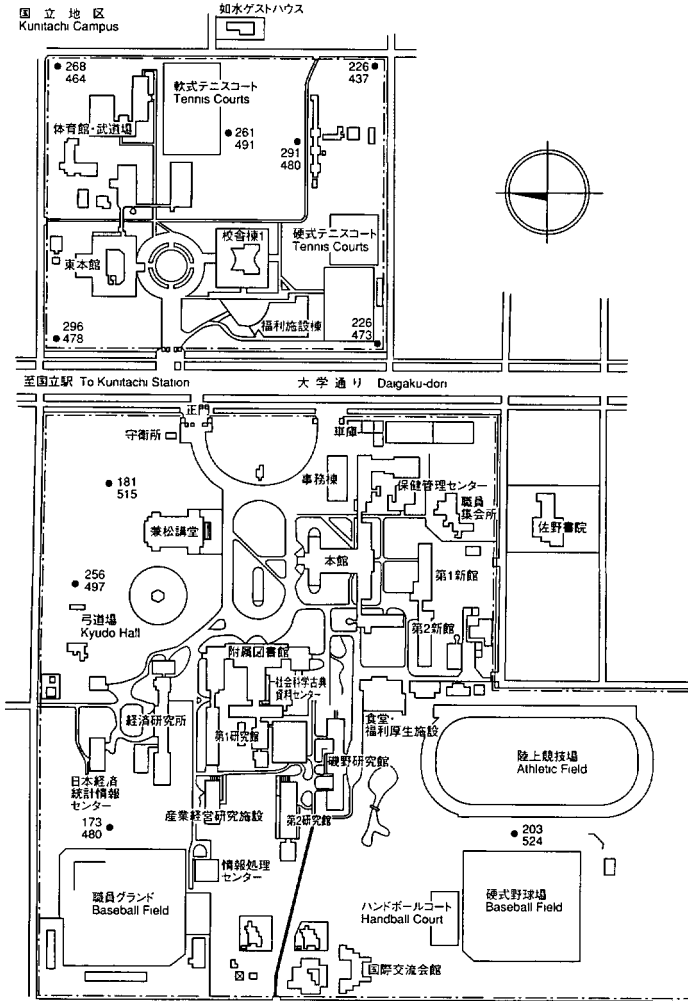


図5 国立キャンパスにおける環境放射線測定値 (1996年4月-6月)。黒点は測定値点を示す。わきの数字は上段が2800 keV以下のNaIカウント数 (kc/h)、下段は2800 keV超え (c/h) のものである。「一橋大学研究年報 自然科学研究31 (1997年1月)」に掲載したもの。

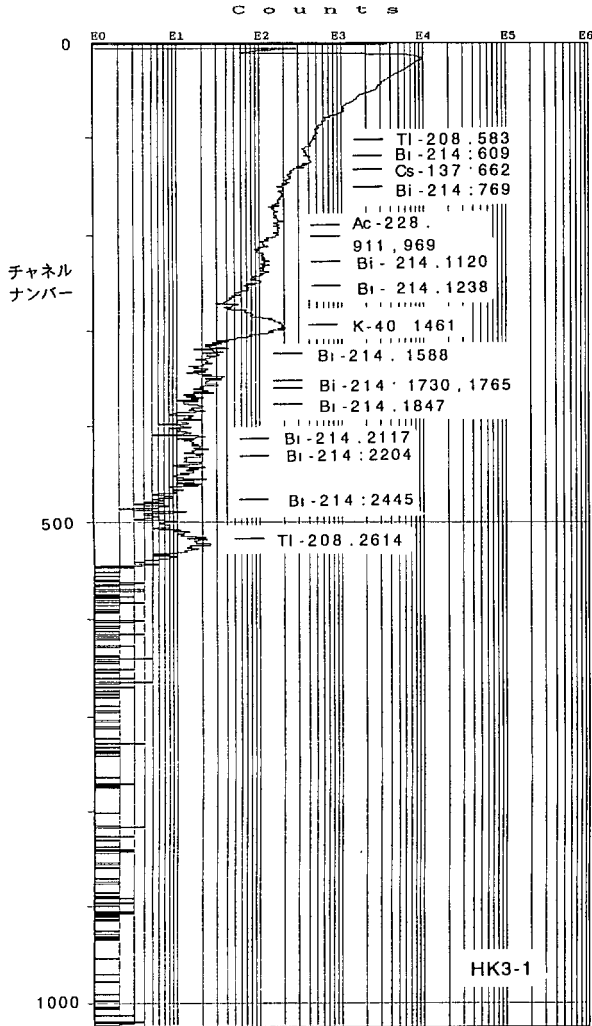


図6 東キャンパス軟式テニスコート南フェンス際におけるガンマ線スペクトル (HK3-1).

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

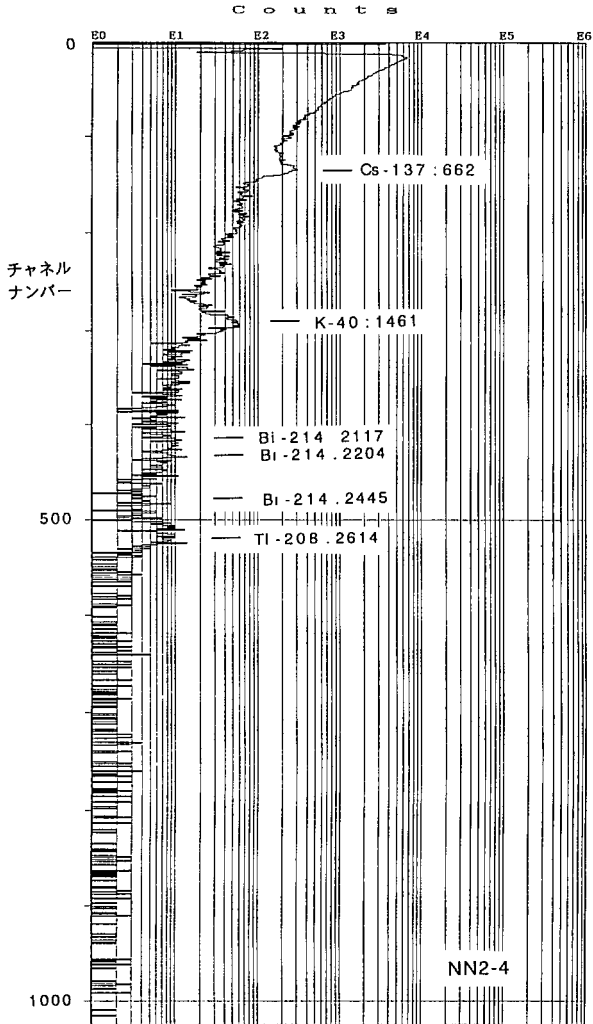


図7 西キャンパス, 兼松講堂北東約 40 m 林の中におけるガンマ線スペクトル (NN 2-4).

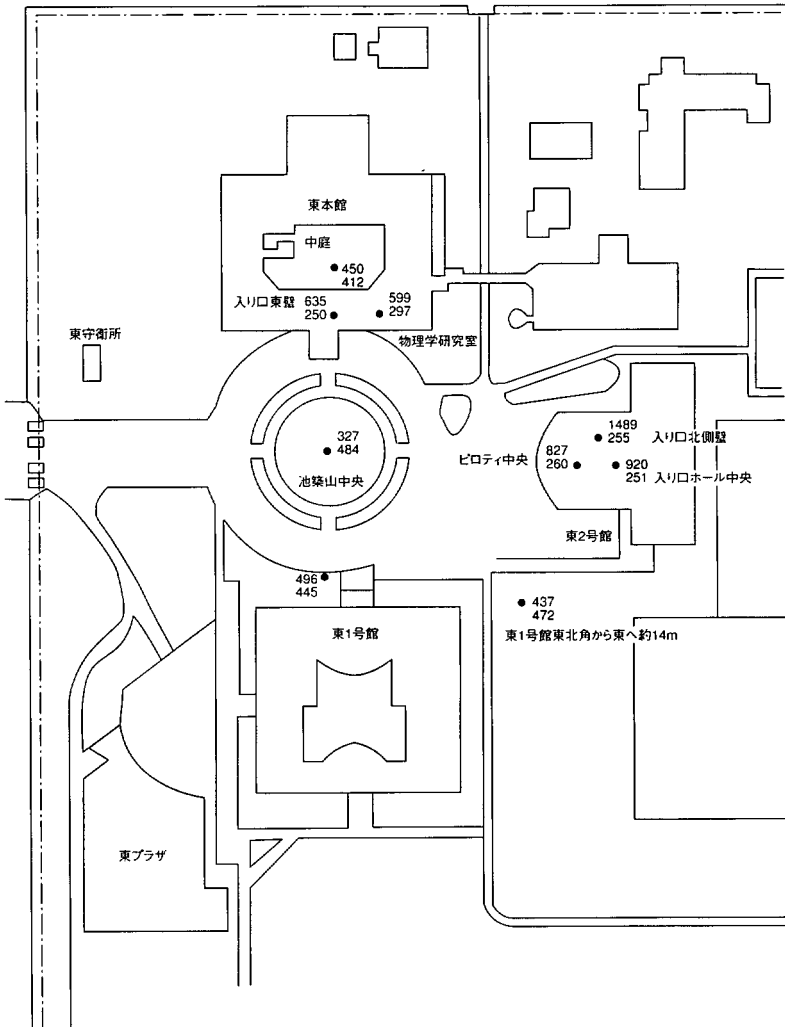


図8 東本館・東1号館・東2号館周辺のNaIによる測定値。黒点は測定点を示し、わきの数字は上段の：2800 keV 以下 (kc/h)，下段：2800 keV 超え (c/h) のカウント数を示す。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

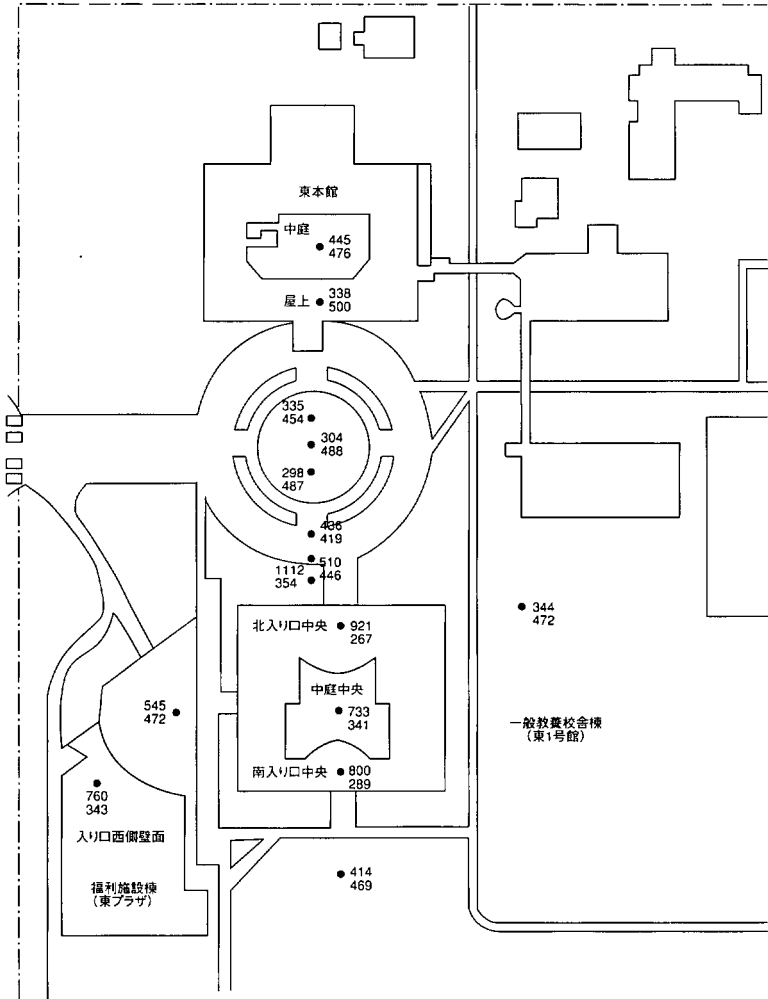


図9 東2号館のできる前の東本館・東1号館, 東プラザ周辺のNaIによる測定値。黒点は測定点を示し, わきの数字は上段の: 2800 keV 以下 (kc/h), 下段: 2800 keV 超え (c/h) のカウント数を示す。「一橋大学研究年報 自然科学研究 31 (1997年1月)」に掲載したもの。

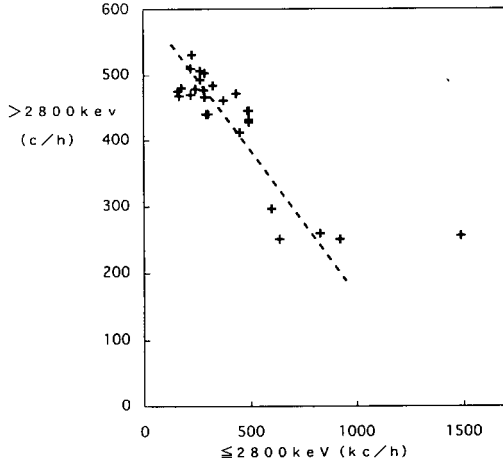


図10 2800 keV 以下のカウント数 vs. 2800 keV 超えのカウント数.

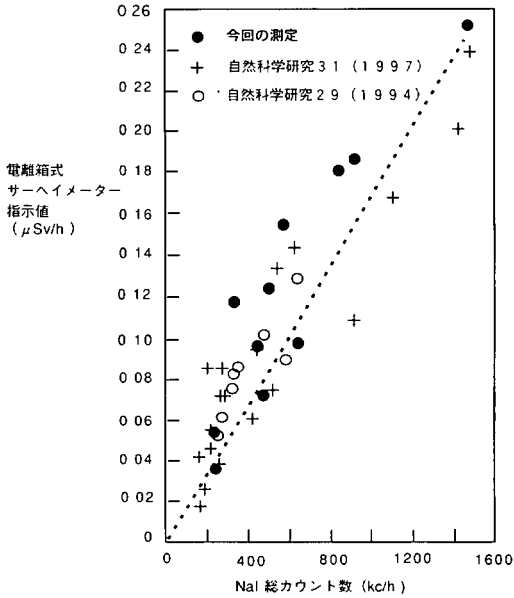
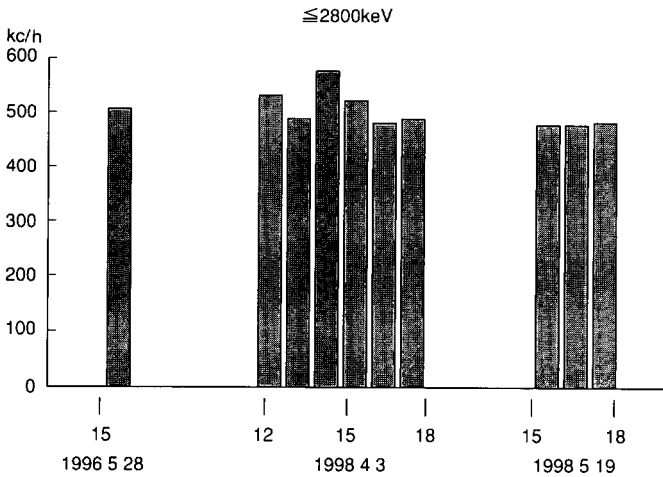
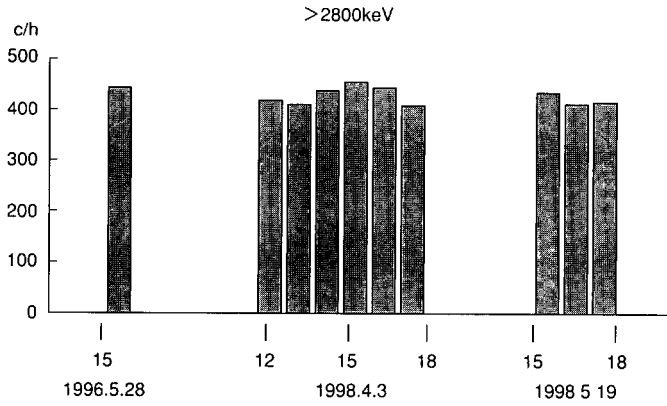


図11 NaI 総カウント数 vs. 電離箱式サーベイメータの指示値.

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)



新入生健康診断

図12 X線診断車の影響(新入生健康診断). NaIカウント数の時間変化(表4, HI 3-5, HI 5-1~9). 測定時間は各1時間. 測定地点は診断車の側面から3.5m.

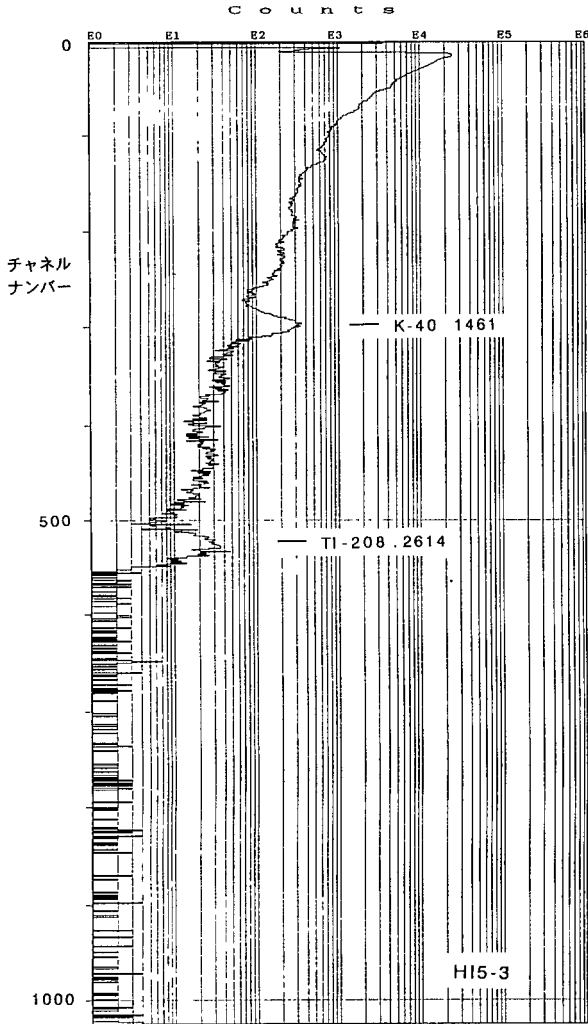


図 13 X線診断時（新入生健康診断）のガンマ・スペクトル（HI5-3）.

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

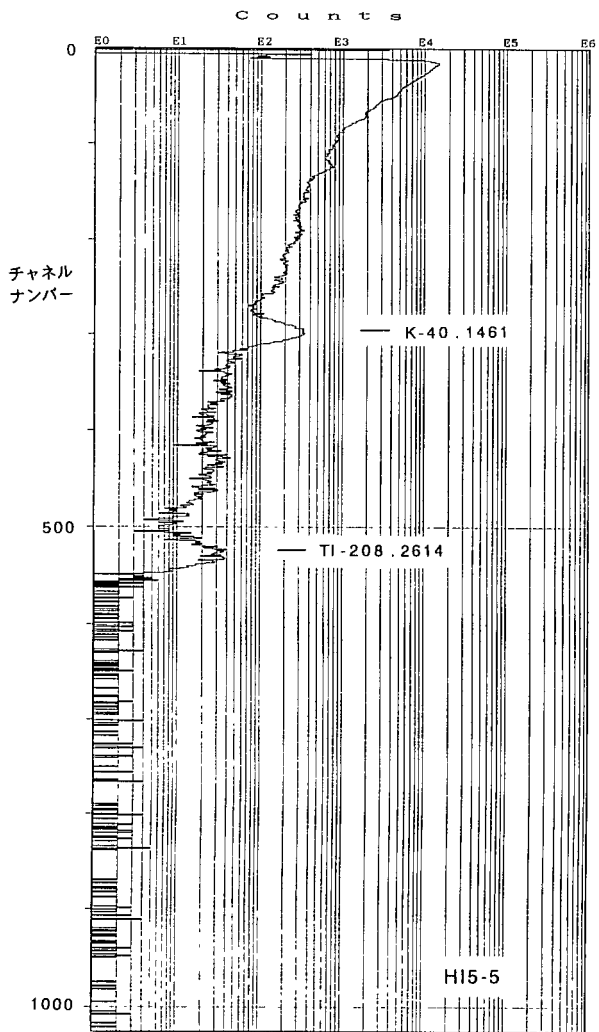


図 14 X線診断終了後（新入生健康診断）のガンマ・スペクトル（HI5-5）.

HI5-3とHI5-5の差

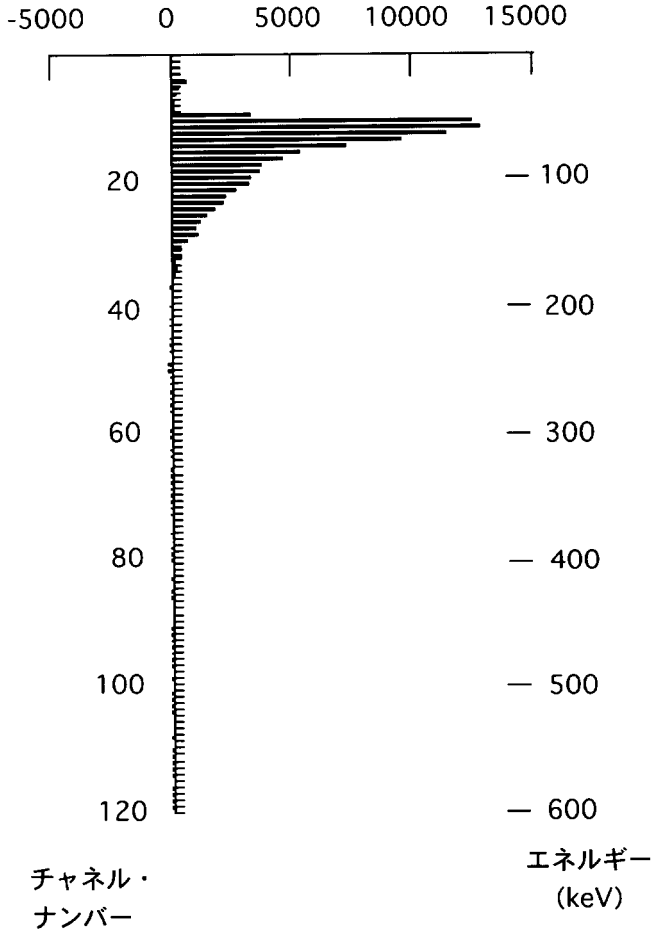


図 15 X線診断時 (HI5-3), 終了後 (HI5-5) のガンマ・スペクトルの差. カウント数の表示がリニアースケールであることに注意.

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

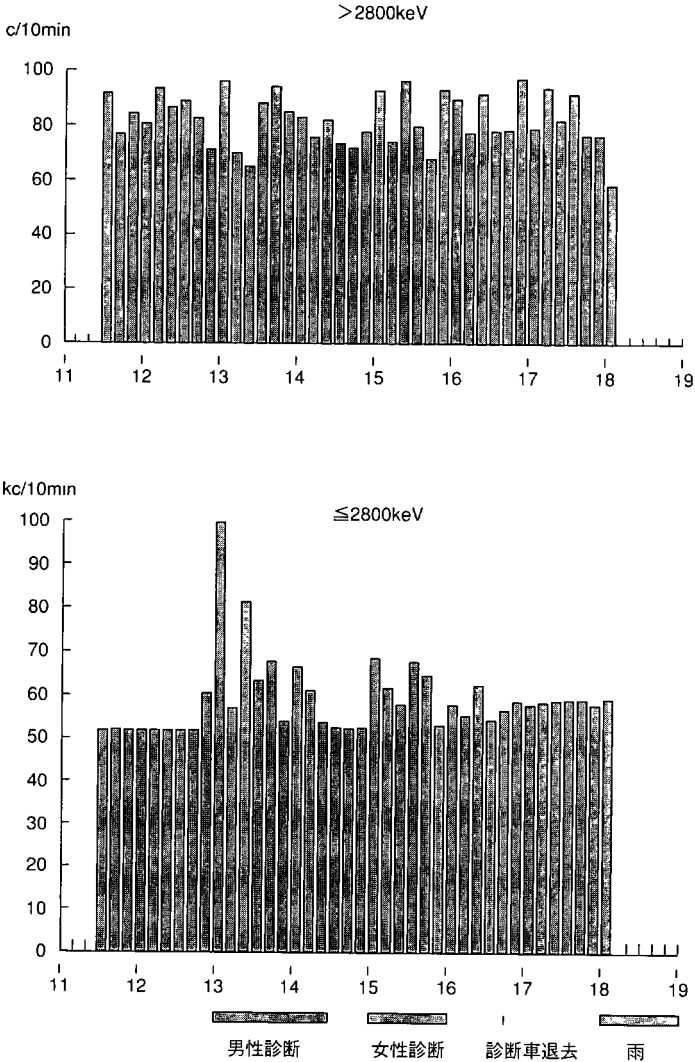


図16 X線診断車の影響(教職員健康診断), NaI カウント数の時間変化(表5, NX 1-1~40). 測定時間は各10分間. 測定地点は診断車の側面から3m.

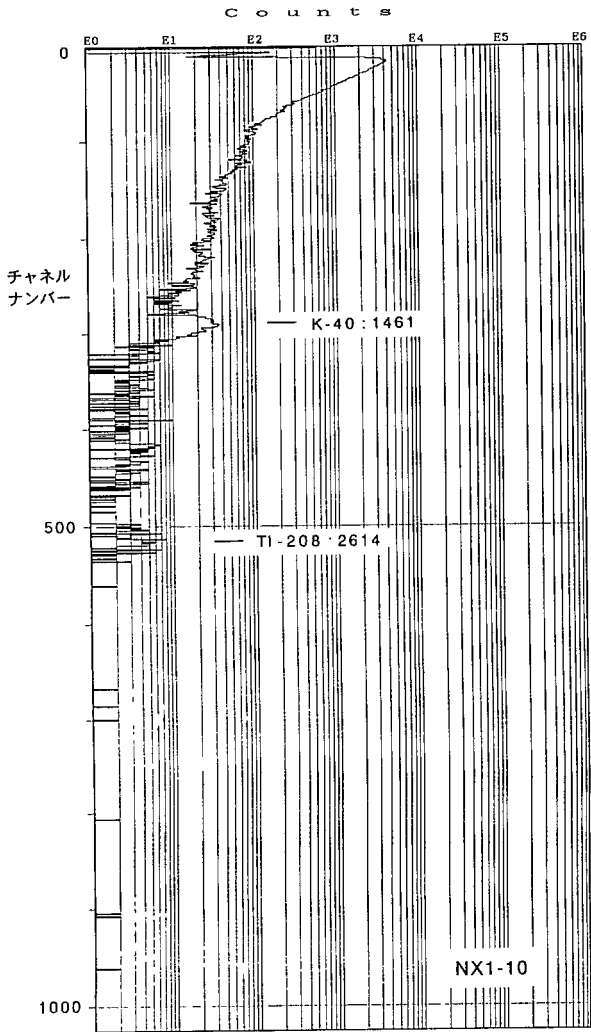


図 17 X線診断時(教職員健康診断)のガンマ・スペクトル(NX1-10).

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (II)

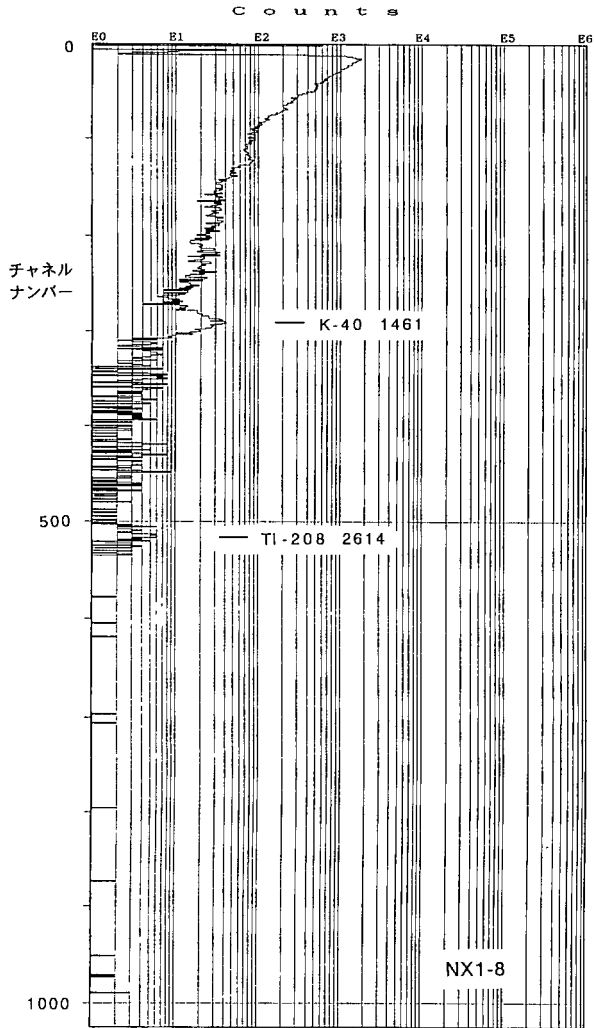


図 18 X線診断開始前(教職員健康診断)のガンマ・スペクトル (NX1-8).

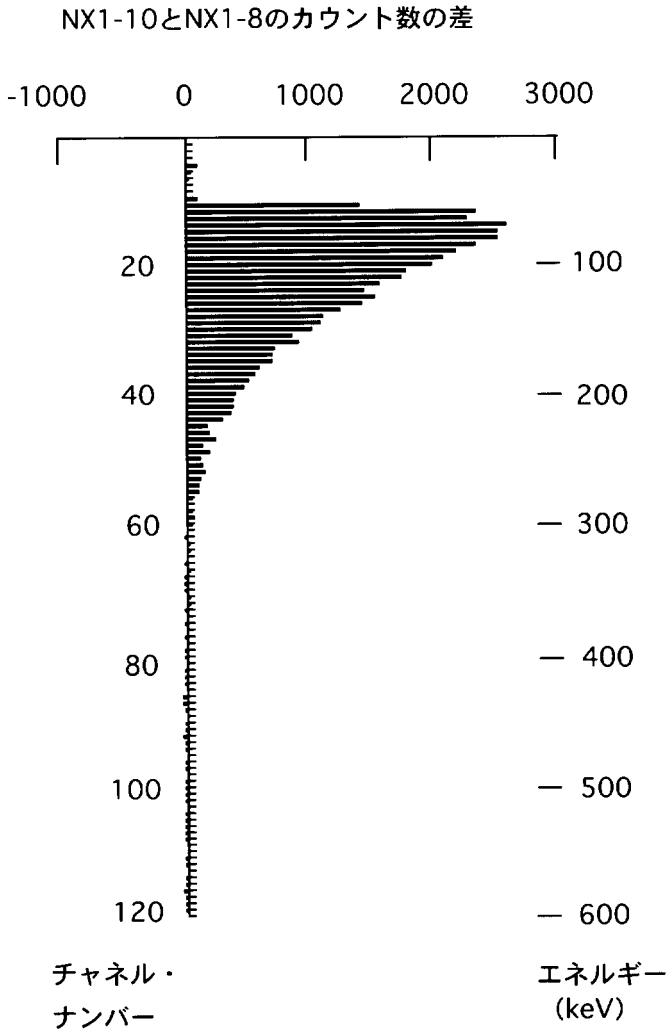


図 19 X線診断時 (NX 1-10), 診断開始前 (NX 1-8) のスペクトルの差. カウント数の表示がリニアースケールであることに注意.

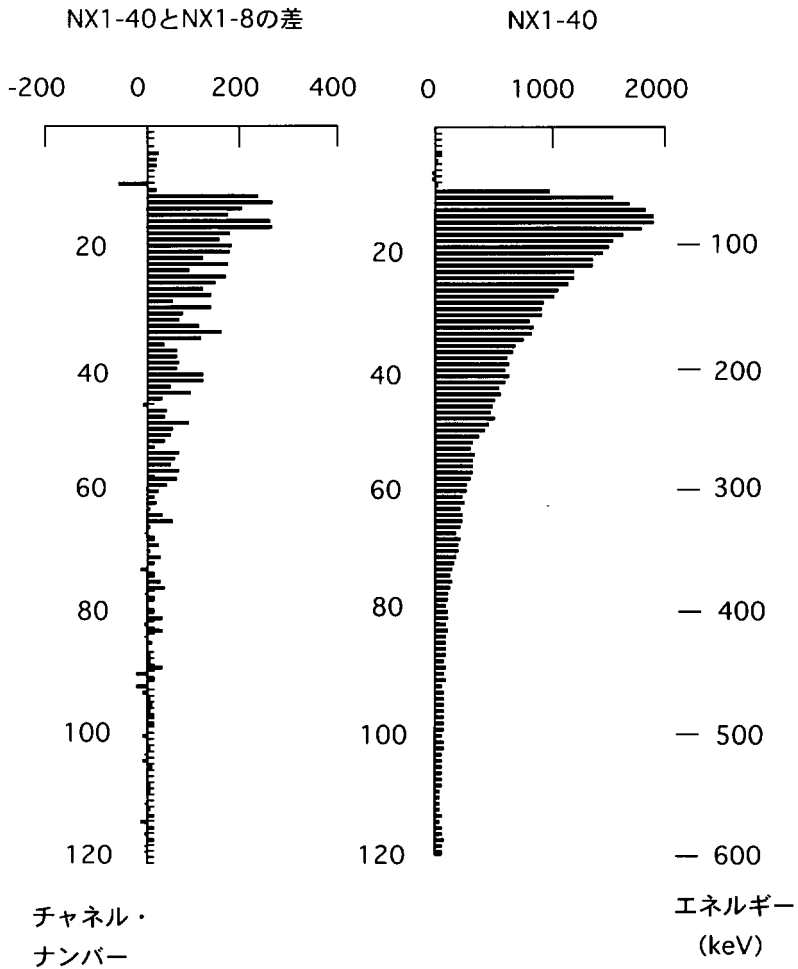


図20 診断車の在・不在によるガンマ・スペクトルの違い. 左:滞在時 (NX 1-8) 不在時 (NX 1-40) の差. 右:不在時のスペクトル. カウント数の表示がリニア・スケールであることに注意.