

一橋大学キャンパスにおける 環境放射線の測定 (I)

—— 一般教養校舎棟，福利施設棟建設の

東キャンパスにおける環境放射線への影響 ——

上 田 望

1. はじめに

放射線は我々の五官では直接感じとることはできないが，体外からは宇宙線，土壤・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。また X 線診療の際にも放射線を浴びる。土壤・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異なる。核実験，原子炉事故があれば環境放射線は増大する。1994 年の報告⁽¹⁾（以下「94 報告」と略）において東キャンパスの諸地点，東本館内外の環境放射線の測定値が示された。それ以後，東キャンパスに一般教養校舎棟（東 1 号館），福利施設棟（東プラザ）が建設された。西キャンパスにおいても第 2 研究館が増築された。また，図書館の新書庫の建築が行われている。キャンパス外でも国立駅周辺に多くの高層ビルディングの建設が進められている。コンクリート建造物が環境放射線が増大させることが予想さ

れる。「94 報告」以降、国立東、西キャンパスにおいて変化がないと思われる諸地点、変化が予想される諸地点、あわせて約 30 地点における環境放射線の測定について報告する。また、中国の核実験後の環境放射線、Ra-226 搬出後の東本館放射性同位元素貯蔵施設の放射線測定についても報告する。

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。

2. 測定装置

2.1 測定対象の放射線

通常の環境放射線としてはアルファ線、ベータ線、X 線とガンマ線を対象とすれば良い。アルファ線、ベータ線などの荷電粒子線は物質との相互作用が強く、薄い物体によって容易に遮蔽されるので、試料を真空中にもちこんで測定する必要がある。今回も透過力が強く測定が容易な X 線、ガンマ線を測定対象とした。X 線、ガンマの本質はともに波長の短い電磁波である。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。使用した測定装置は NaI (ヨウ化ナトリウム) シンチレーション検出器を用いたガンマ線スペクトロメータと電離箱式サーベイメータである。ガンマ線スペクトロメータは「94 報告」で使用した NaI 測定システムと同じであるがその概要を以下に示す。⁽²⁾⁽³⁾ コントロール用のコンピュータは新しいものに替えられた。また、補助測定器として GM サーベイメータ (ガイガーカウンタ) を用いた。

2.2 ガンマ線スペクトロメータ

図1にガンマ線スペクトロメータ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とき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とき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

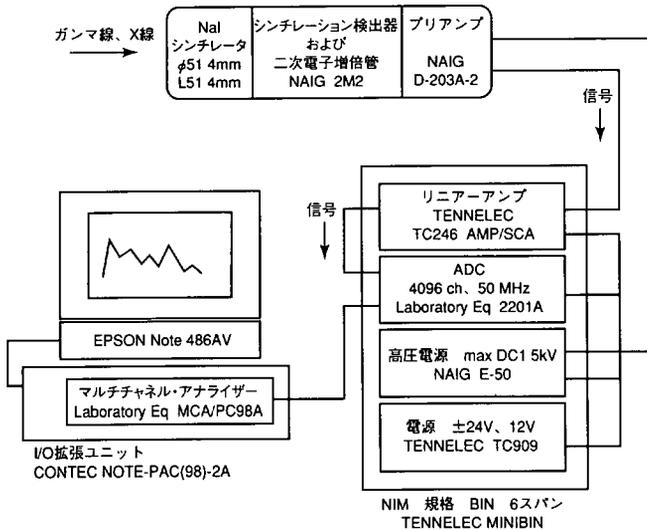


図1 ガンマ線スペクトロメータのシステム構成

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。この MCA ではチャンネル数は 512, 1024, 2048, 4096 の 4 通りの使用方法が可能である。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を 5120 keV と設定して測定したものである。NaI の分解能は半値巾で 8% 前後であるので、2000 keV での半値巾は約 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。測定システムの必要とする電力は AC100 V, 0.6 A である。屋外測定の際は測定器ヘッド、増幅器、ADC、コンピュータなどからなる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 G700, AC100 V, 5.5 A）により供給される。

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。

図2A, Bにガンマ線スペクトルの一例を示す。Aは「94報告」にのせたもの、Bは最近測定したものである。ともに測定場所は物理研究室(東本館1階, 107号室)の中央、床上1m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で最高エネルギーは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E0は10の0乗、すなわち1を、E6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。Ac-228, 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・土壤中に数%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

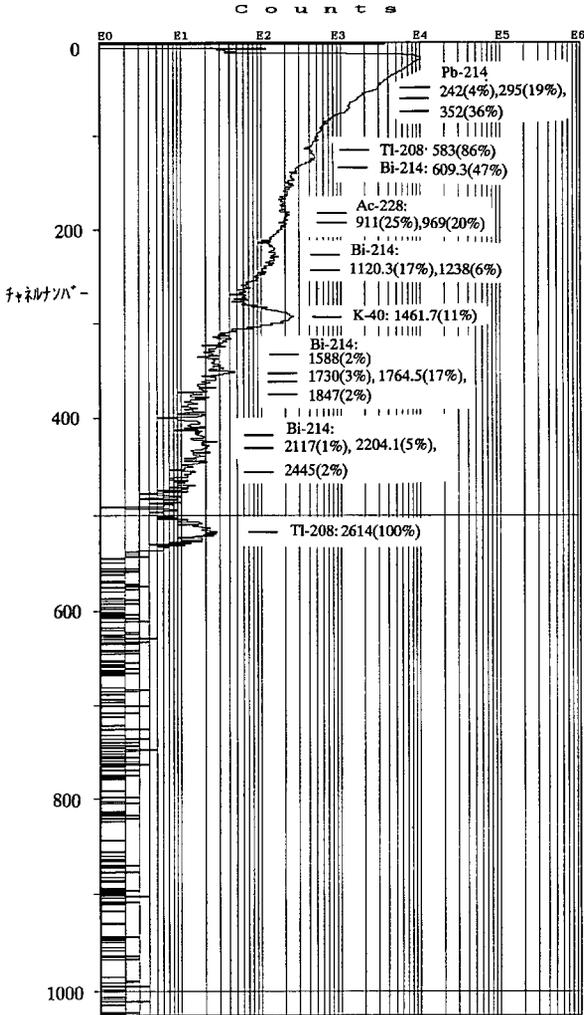


図 2A. ガンマ線スペクトル：東校舎物理研究室におけるガンマ線バックグラウンドのスペクトル。縦軸はチャンネルナンバーでガンマ線のエネルギーに比例する。横軸はカウント数（対数表示），E0 は 10 の 0 乗すなわち，E6 は 10 の 6 乗すなわち 100 万を表す。A: 1994 年 7 月。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

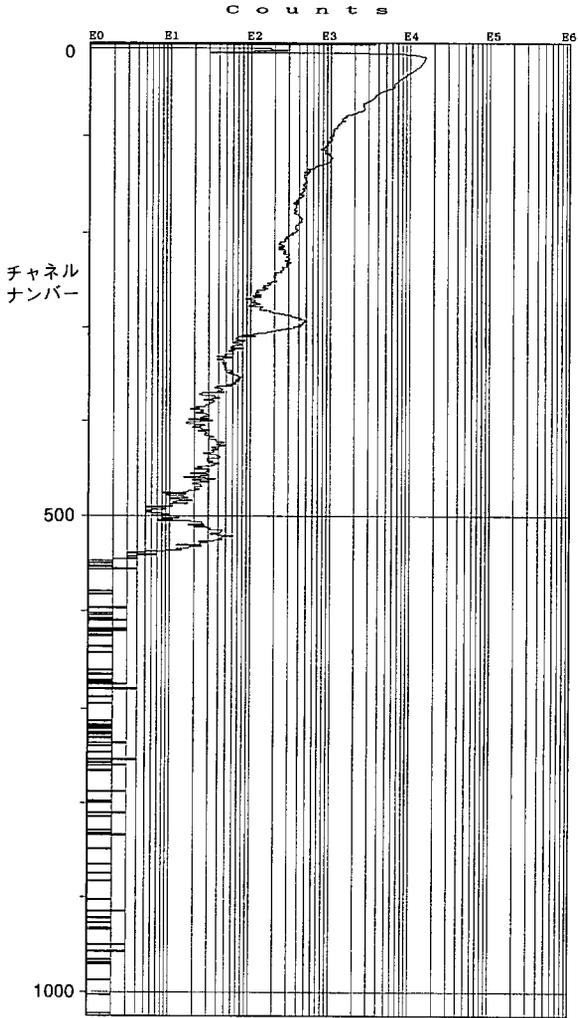


図 2B. ガンマ線スペクトル：東校舎物理研究室におけるガンマ線バックグラウンドのスペクトル。縦軸はチャンネルナンバーでガンマ線のエネルギーに比例する。横軸はカウント数 (対数表示), E0 は 10 の 0 乗すなわち 1, E6 は 10 の 6 乗すなわち 100 万を表す B: 1996 年 4 月。

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 Tl-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 Tl-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。

図 2A, B 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ガンマ線スペクトロメータの再現性はあると考える。

2.3 電離箱式サーベイメータ

密閉した容器に気体を満たし, 中に対向する一对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こむ。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

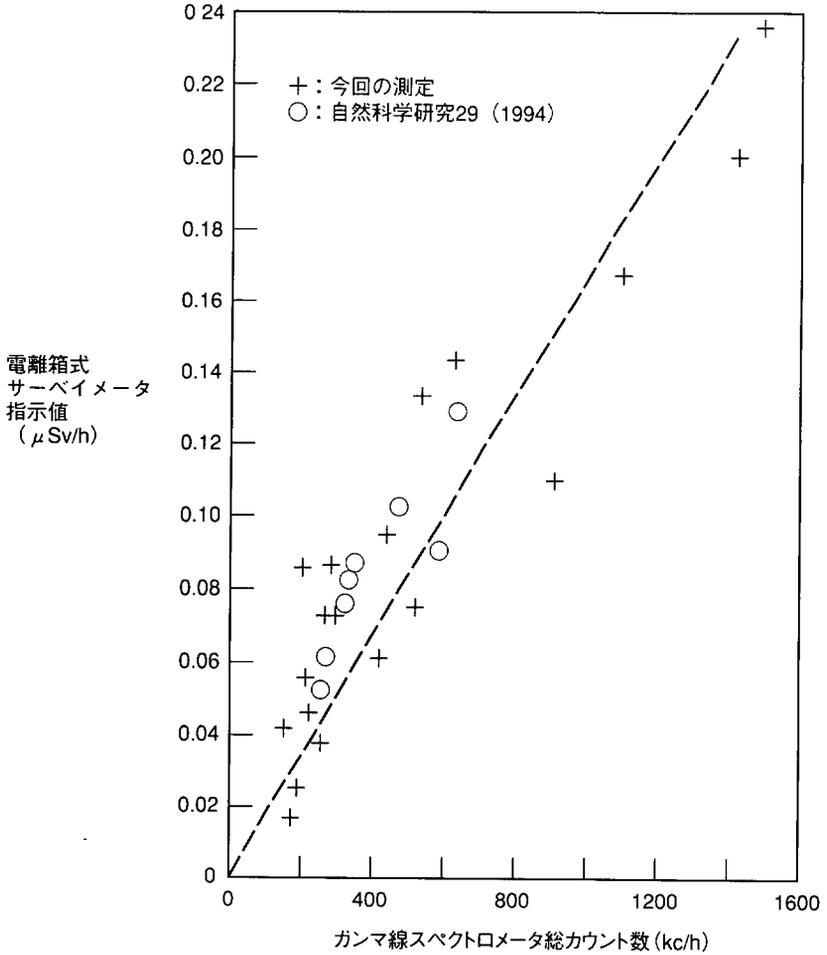


図3. ガンマ線スペクトロメータ総カウント数 vs. 電離箱式サーベイメータ指示値。

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。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 $3\mu\text{Sv}$ ）で測るので値はばらつく。ちなみに、SI 単位系では 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、1 Sv（シーベルト）としている。

2.4 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。

図 3 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ガンマ線スペクトロメータの総カウント数の関係を示す。「94 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える。

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 1，図 4 に示す。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 1 m の高さに設置された。測定点の

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

表1 国立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	ガンマ線スペクトロメータ		電離箱 μSv/h	備考：Data ID 等
	≤2800 keV kc/h	>2800 keV c/h		
東キャンパス				
軟式テニスコート南側フェンス南3mの木の間	261 ±1	491 ±6	0.038 ±0.004	HK2-1~3
東キャンパス東南隅	226	437	0.054	HK2-4
東キャンパス東北隅	268	464	0.072	HK2-5
東キャンパス北西隅	296 ±1	478 ±12	0.072	HK2-6, 7
東キャンパス南西隅	226 ±1	473 ±18	0.044 ±0.013	HK2-8, 9, 電離箱データは1h測定3回の平均
院生寮北15mの古木の間	291	480		HK2-11
西キャンパス				
野球場・陸上競技場間の松の木の間	203 ±9	524 ±29	0.014 ±0.011	NN1-1, 3
職員グラウンド東の林の中	173	480	0.041	NN1-2
弓道場の場より東10mの林の中	256	497	0.016	NN1-4
兼松講堂東北約40mの林の中	181	515	0.017	NN1-5

特記のないものは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。

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。ガンマ線スペクトロメータのカウント数は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慮して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「94報告」のものと同カウント数、

国立地区
Kuntachi Campus

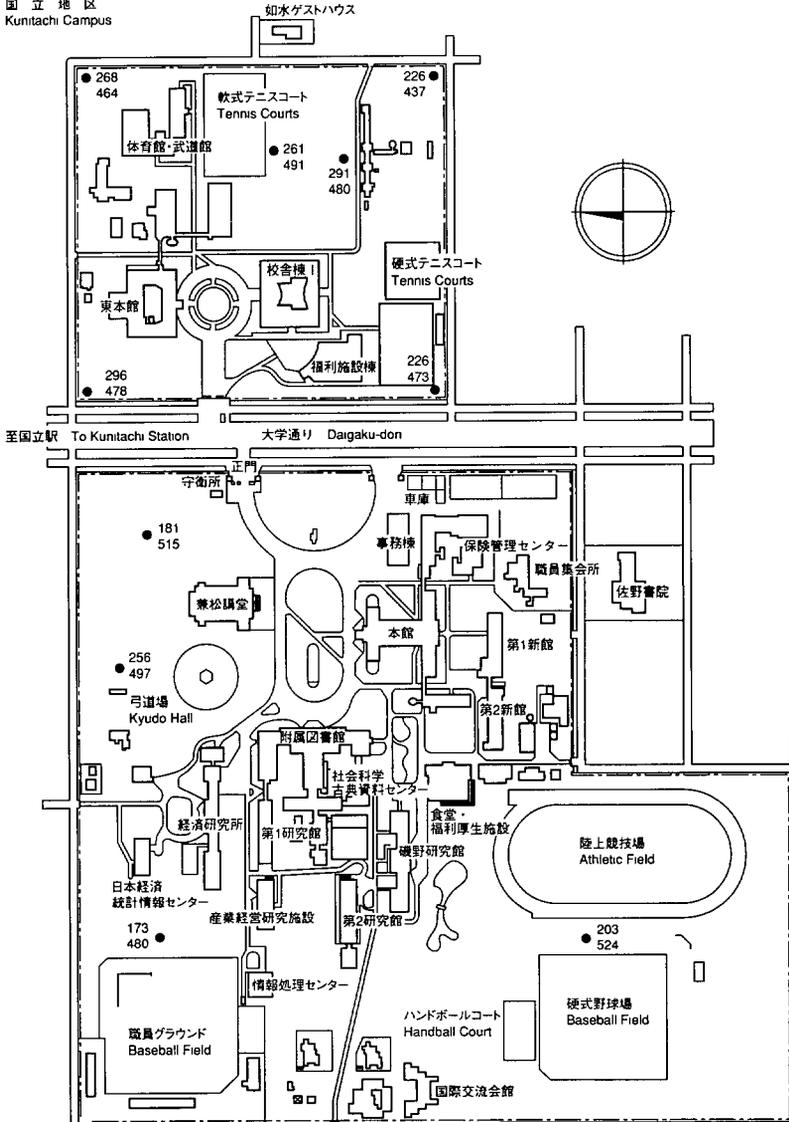


図4. 国立キャンパスにおける環境放射線測定値。黒点は測定点を示す。わきの数字は上段が2800keV以下のガンマ線スペクトロメータカウント数 (kc/h)、下段は2800keV超え (c/h) のものである。

スペクトルはともに大きな違いはない (図 5)。

2800 KeV 以下のカウント数は 170~300 kc/h である。東キャンパス西北隅、院生寮北の測定値が若干高いのは建築物に近いためであろう。宇宙線起源と考えられる 2800 keV 超えのものは 500 c/h 前後で統計的変動の範囲で同一とみなせる。西キャンパスの測定値で注目すべきはカウント数が小さいばかりでなく他とはスペクトルの異なることである (図 6)。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 5) 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での測定値で顕著である。陸上競技場・野球場間の地点では 8 日後に再測定を行ったが同様のスペクトルを得た。このことからこのピークは半減期の長い核種からのものと思われる。このエネルギーのガンマ線を出し、半減期の長い核種としては Cs-137 が考えられる。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 に変わる。その際、662 keV のガンマ線を出す。これらの測定の直前に行われた中国の地下核実験 (1996 年 6 月 8 日) によるものか、過去の大気中核実験や原子炉事故の残滓によるものかこれだけのデータでは明らかではない。今後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 0.014~0.072 μ Sv/h である。

3.2 東本館・一般教養校舎棟・福利施設棟周辺の測定値

表 2, 3 に東本館・一般教養校舎棟 (東 1 号館)・福利施設棟 (東プラザ) 周辺の測定値を示す。図 7 に測定点とガンマ線スペクトロメータのカウント数を示す。上段の数字は 2800 keV 以下 (kc/h)、下段の数字は 2800 keV 超え (c/h) のカウント数である。東 1 号館・福利施設棟ので

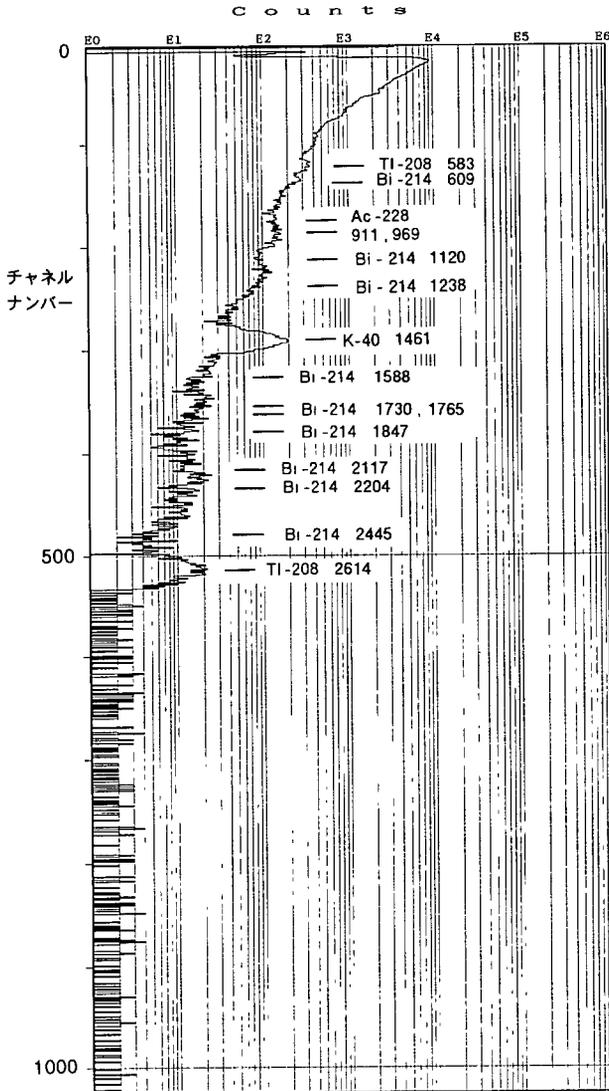


図5. 東キャンパス軟式テニスコート南フェンス際におけるガンマ線スペクトル.

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

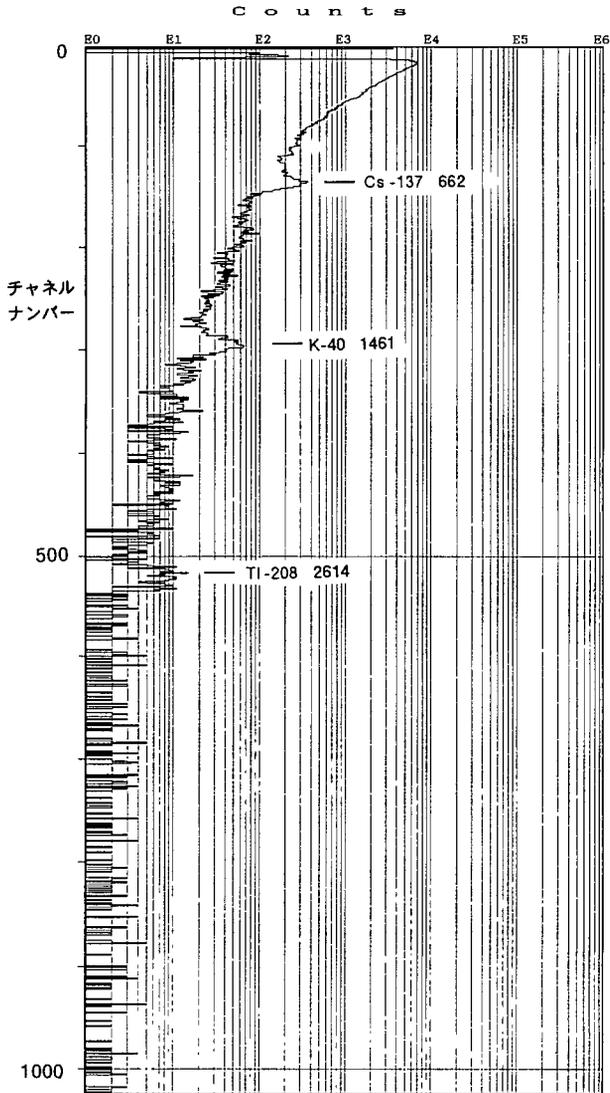


図6. 西キャンパス, 兼松講堂北東約40m林の中におけるガンマ線スペクトル.

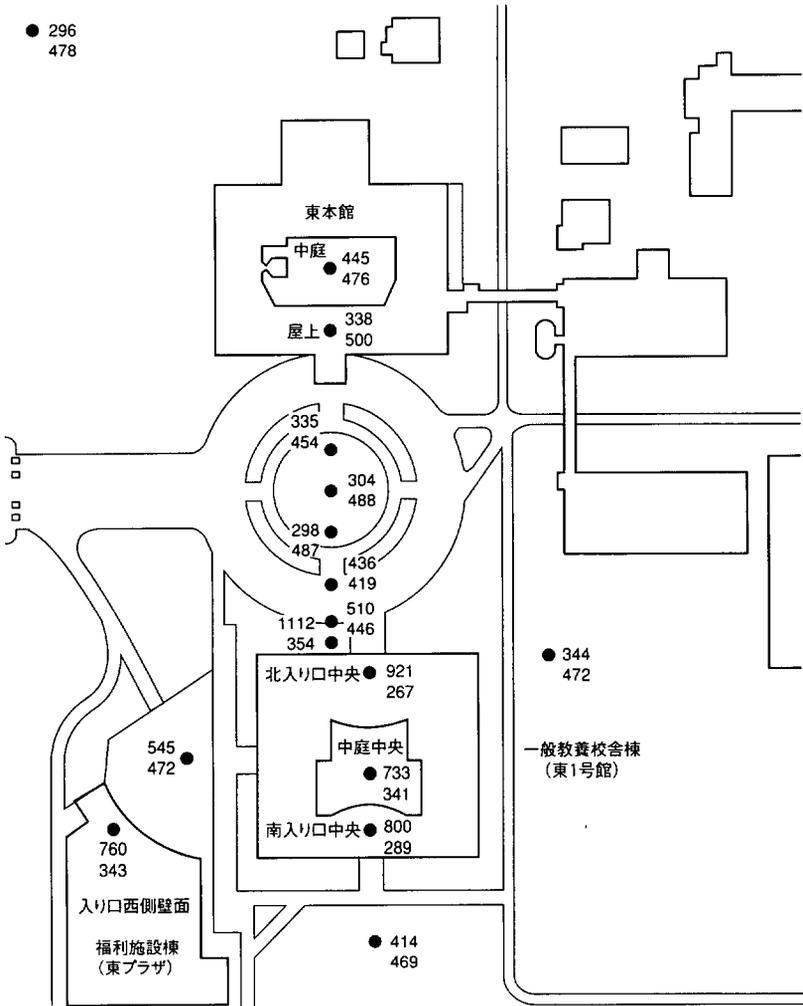


図7 東本館・一般教養校舎棟(東1号館)・福利施設棟(東プラザ)のできた後の東本館周辺のガンマ線スペクトロメータによる測定値。黒点は測定点を示し、わきの数字は上段:2800keV以下(kc/h)、下段:2800keV超え(c/h)のカウンタ数を示す。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

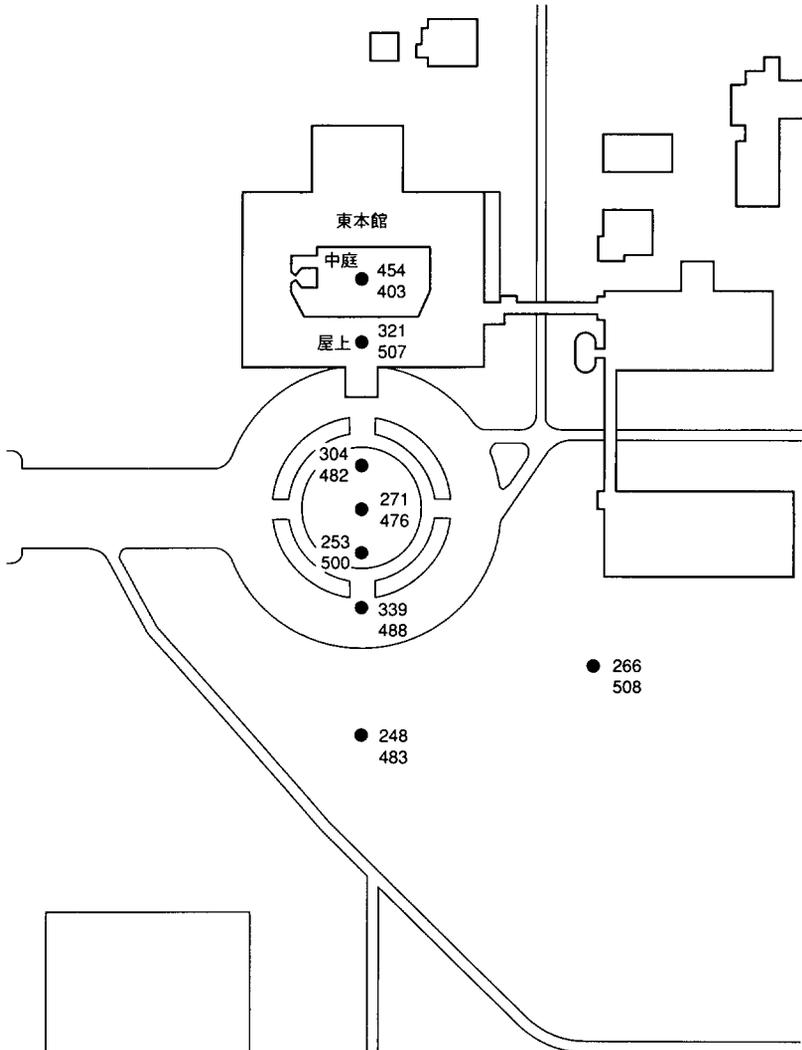


図8. 一般教養校舎棟(東1号館)・福利施設棟(東プラザ)のできる前の東本館周辺のガンマ線スペクトロメータによる測定値。黒点は測定点を示し、わきの数字は上段:2800keV以下(kc/h)、下段:2800keV超え(c/h)のカウント数を示す。

表2 東本館周辺の環境放射線

測定地点	ガンマ線スペクトロメータ		電離箱 μSv/h	備考：Data ID 等
	≤2800 keV kc/h	>2800 keV c/h		
物理研究室	613	323	0.143 ±0.012	HA13-1, 電離箱データは1h測定4回の平均
中庭中央	445	476	0.094 ±0.006	HG2-2, 電離箱データは1h測定2回の平均
池築山中央	304	488	0.084 ±0.016	HI3-1, 電離箱データは1h測定5回の平均
築山中央から南8m	298	487		HI3-2
築山中央から16m南, 柵と歩道の間	436	419		HI3-3
築山中央から北8m	335	454		HI3-4
東1号館北壁から北へ 8m	510	446	0.073	HI3-5
東1号館北壁際	1112	354	0.167	HI3-6
東本館屋上	338 ±2	500 ±13	0.085 0.018	HH17-1~6, 電離箱データは1h測定3回の平均

特記のないものは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

きる前の測定(図8)と比べれば建築物により放射線が増えたことがよくわかる。東1号館の壁面の近くで高い値を示すのは1階外壁を覆っている厚さ2cmの岩石板のためである。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、施設課の説明によればブラジル産のものである。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、福利施設棟の1階の外壁面における放射線の値は東1号館の半分である。これは、福利施設棟の外見は東1号館によく似ているがコンクリートに顔料と細石を混ぜた模造花崗岩であることによる。2800 keV 超えについて見ると、屋根のないところでは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」の測定値とほと

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

表3 東キャンパス一般教養校舎棟 (東1号館)・福利施設棟 (東プラザ) 周辺の環境放射線

測定地点	ガンマ線スペクトロメータ		電離箱 μSv/h	備考: Data ID 等
	≤2800 keV kc/h	>2800 keV c/h		
東1号館東北角から東へ約14m	344 ±5	472 ±1		HJ2-1,2
東1号館北入り口南西隔壁面	1505	241	0.197 ±0.006	HJ2-3, 電離箱データは1h測定3回の平均
東1号館北入り口中央	921	267	0.107	HJ2-4
東1号館南入り口中央	800	289		HJ2-5
東1号館中庭中央	733	341		HJ2-6
東1号館R1101教室教卓付近	782	230		HJ2-7
東1号館南口中心柱から南へ16m	414 ±1	469 ±6	0.059 ±0.016	HJ2-8,9
東プラザ前広場, 東1号館西口から西へ10m	545	472	0.131	HJ2-10
東1号館北入り口西壁面	1480	323	0.234	HJ2-11
東1号館北入り口東壁面	1427	304	0.198	HJ2-12
東プラザ入り口西側壁面	760	343	0.107	HJ2-13

特記のないものは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。

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。

「94報告」で、2800 keV 以下については、東キャンパスで最も小さい値、248 kc/h、をしめたのは東本館正面入り口から南へ60m はなれた林の中の測定点である。この地点は東1号館のR1101教室の教卓付近と思われる。そこで今回測定された値は2800 keV 以下で782 kc/h とかつての3倍になっている。

表4 東本館放射性同位元素貯蔵施設内の環境放射線測定値：Ra-226 搬出後。

測定地点	ガンマ線スペクトロメータ		電離箱 $\mu\text{Sv/h}$	備考：Data ID 等
	$\leq 2800 \text{ keV}$ kc/h	$> 2800 \text{ keV}$ c/h		
中心	654	252		HC13-1
西南隅	631	225		HC13-2
西北隅	681	226		HC13-3
東北隅	655	252		HC13-4
東南隅	613	227		HC13-5
金庫前 10 cm, 床面	596	240		HC13-6
西壁際	674	215		HC13-7
金庫前 1 m	646	251		HC13-8
平均	644	236		1~5, 96/8/4 測定
	± 29	± 15		6~8, 96/8/17 測定

特記のないものは床上 1 m, 96/4/13 Ra-226 搬出, 8/18 除染作業。

3.3 東本館放射性同位元素貯蔵施からの Ra-226 を搬出したことによる変化

かつて、東本館地下の放射性同位元素貯蔵施には約 37 MBq (1 mCi) の Ra-226 が保管されていた。同施設内およびその周辺の放射線測定の結果は「94 報告」に記されている。1995 年 4 月、Ra-226 は搬出された。搬出後の放射線強度の値を表 4 に示す。2800 keV 以下については平均、644 kc/h、2800 keV 超えについては 236 kc/h と物理研究室と同程度になっていることがわかる。図 9 に Ra-226 保管時、搬出後の測定値を示す。Ra-226 の保管庫として用いられていた金庫の前 10 cm の床面での値が他の点よりも低いのは部屋の壁材からでるガンマ線を金庫が遮蔽しているためであろう。また、保管時最も高い測定値を与えた地点におけるスペクトルと同地点における搬出後のスペクトルを図 10A, B に示す。当然のことながら Ra-226 起源のピークが見えなくなっている。金庫の内部材、金庫内の鉛ブロックに痕跡程度あった放射線汚染は除去された。

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

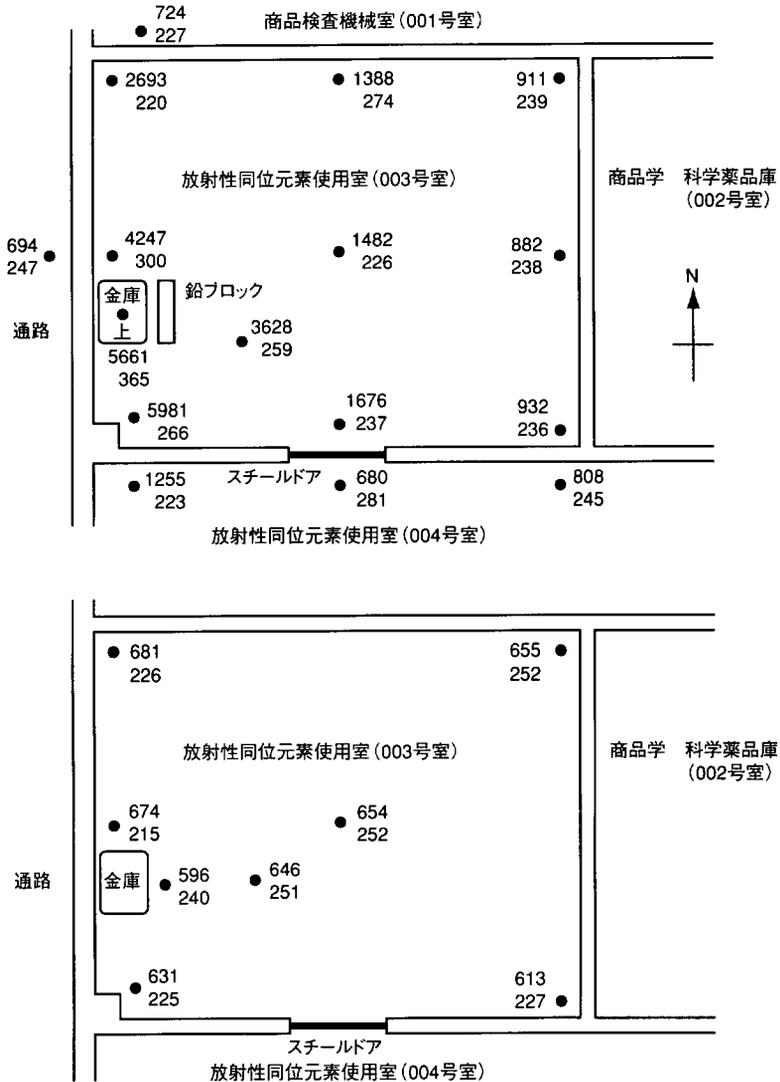


図9 同位元素貯蔵施設内外の放射線強度。上:Ra-226保管時。下:Ra-226撤出後。いずれも黒点は測定点を示し、わきの数字は上段が2800keV以下のガンマ線スペクトロメータカウント数 (kc/h)、下段が2800keV超えのカウント数 (c/h)。

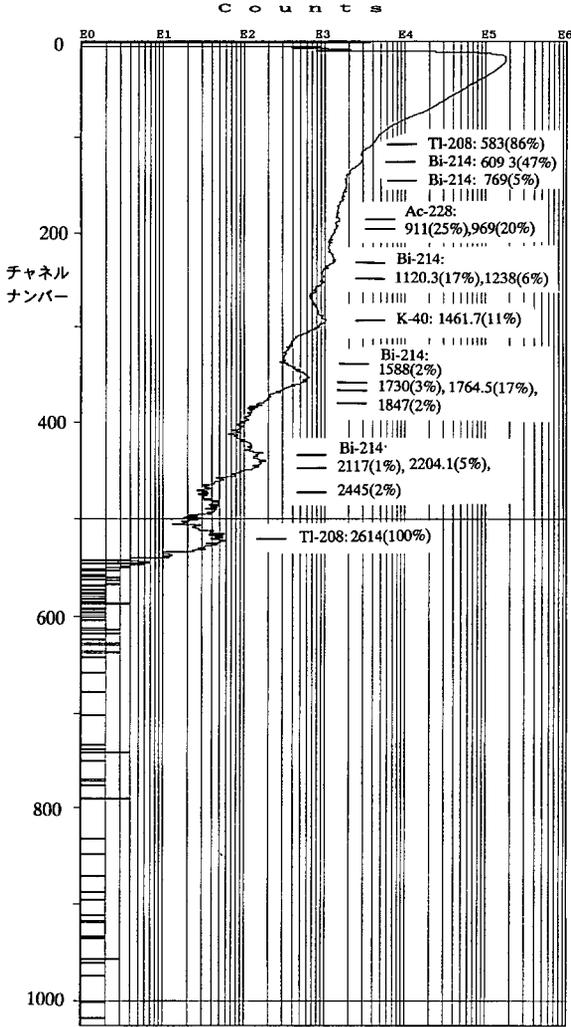


図 10A. 同位元素保管金庫近くのガンマ線スペクトル. A: Ra-226 保管時, 最大値を与えた貯蔵施設西南隅のカウント数 5981 kc/h (2800 keV 以下), 266 c/h (2800 keV 超え) に対応するもの.

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

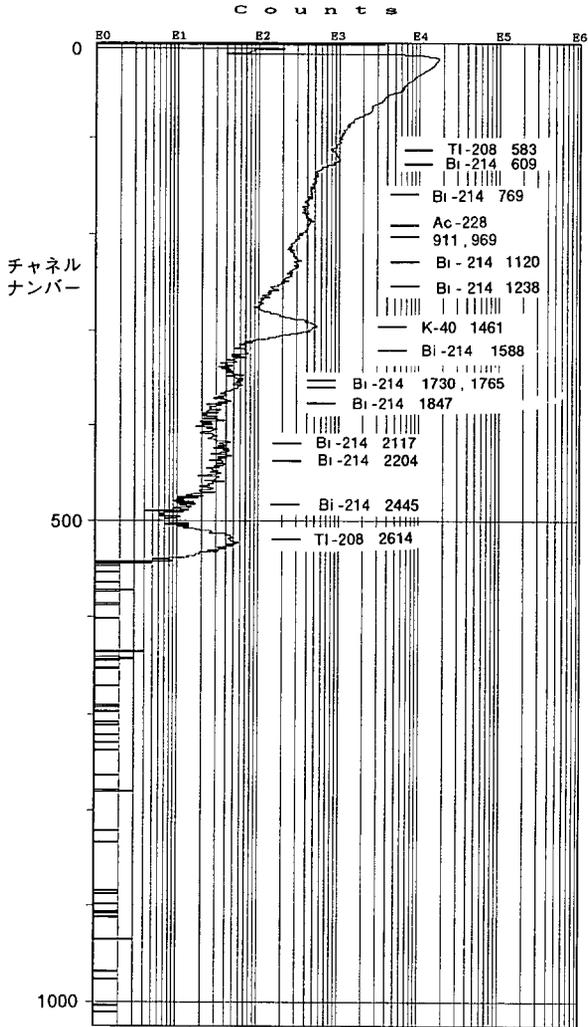


図 10B. 同位元素保管金庫近くのガンマ線スペクトル. B: Ra-226 搬出後の同地点におけるガンマ線スペクトル.

3.4 核実験の影響

核実験により生成された放射性核種は大気中に飛散し浮遊しているが次第に降下してくることはフォールアウトとしてよく知られている。降雨の際にはフォールアウトは増加するのでこれを特にウォッシュアウトと呼ぶこともある。中国は新疆ウイグル自治区のロプノルにおいて1996年6月8日（日本時間午前11時56分）核実験を行った。新聞報道によると規模はTNT火薬にして20-80キロトン程度と見られる。地下実験であるので大気中実験のような多くのフォールアウトはなくとも何らかの影響があると予想して、11日から東本館屋上にガンマ線スペクトロメータを設置して40日間にわたり測定を行った。測定はコンピュータ・コントロールにより、1時間毎に1024チャンネル、それぞれのカウント数がフロッピー・ディスクに保存される。他の測定と同じように1チャンネルあたりのエネルギー幅は5 keVとしてある。図11に1時間あたりの総カウント数、すなわち70 keVから5240 keVまでのすべてのチャンネルのカウント数の和を示す。変化を見やすくするためベースラインは150 kc/hとしてある。バックグラウンドは約200 kc/hと「94報告」の値、320 kc/h、の約2/3に下がったのは5 cm×10 cm×20 cmの鉛ブロックを4個、すなわち厚さ5 cm、広さ800 cm²の鉛をNaIの下にしきつめたためである。鉛の総重量は約45 kgである。

「94報告」と同じように、総カウント数はゆるやかに小さくなりながら、ときどき増加する。このとき降雨があったと思われる。2800 keV 超えのカウント数には統計的変動以上の変化が見られないので、計数効率是一定と見なしてよい（図12）。カウント数の最も多い6月26日9-10時測定のスペクトル（図13）を、平均を下まわる6月28日10-11時のスペクトル（図14）と比較するとビスマス Bi-214、Pb-214 起源と思われるガンマ線が増加している。いずれもU-238の崩壊系列中のものである。K-40の

1461 keV, Th-232 の崩壊系列中の Tl-208 の 2614 keV のピークにも変化が見られない。このことから測定システムの計測効率は一定であったと考えられる。ピークの位置が多少変わっているのは、NaI に直結されている二次電子増倍管、プリアンプの増幅率が日射、降雨などによる温度変化により変わるためである。

このスペクトルのちがいについて「94 報告」で次のようなふたつの解釈の可能性を示した。

1) U-238 系列には Rn-222, Th-232 系列には Rn-220 の希ガス元素ラドンの核種をふくむ。地上でできた Rn は地上の元素と化合することなく大気中に入り、崩壊する。Rn-222 の系列では Bi-214 (半減期 19.7 m), Rn-220 の系列では Tl-208 (3.05 m) を生ずる。半減期はいずれも分単位と短いので存在量は系列上位の比較的寿命の長い核種の半減期によって定まる (放射平衡)。Rn-220 の半減期は 56 s と、Rn-222 の 3.8 d より短いため降下の前に大部分の Tl-208 は崩壊して失われてしまう。

2) 核兵器の核分裂物質は外側を密度の大きい物質で囲まれている。タンパーと呼ばれるこの物質の役割は、連鎖反応が十分進まない内に初期の爆発により核分裂物質が飛散することを慣性を利用して抑制することと、中性子を反射することである。⁽⁴⁾ タンパーとして使われた U-238 は飛散し大気中に浮遊し次第に崩壊する。Bi-214 を含む崩壊生成物が降雨により落下してくる。Th はタンパーとして用いられないので Tl-208 のガンマ線は出てこない。今回の測定でも、上記のいずれか、あるいは他の原因によるのか判断できない。

総カウント数が徐々に減少することには次の解釈が可能である。

1) 過去の核実験や原子炉事故の残滓の放射性微粉、あるいは地中から大気中に入ったラドンの娘核が梅雨で徐々にフォールアウトする。

2) 最近の中国の地下核実験により生成された放射性物質の一部が大気中

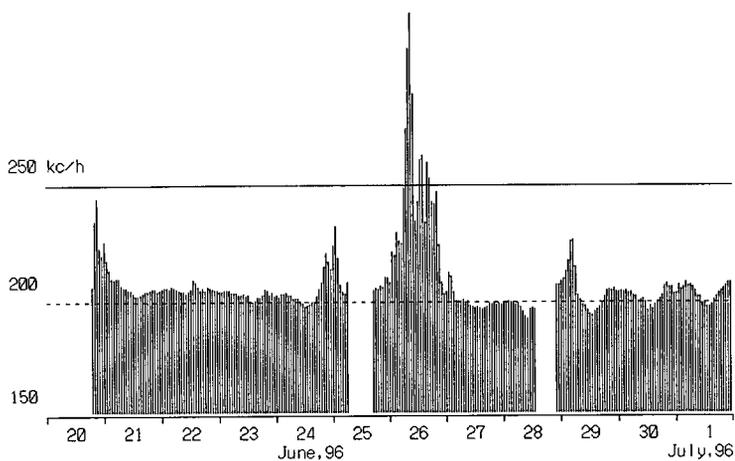
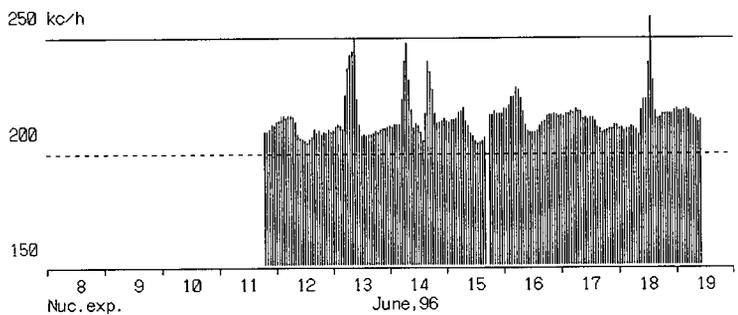
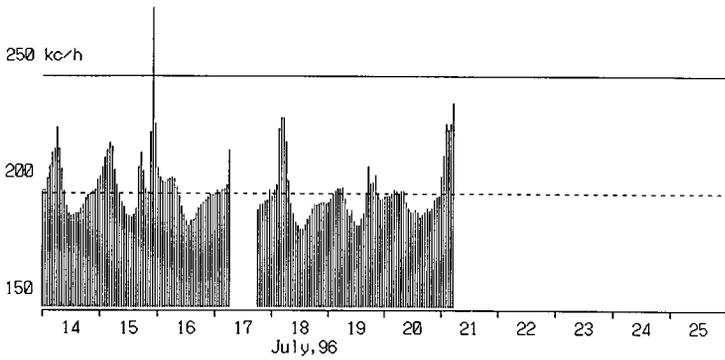
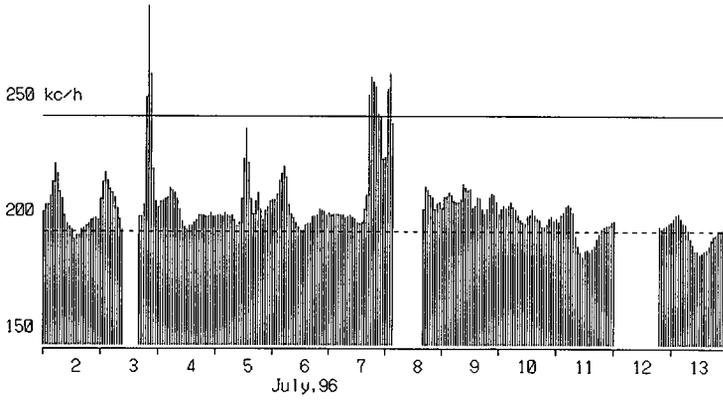


図 11. 東本館屋上におけるガンマ線連続測定：

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)



NaI 総カウント数 (70-5240 keV).

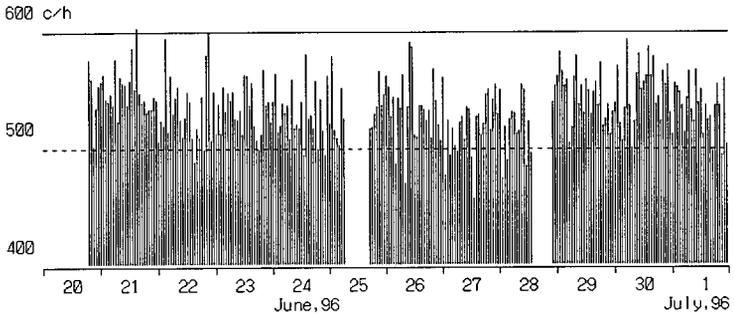
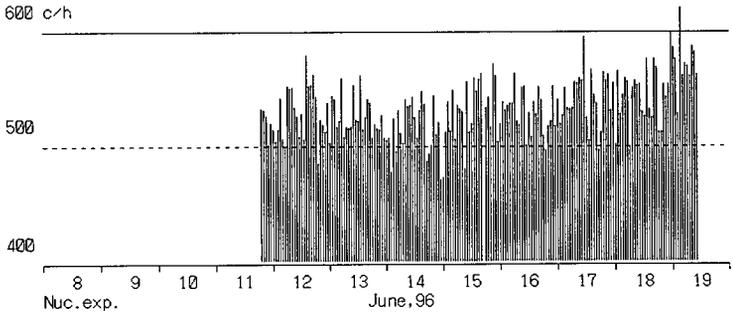
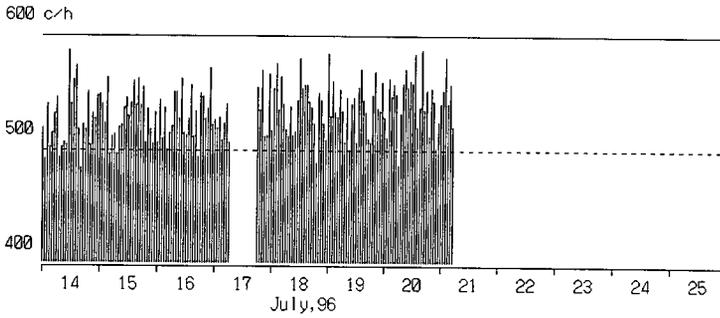
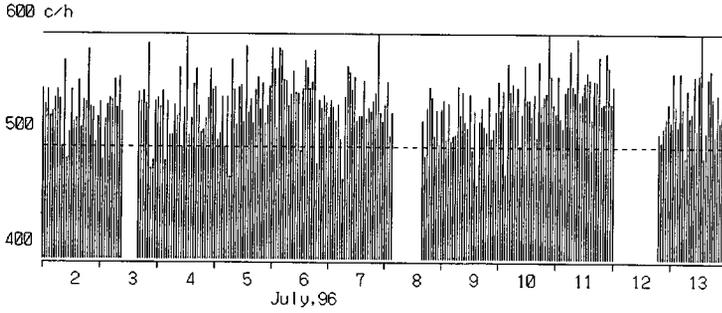


図 12. 東本館屋上におけるガンマ線連続測定：

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (1)



NaI カウント数 (2800-5240 keV).

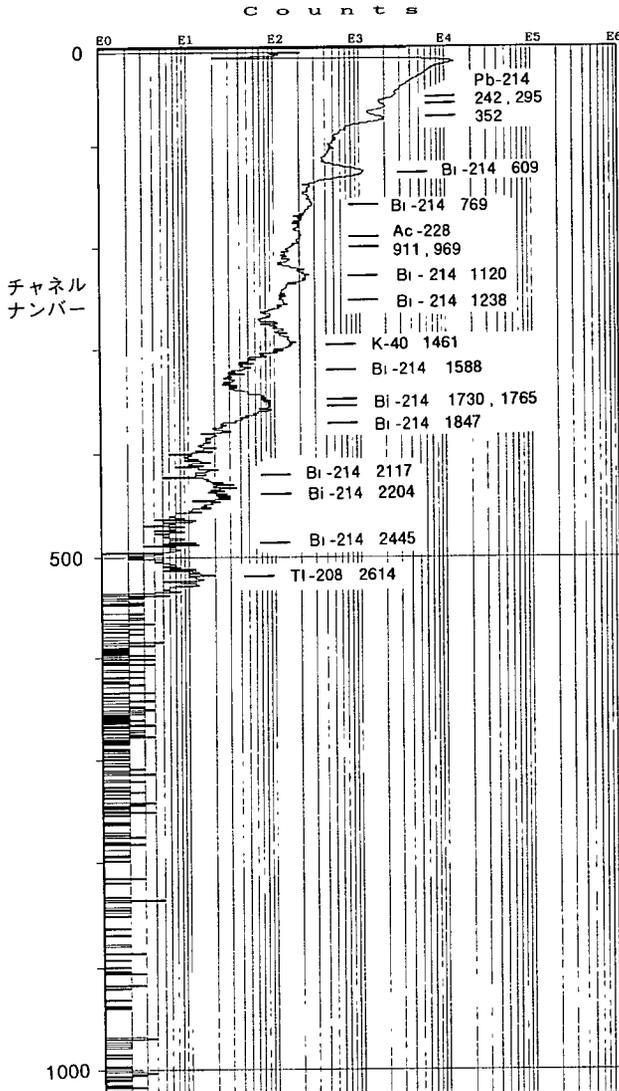


図 13. 東本館屋上におけるガンマ線スペクトル：NaI 総カウント数が増加した時 (96/6/26 09:01-10:01).

一橋大学キャンパスにおける環境放射線の測定 (I)

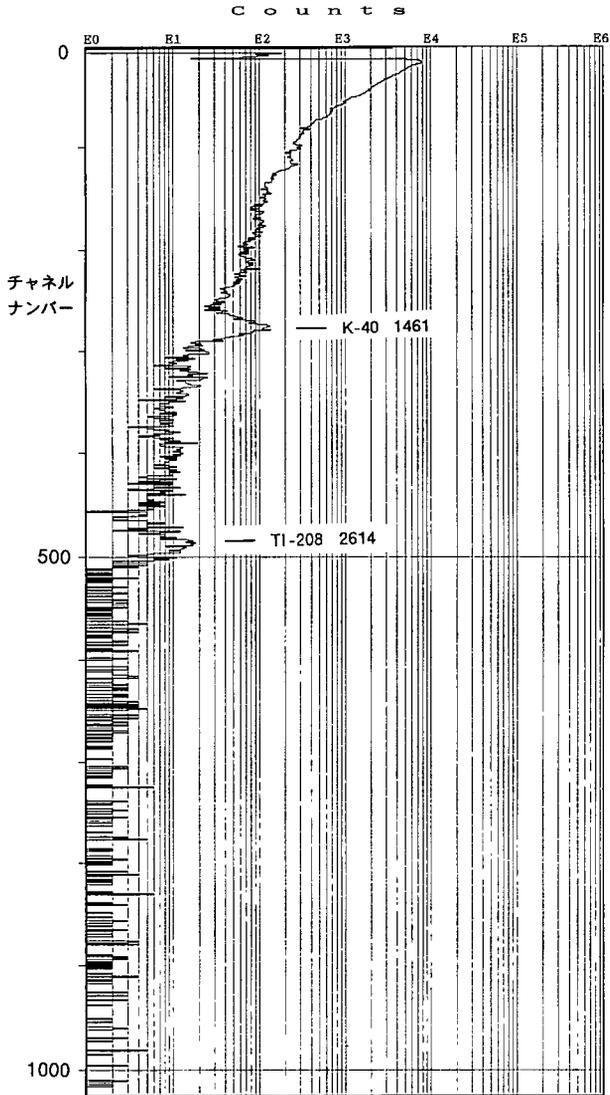


図 14. 東本館屋上におけるガンマ線スペクトル：NaI 総カウント数が少ない時 (96/6/28 10:04-11:04).

に入り、時間とともにフォールアウトが減少する。

「94 報告」時の中国核実験は 94 年 6 月 10 日、今回は 96 年 6 月 8 日といずれも梅雨の始まりと一致しているので上記のいずれか、あるいは他の原因によるのか判断できない。1996 年、関東地方の梅雨入りは 6 月 9 日前後、梅雨明けは 7 月 10 日前後である。

4. おわりに：測定の要約と今後の課題

国立東、西両キャンパスとも建造物からはなれた所で電離箱式サーベイメータを用いて測定された放射線吸収線量は 1 時間あたり $0.014\sim 0.072$ μSv で、1 年間に換算すると $0.12\sim 0.63$ mSv 程度と関東地方の値としては納得のいく数字である。小平建物の移転改築により東キャンパスに建築された一般教養校舎棟の一部には 0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 以上、1 年間とどまるとすれば吸収線量 1.8 mSv 以上に達する場所がある。

東キャンパスにはさらに、大教室棟、体育館、LL、AV 施設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。本報告の測定値は「94 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。測定器の劣化・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。

国立キャンパスの南、矢川から北西へ立川市内をへて青梅にいたる立川断層が存在すること、また断層ずれが地震のひきおこすことはよく知られている。地震の前に地下水中の放射性核種ラドンの濃度が増すことが報告されている。⁽⁵⁾ 一橋大学の水道水はキャンパス内にある 3 本の 150 m の深

井戸からとられている。水道水のラドン濃度をモニターするのは面白い課題である。近年、大学周辺で多くの高層建築が建設されており、環境放射線の増加が予想される。キャンパス内ばかりでなく、周辺の放射線変化を測定することも大学で実験科学にたずさわるものの義務であろう。

【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、商学部三村徹朗助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) G. F. ノル, 「放射線計測ハンドブック」, 日刊工業新聞社, 1991.
- 3) 関口 晃, 「放射線計測概論」, 東京大学出版会, 1988.
- 4) H. D. スマイル, 「原子爆弾の完成 —スマイル報告—」, 岩波書店, 1951.
- 5) 岡部 茂 他 編集, 「続・大気中ラドン族と環境放射能」, 日本原子力学会, 1990. pp. 333-338.