

放射線を指標とする環境評価教育の開拓

Finding a fruitful tool for education on environmental assessment with natural radio-activity

片岡良輔 (KATAOKA Ryouusuke)¹⁾・沼田直樹 (NUMATA Naoki)¹⁾
白河知恵 (SHIRAKAWA Chie)¹⁾・神田ゆか (KANDA Yuka)¹⁾
小澤 萌 (OZAWA Moe)¹⁾・中村明博 (NAKAMURA Akihiro)¹⁾
小畑怜子 (KOBATA Reiko)¹⁾・三浦 悟 (MIURA Satoru)¹⁾
竹内 誠 (TAKEUCHI Makoto)¹⁾・南 雅代 (MINAMI Masayo)²⁾
柴田理尋 (SHIBATA Michihiro)³⁾・田中 剛 (TANAKA Tsuyoshi)¹⁾

1) 名古屋大学大学院環境学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

2) 名古屋大学年代測定総合研究センター

Center for Chronological Research, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

3) 名古屋大学アイソトープ総合センター

Radioisotope Research Center, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

Abstract

Radioactivity is one of the most important environments for our mankind. Knowledge and basic experience on the radioactivity should be a fundamental curriculum to be taught at the Graduate School of Environment, Nagoya University. We intended to develop the technique how we can teach effectively the interest in the radioactivity for many students. In this paper, we report the result of our trial for the class “Tectonochemistry” teaching the various natural radioactivity in the Campus of the University.

はじめに

放射線は、日本国内では、よほどの事がない限り、生命を脅かす環境因子となることはない。しかし、名古屋大学の卒業生が、世界中のさまざまな場で活躍する将来を予想した時、放射線に関するフィールドトレーニングは、自分自身で自分の身を守る、重要な基礎教育である。室内／室外での自然放射線量の多様性を実感し、線量を規定している因子を評価する能力を持つ事が望まれる。自然因子の評価態勢が基礎となって、人為因子の評価態勢に発展するものである。本研究では理・工・文系を問わず、環境放射線についての興味を魅き出せるフィールドトレーニング法を開拓することを目的とした。

モデル授業には、著者の1人田中が担当する環境学研究科I類授業科目「テクトノケミストリー」を用いた。シラバスにおいて、この授業の目的・ねらいは、〈地圏環境における元素や同位体の分布は、グローバルな視点において、そこでのプレート運動に対応する環境に支配されている。希土類元素存在度パターンや同位体初生値から、テクトニクスに規制される自然因子が支配的な地圏の化学環境の形成メカニズムとその時間変化を論じる。〉とされており、その中に、環境放射線からの観点を加える事は、おおいに望まれる所でもある。

実習においては、名古屋大学内外においてさまざまな建物環境／地質環境下における放射線量と核種相互の比率をもとめる事を出発点とし、次いでそれを規定する環境因子を見いだす事を、その発展形とした。野外における測定実習と測定結果の考察から、大学院教育に最適な場所とプロセスの開発をすすめた。

本研究の発表者は、上記の環境学研究科I類授業科目「テクトノケミストリー」を受講し、本研究に必要なデータを取得し、さまざまな考察を行った8名の学生と、平成21年度環境学研究科研究科長裁量経費「魅力ある教育プログラムの整備」に応募した教員である。本研究を進めるにあたり、平成21年度環境学教育改善経費40万円をいただいた。環境学研究科からの給費に御礼申し上げる。

装置と測定手法

天然には年代測定にもちいられる ^{14}C などさまざまな放射性核種が存在するが、その存在量と分布の測定は、その測定法自体が一つの学問分野を形成するほど難しいものが多い。ただ、天然の地質物質中に存在する ^{238}U 、 ^{232}Th および ^{40}K が、それぞれ ^{206}Pb 、 ^{208}Pb および ^{40}Ar に放射壊変する途中で放出される γ 線は、比較的測定し易く、その強度は、ウラン、トリウムおよびカリウムの存在量の指標とすることができる。そしてそれらが、人間が被曝する天然放射線の大半を占める（例えば西澤・飯田，2006）。

今回の研究で用いた測定装置を図1に示す。米国キャンベラ社のInSpector 1000に3×3インチのヨウ化ナトリウム（NaI）検出器を付け、本実習において名古屋大学のキャンパス内で測定中の場面である。この装置は、核物質を扱うような過酷な環境下で、いつでも、だれでもが、簡便に使い、しかも正しい値を得られるように、と作られた測定器である。一昔以前なら、調査用車両1台を要したような性能を片手で持ち運ぶことができる。その取り扱いの安全性と平易さから、文理を問わず野外



図1：名古屋大学東山キャンパス内#3地点で測定中の様子。画面中央の円筒形の部分がNaI放射線検出器（センサー）で、センサー下の半径2～3mの地面や、壁があれば側面からの放射線（ γ 線）が測定される。ケーブルで繋がっている左直上の箱がデータ収録・解析装置。淡青色の日傘は、日よけ用である。

における放射線実習には最適の装置であると考えられる。

測定は、空間γ線スペクトル測定法（1990）に従い、図1に示したように検出器を約1mの高さで下向きに固定し、各地点で1000秒の測定を行った。測定時間がやや長いのは、どの地点においても、最も線量が少ない²¹⁴Biからの放射線を検出したいが故である。

図2に、岐阜県苗木地方に産出する花崗岩（JG-2）のγ線スペクトルを示す。図の横軸は放射線のエネルギー、縦軸は放射線の強さが対数で表されている。スペクトル図の中央にあるのが⁴⁰Kからの1461keVのγ線ピークで、右端にあるのが²³²Thが²⁰⁸Pbに壊変する途中に生じる²⁰⁸Tlからの2614keVのγ線、それらにあり、棒（カーソル）が付いているのが、²³⁸Uが²⁰⁶Pbに壊変する途中に生じる²¹⁴Biからの1764keVのγ線である。従って、これらの放射線の強さは、放射壊変の大元になった元素、すなわち、カリウム、トリウムおよびウランの量に対応している。測定条件を厳密に整えるなら、これらのピークの大きさから、ウランが○○ppm、トリウムがXXppm含まれる、などと計算できるはずだが、野外の調査では、測定環境が測定地点ごとに異なるので、そのような定量値を得るのは難しい。しかし、ピークの大きさで示される『感度比』は測定装置毎に一定しているので、ピークの大きさの比から、地質環境中の相対的な元素存在度比を知ることができる。

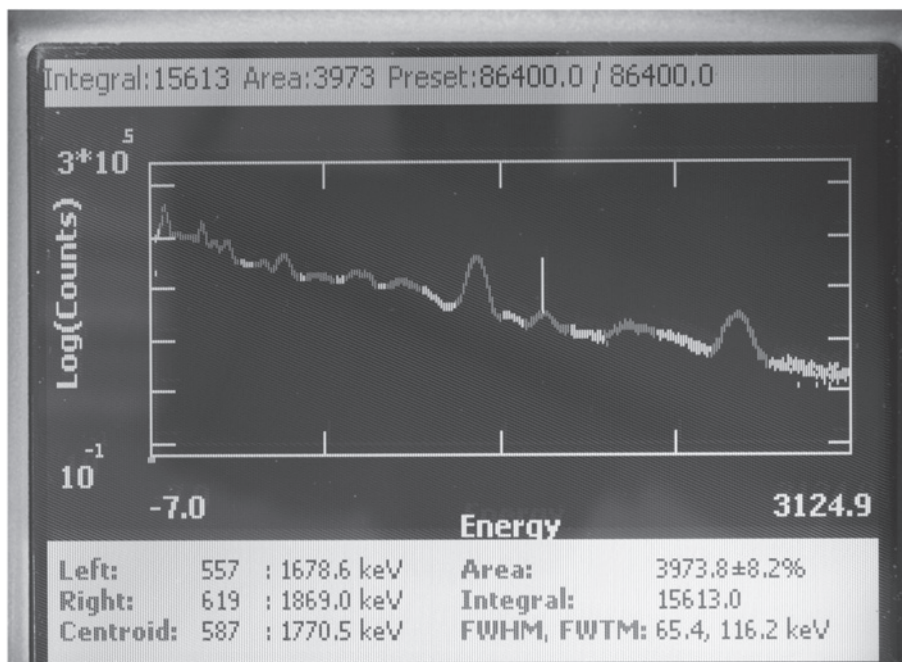


図2：岐阜県苗木地方の花崗岩（地質調査所 地球化学標準試料 JG-2）のγ線スペクトル。図の縦軸（対数）は強度、横軸は放射線のエネルギー（keV）を表す。中央の大きなピーク（1461keV）、右方のピーク（2614keV）、および中間左寄りのピーク（1764keV ピークの上に縦棒（カーソル）が付いている）は、それぞれ、カリウム、トリウムおよびウランに起源をもつ、⁴⁰K、²⁰⁸Tl および ²¹⁴Bi からのγ線である。それ以外のピークも、²⁰⁸Tl および ²¹⁴Bi から放出されるエネルギーの異なるγ線であるが、上記の3つが測り易い。

実習（測定）場所

実習場所として、名古屋大学東山キャンパス内、東キャンパスの野外を中心とする任意の場所とした。『任意の場所』とは、通常的生活場面における放射線量の変化を知る事を目的としているので、その選択は学生に任せた。8人の受講生が2人ずつ組になり、一組20測定点をノルマとした。結果

的に図3に示す81地点において、測定がなされた。学生の選択では、アイソトープセンターの周辺、理学部生物学科のRI排水貯蔵タンクの周辺などが、真っ先に彼らの興味を引く測定対象となったようである。

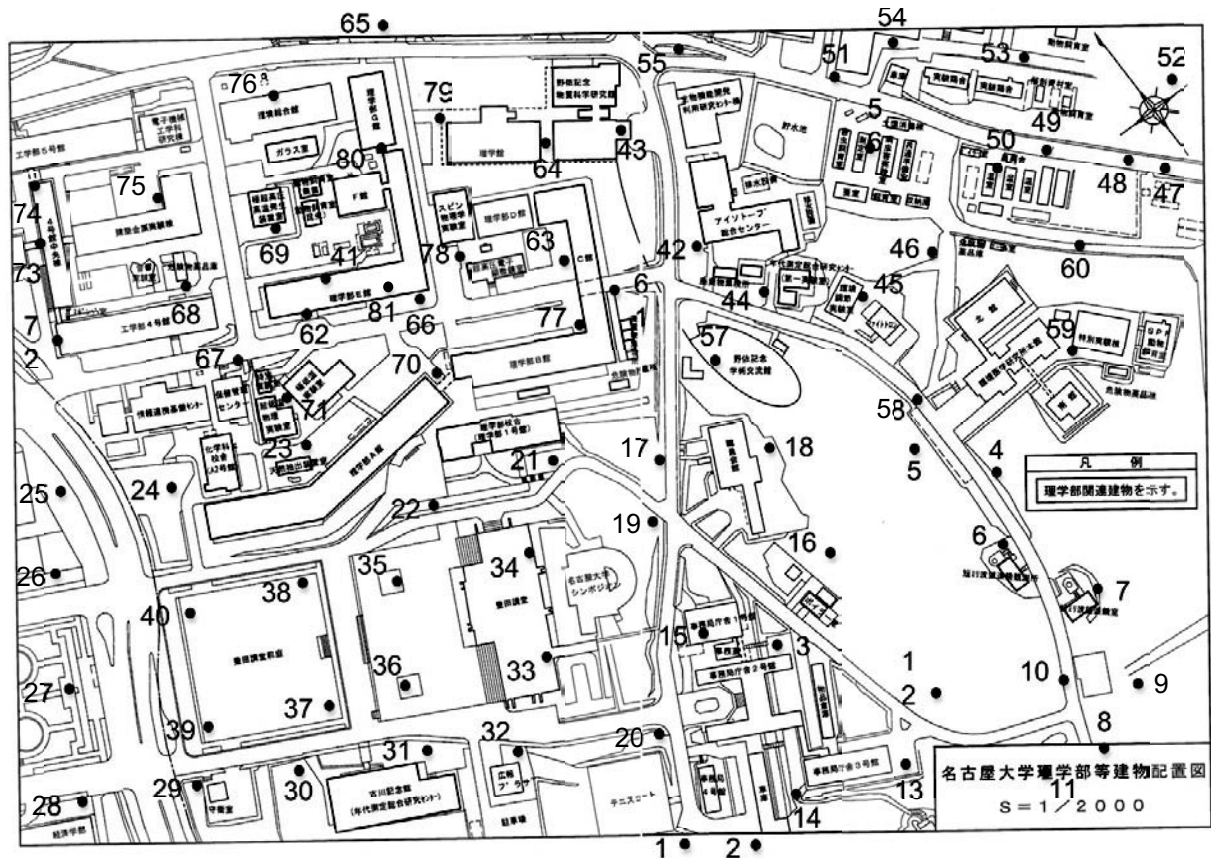


図3：実習フィールドとした、名古屋大学東山キャンパスと学生が選んだ測定場所。
地質、設備、建物など、学生独自の観点から81点の測定場所が選ばれた。図中の地点番号は表1の測定番号に対応する。

結果と学生による考察

測定は、それぞれの場所で1000秒（ライブタイム）行った。結果は、測定装置 InInspector 1000 に内蔵されているソフトによってピークと判定される領域（ROIとよばれ、図2で赤色で表示されている）の面積（総カウント数）を、放射線強度として、表1に掲げた。値は、十の位を四捨五入して示した。したがってゼロと示されているのは、50カウント以下を示す。-で示した所はウランに多いが、有意な測定の表示が得られなかった所である。

カリウム (^{40}K) からの 1461keV の γ 線の計測数は、最も多い理学館喫煙所付近（#78）の 12500 カウントから、最も少ない環境医学研究所西駐車場奥（#5）の 1200 カウントまで、10 倍の差があった。この地域の平均は、約 6000 カウントである。カリウムからの放射線量の分布を図 4a に示す。線量が多いのは、この #78 地点、豊田講堂北側入り口（#34）、大学本部事務局入り口建物内（#15）、農学部坂（#55）など、いずれも建物、とくに天然岩石の貼り付けがなされた場所であった。逆に少ないのは、環境医学研究所周辺の野外で、1000～2000 カウントを示す場所が多かった。カリウムの少ない場所の地質は、名古屋大学全域を特徴付ける地層で、チャートの円礫を主体としており、坂本他（1984）による八事層に相当するものと考えられる。この地層は、第三紀鮮新世に、かつての東海

表1：放射線の測定場所（図3参照）と測定データ（1000秒間のカウント（計測）数）およびカウント数の比

測定番号	測定場所	K**	U**	Th**	K/U	K/Th	U/Th
1	事務局横 テニスコート南	3000	300	700	10	4.1	0.43
2	事務局車庫横 マンホール上	5700	200	900	28	6.4	0.23
3	事務局庁舎2号館 東	6600		1000		6.6	0.00
4	環境医学研究所 南西	1500		600		2.5	0.00
5	環境医学研究所 西駐車場奥	1200	200	400	5	3.3	0.65
6	短ミリ波望遠鏡測所 北	5600	*200	900	35	6.6	0.19
7	短ミリ波望遠鏡室 東	1300	200	400	8	3.1	0.41
8	太陽地球環境研究所 北東	1700	*100	700	13	2.6	0.20
9	短ミリ波望遠鏡室 南東	2100		500		4.0	0.00
10	短ミリ波望遠鏡室 西	4000	200	600	18	6.6	0.38
11	太陽地球環境研究所 西	5200	400	800	13	6.6	0.52
12	事務局庁舎3号館 東	1600	200	700	7	2.4	0.32
13	事務局庁舎3号館 駐車場	8500	400	1100	22	7.9	0.35
14	事務局庁舎3号館 西	3000		600		4.6	0.00
15	事務局庁舎1号館 1F入口（建物内）	10900	*200	1600	72	6.6	0.09
16	ボイラー室 東	1500		400		3.5	0.00
17	職員食堂 西	2800	*100	700	22	4.3	0.20
18	職員食堂 東	3000		800		4.0	0.00
19	職員食堂前交差点 西	2800		600		4.7	0.00
20	テニスコート 北東	4200	200	700	24	6.3	0.26
21	理1号館 南 階段上	5200	*100	800	47	6.2	0.13
22	理A館 南 豊田講堂側道路沿い	5100	300	800	15	6.4	0.43
23	天然抽出装置室 北	7300	300	1000	27	7.2	0.27
24	理A-2館 入口 西	4000	200	700	20	5.5	0.27
25	名古屋大学駅 3出入口	6600	800	2700	9	2.4	0.28
26	IB電子情報館 南 車出入口との間	7000	0	1200	258	5.8	0.02
27	図書館前広場 道路側	3400	300	600	11	5.7	0.50
28	経済学部 北 看板裏	7100	*100	1200	50	5.9	0.12
29	守衛室 西 横断歩道との間	3700	400	800	10	4.5	0.44
30	学内入構口と守衛室の間 コンクリート穴の隣	6400	0	1100		5.7	0.00
31	博物館 北 電灯のそば	6200	300	1100	22	5.7	0.26
32	大学広報プラザと自動販売機との間	7100	200	1200	29	6.0	0.21
33	豊田講堂 入口付近 自動ドア前	8500	600	1400	14	6.2	0.44
34	豊田講堂 北側 入口付近	12400	400	2800	29	4.4	0.15
35	豊田講堂前 広場	7000	500	1500	15	4.7	0.32
36	豊田講堂前 広場	7400	500	1600	15	4.8	0.31
37	豊田講堂前庭 学生歌石碑 ソテツ付近	6800		1200		5.7	0.00
38	豊田講堂前庭 ソテツ付近 電灯の南	7200		1100		6.6	0.00
39	名古屋大学 石碑裏 東	4500	400	1000	12	4.7	0.39
40	地下鉄改札行地下道 証明写真機そば	8300		1000		8.1	0.00
41	E527 入口	9900	400	1300	22	7.8	0.35
42	アイソトープ総合センター 横	4000	0	700		5.5	0.00
43	野依記念物質科学研究館 1F	8500	400	1900	21	4.4	0.21
44	年測第1実験室前	4300	0	600		6.7	0.00
45	環境調節実験室 横	7900	*200	1300	42	5.9	0.14
46	危険物薬品庫付近	5700	300	900	18	6.1	0.33
47	農学部前の道路沿い	5200	200	900	22	6.1	0.28
48	農学部前の道路沿い	4900	*200	800	35	6.1	0.18

測定番号	測定場所	K**	U**	Th**	K/U	K/Th	U/Th
49	農学部前の道路沿い 温室の前	4300	200	700	19	6.6	0.34
50	農学部温室 温室の間	4900	*200	700	31	6.8	0.22
51	貯水池前 建物のそば	6100	200	1000	28	6.2	0.22
52	工6号館 建物のそば(放射線取扱)	6800	0	1100		6.4	0.00
53	農学部実験鶏舎	4200	*100	600	63	6.7	0.11
54	農学部車庫	6800	0	1000		6.6	0.00
55	農学部 坂	10500	208	1600	50	6.4	0.13
56	農学部 測定室	5800	0	800		7.6	0.00
57	野依記念館 1F 壁際	2500	*0	400	59	6.2	0.10
58	環境医学館前	3600	*200	600	21	5.9	0.28
59	環境医学館中	9000	300	1500	34	6.0	0.18
60	農学部温室付近 林のそば	2900	0	400		7.5	0.00
61	理C館 入口付近	5900	200	900	27	6.2	0.23
62	理E館 入口 手前	7900	400	1400	22	5.9	0.26
63	理C館 自転車置き場前	5900	300	1100	17	5.3	0.31
64	理学館と野依記念館の間	7700	400	1100	21	7.0	0.34
65	理カフェ前	6200	200	900	27	6.6	0.25
66	Craig's café 前	5600	400	800	14	6.6	0.49
67	保健管理センター前	6900	*200	1100	35	6.6	0.19
68	危険物薬品庫前	7800		1000		7.8	0.00
69	超高圧棟前	7900	500	1300	16	6.1	0.39
70	理A館と理B館の間 自販機の横	8700	500	1300	17	6.7	0.39
71	極低温実験室 横	5700		800		7.0	0.00
72	工学部4号館 横	7500		1100		7.0	0.00
73	工学部4号館 連絡通路	8400	300	1200	26	7.2	0.28
74	工学部4号館と工学部5号館の間	8600		1100		7.6	0.00
75	建築金属実験棟前	8300	*100	1100	110	7.7	0.07
76	環境総合館 入口	6300	*0	1100	130	5.8	0.04
77	理C館と理B館の間	7900	400	1200	22	6.7	0.30
78	理E館前 喫煙所	5300		800		6.5	0.00
79	理学館 喫煙所	12500	400	2100	32	5.9	0.18
80	理E館・理G館連絡通路	7500	400	900	18	8.1	0.45
81	理E館内 ホール前	6800	400	1100	20	6.3	0.32

注1) 表に掲げたカウント数は、十の位を四捨五入した値である。

注2) *が付いた値は、測定誤差が±50%を超えるものである。

注3) 空欄はROIが表示されなかった(値の表示がなかった)所である。

注4) K**, U**, Th** はそれぞれ、40K, 214Bi および 208Tl からの放射線の計測数である。

注5) 表の見出し K/U, K/Th および U/Th は、計測数(カウント数)の比である。

湖に矢田川累層として堆積した地層が、第四紀洪積世になって再堆積した砂礫層とされる。河川による砂礫の運搬と再堆積は、カリウムを含み風化に弱い長石や雲母の破壊と元素の溶脱を促進する。この地域が特にカリウムに乏しい事は、地質学的な解釈と符合する。

トリウムの娘核種 ^{208}Tl からの 2614keV の γ 線は、最も多い豊田講堂北側入り口(#34)の2800カウントから、もっとも少ない環境医学研究所や農学部温室付近の400カウントまで、数倍の地点差が見られた。この地域の平均は約1000カウントである。 ^{208}Tl からの放射線量の分布を図4bに示す。線量が多いのは、カリウムも多かった豊田講堂北側入り口(#34)、理学館喫煙所付近(#78)および地下鉄名古屋大学駅3番入り口(#25)である。逆に少なかったのは、カリウムも少なかった環境医

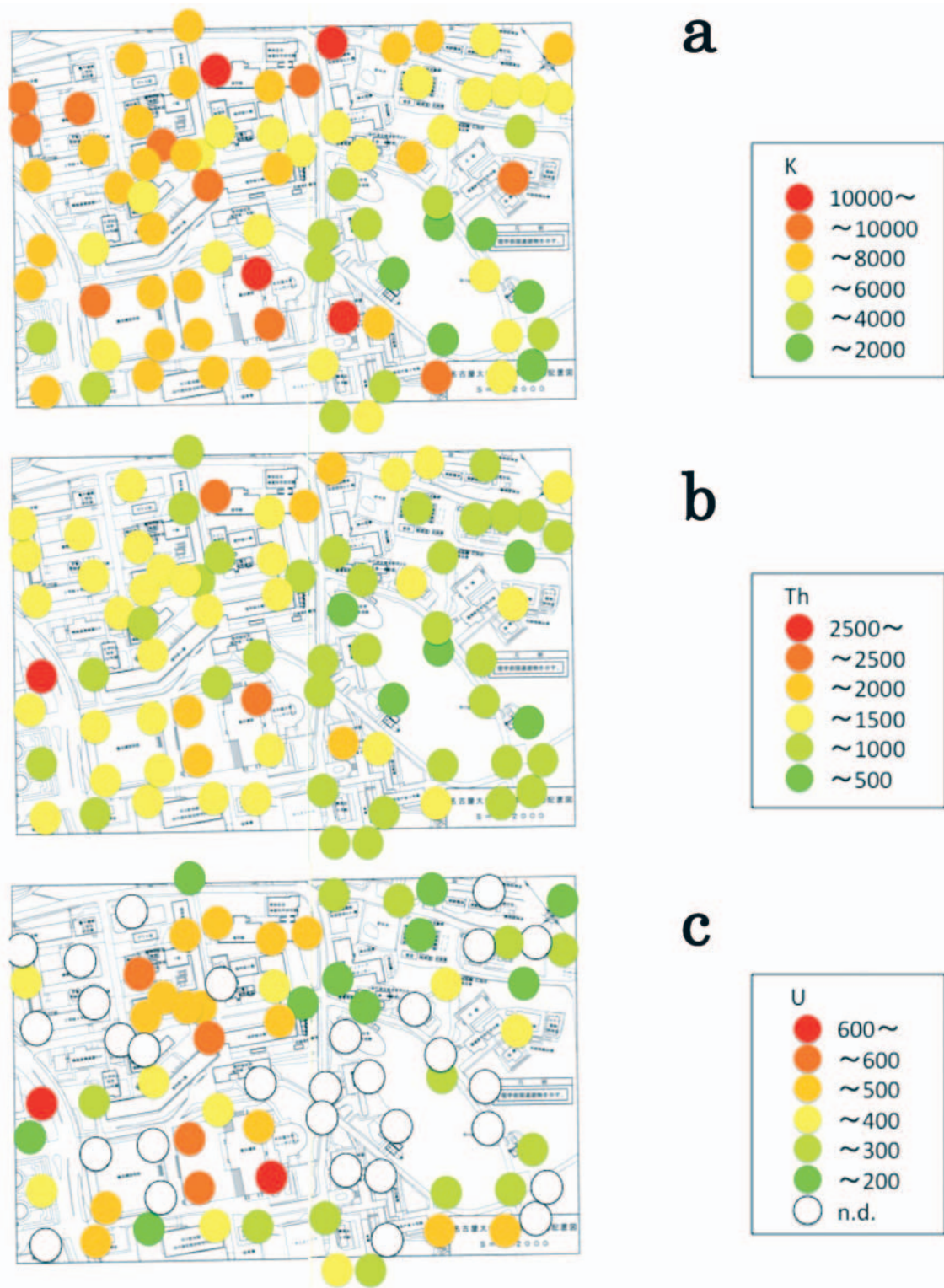


図4：a) ^{40}K (1461keV)、b) ^{208}Tl (2614keV) および c) ^{214}Bi (1764keV) からの放射線量（カウント数）の分布。それぞれ、カリウム、トリウムおよびウランの分布に対応する。

学研究所周辺の野外で、400～600カウントを示す場所が多数見られた。

ウランの娘核種 ^{214}Bi からの1764keVの γ 線は ^{40}K や ^{208}Tl からの放射線に比べて少なく、ピークとして認識されなかった（表1中に横棒で表示）場合もある。 ^{214}Bi からのこの放射線量の分布を図4cに示す。最も多い地下鉄名古屋大学駅3番入り口（#25）では、800カウント、豊田講堂周辺では400

～600カウントが検出されている。検出下限を含め、平均は約200カウントである。

放射線の強度とそのソースの関係を調べるため、それぞれの放射線強度の相対関係を図5に示した。図5では、測定場所がコンクリート等人工物に隣接する場合と、測定環境の主体が自然界である場合とに大きく区分した。K-U, K-Th, U-Thのいずれの組合せ(図5 a,b,c)においても、人工構造物に隣接する場所での放射線量が大きく、天然の砂礫の分布する場所では低い値を取る事が多かった。しかし、これは人工構造物自体が単位体積あたり放出する線量が多いのか、人工構造物ではその壁面

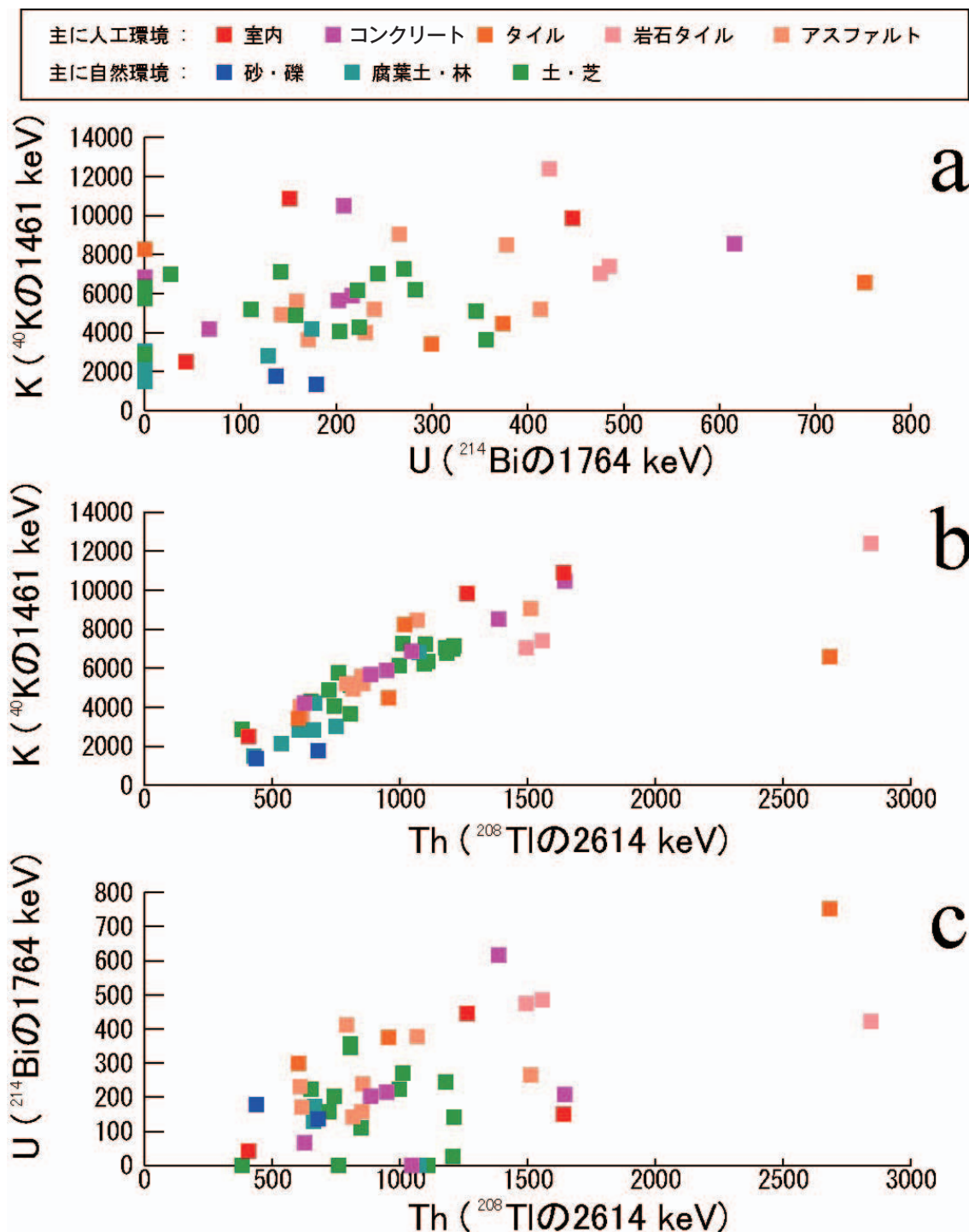


図5：カリウム、トリウムおよびウランに起源を持つ、 ^{40}K (1461keV)、 ^{208}Tl (2614keV) および ^{214}Bi (1764keV) からの γ 線量(カウント数)の比。

(場合によっては天井)など線源となる面が広がったことによるのかは明確でない。たとえば豊田講堂西のピロテイー(#35, #36)と隣接する芝生面(#37, #38)では、ウランを除き、大きな違いはない。しかし、前述の環境医学研究所周辺のカリウムは、線源の面積の広い狭いには帰せられないほど、カリウムの線量が少ない。砂礫層でカリウムが少ない事は、明白である。チャートを含む砂礫層にカリウムが少ない事は、ユーフラテス河の氾濫源堆積物でも指摘されている。さらに、図5で明らかのように、K-Th-Uの間で、K-Thの間にのみ高い相関が読み取れる。二つの元素にかかわる鉱物として、モナズ石と黒雲母が考えられる。モナズ石は黒雲母の中にアクセサリー鉱物として含まれる事が多いので、そのような黒雲母の多少によって図5bに見られるカリウムとトリウムの相関関係が形成されたと考えられる。

結論：より効果的な教育の為に

学生は、場所により放射線量が大きく異なる事に気づいた。その違いは、自然界での違いよりも、自分たちが生活する人工構造物によることも理解した。そして今回の授業の終わりに学生から出て来たもっとも大きな疑問は「人体への影響はないのか？」である。この授業は大成功であった。この疑問は記憶され、今後自分たちで学んで行く内容であろう。次は、より広い自然界、たとえば花崗岩地帯と玄武岩地帯、海辺と高山と航空機内、などに目を向けるなら、スペースシャトルの紹介で出てくる宇宙線の人体への影響についての解説も理解できるようになろう。最後に目を向けるのは、原子力発電と放射性廃棄物の問題である。これも判断するのは学生自身である。そして、その判断能力を身につけさせるのが、本環境学研究科の役目であろう。このテスト授業が、将来に長く続く事を願うものである。

文 献

- 坂本 亨・桑原 徹・糸魚川淳二・高田康秀・脇田浩二・尾上 亨(1984)名古屋北部地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅)地質調査所, pp64.
- 田中 剛(2009)テル・ガーネムアリの土はビシュリ台地から運ばれた? —天然放射線を用いた土壌対比の試み—文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究「セム系部族社会の形成」ニュースレター No.15, 7-9.
- 西澤邦秀・飯田孝夫編(2006)放射線安全取扱の基礎(第三版)名古屋大学出版会, pp.189.
- 文部科学省(1990)空間 γ 線スペクトル測定法。放射能測定法シリーズ No.20, pp114.

(2009年11月18日受付, 12月18日受理)