

野川流域の自噴井、濡水、地下水中のラドンの
分布と環境放射能への寄与に関する研究

1 9 9 0 年

堀 内 公 子

東京都立大学理学部助手

目 次

§ 1	緒 言	1
§ 2	ラドン族元素と肺癌	1
§ 3	実 験	3
3.1	水中のラドンの定量・積分計数法測定	3
3.2	水中のラジウムの測定	4
3.3	オープンバイアル法	4
3.4	大気中ラドン濃度の測定	11
3.5	土壌表面からのラドン逸散率の測定	11
3.6	その他の測定事項	16
§ 4	結 果 及 び 考 察	16
4.1	湧水中のラドン濃度の季節変化	16
4.2	水の滞留時間とラドン地下水	20
4.3	流水からのラドンの放出	20
4.4	野川湧水中のその他の化学成分	26
<	参 考 文 献 >	36

§ 1 緒 言

人間は自然放射線源からの電離放射線にたえずさらされて来ており、地球誕生以来地殻の中に存在する天然崩壊系列のウラン及びトリウム系列元素によって体外及び体内から被曝している。

1982年の国連科学委員会（UNSCEAR）の報告によると正常地域での自然放射能の半分、即ち50%がウラン崩壊系列中の希ガスラドンを主体とするものとされていたが、1988年の報告ではその値が70%にも達していると報告された。

ラドンは土壌中や岩石中に分布している親核種金属元素ラジウムがアルファ線を出して崩壊する際約100keVの反跳エネルギーを得て20~70nm程度の結晶構造（岩石層）を通過し、チャンスに恵まれると亀裂、空間にガスとして逸出する。ラドンの空気、水、土壌等の中の拡散距離はさほど大きくはないが、地下水等が介在するとその移送される距離は極端に伸び、数kmにも達する。したがって地下水の流れによって移動し、亀裂、空隙を通して上昇し、土壌表面や、地下水、湧水として地上に到達する。

多摩川の支流野川は東京の郊外、国分寺恋ヶ窪付近を源として国分寺崖線に沿って流下し、二子玉川で多摩川に合流しており、国分寺崖線の武蔵野礫層から湧き出す湧水に養われている。この付近は湧水のある公園や、神社のある郊外の住宅地として発展して来ている。

前述のように地下水や湧水には、その流域の地層や地下水等の流動機構にもよるがラドンが多く含まれている。また礫層は花崗岩層に次いでラドン放出率の高い地層でもある。そこで著者等は①人間の居住地域、即ち野川流域の湧水中に含まれるラドン量の測定、②湧水が川となって流下するに伴って年間放出されるラドン量の概算、③放出されたラドンによる附近住民の被曝線量の推定等を目的として本研究をスタートした。

§ 2 ラドン族元素と肺癌

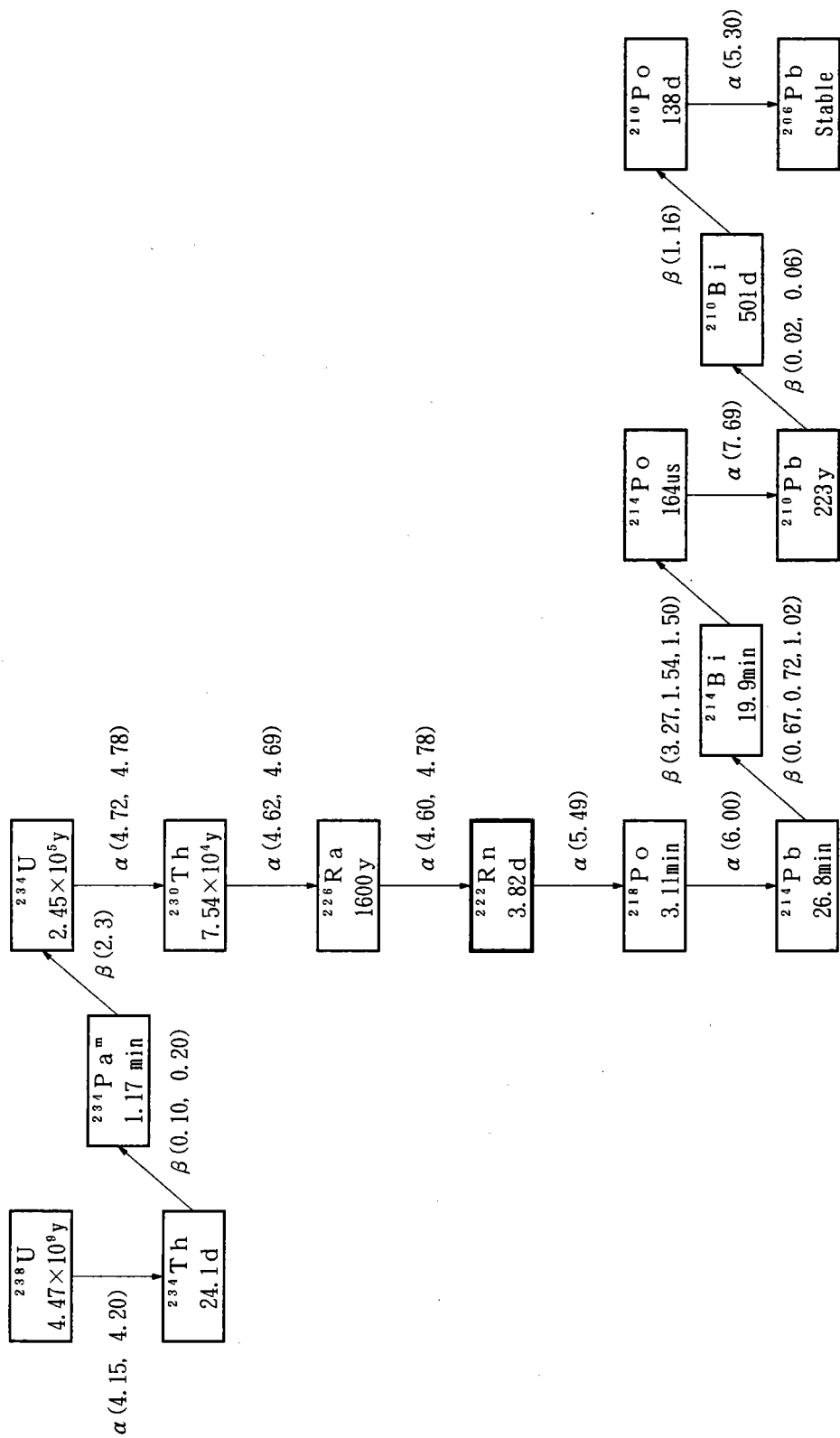
ラドン $Rn(^{222}Rn)$ はウラン系列（図1）の放射性希ガスで半減期 3.825日で崩壊し、放射能発見の極めて初期からその存在が確認されてきた。トリウム系列の同位体トロン $Tn(^{220}Rn)$ と共に、主として地殻構成物質中に地球創生期より存在する天然放射性元素である。

ウラン系列は、半減期45億年の ^{238}U から出発し安定核種 ^{206}Pb に至るまでに種々の半減期をもつ19種の元素が確認されている。ラドンは崩壊系列のほぼ中央に位置し、 α 崩壊する。

ラドンが肺癌の原因であることは現在では周知であるが、16世紀以来鉱山労働者にシュネーベルグ病として恐れられていた病気がラドンとその娘核種に起因することをLorenzが1944年にはじめて指摘した¹⁾。それ以来欧米ではウラン鉱夫や蛍石鉱夫に関する研究が数多くなされ、近年には推定被曝線量と発癌実数との関係についての報告もある²⁾。

ラドンは図1からもわかるように α 崩壊し ^{218}Po になる。この ^{218}Po は約3分の短かい半減期でやはり α 崩壊する。こうしてラドンの娘核種は次々と崩壊し ^{210}Pb まで崩壊したとき ^{210}Pb の半減期が22年と長

図1 ウラニウム崩壊系列 ($4n+2$)



いため崩壊は一応ここで終了したとみなすことが出来る。ラドンから ^{210}Pb に至る迄には α 崩壊核種が3個、 β 崩壊核種が2個存在する。

気体であるラドンが呼吸作用で人体にとり込まれると崩壊により生成したラドン娘核種は気管支の通風路の表面に沈着し、粘液繊毛のエスカレーター運動により気管支へ運ばれる。そのためラドン娘核種の α 線によりリスクを負う細胞は、気管支上皮の基底細胞層内であると仮定されている³⁾。これらは気管—気管支基底細胞層と肺上皮及び肺泡領域と繊毛を持たない末端細気管支を含む。一方、長寿命の ^{210}Pb 、 ^{210}Po 等の場合は呼吸器に沈着した放射能のうちかなりの割合が肺以外の組織、特に骨や腎臓に移行するので肺癌の直接の原因とはなりにくい。

ラドンによる肺への影響とは実際にはラドン娘核種による寄与であり、人体被曝線量等の算出には半減期が長いためにあまり影響の強くない ^{210}Pb に至る迄の全 α エネルギー、即ちポテンシャル α エネルギー*を求める必要がある。また鉱山労働者の作業環境の規制はラドンの空気中濃度をWL**（作業レベル）単位で表示している。

* ポテンシャル α エネルギー (Potential Alpha Energy) : (MeV/atom)

1個の原子がその壊変過程で放出する全 α エネルギーの和。これは人間の肺に対する放射線の効果を見る為に導入されたもので崩壊系列のうち半減期の長い α 線、 β 線、 γ 線は肺への効果が少ないので無視される。

**ワーキングレベル (Working level) : WL [1.3×10^5 MeV = 2.08×10^{-5} J/m³]

^{222}Rn の場合 : $1 \text{ WL} = 100 \text{ pCi} / \ell = 3700 \text{ Bq} / \text{m}^3$

空気中の α 線のエネルギーを示す尺度。即ち1 ℓ の空気中に存在するラドン族から放出される α 線のエネルギーの和が 1.3×10^5 MeVであるとき、そのラドン族の濃度を1WLと云う。

§ 3 実 験

3.1 水中のラドンの定量 (トルエン抽出 — 液体シンチレーションカウンター (以下LSC) ・積分計数法測定。

水中のラドンの測定は著者等が開発した上記の方法でおこなった^{4) 5)}。

試料水は出来るだけ静かに湧出口からロート付きポリエチレンパイプを用い、サイホン方式で1 ℓ の中ぶた付きポリエチレンびんに採取する。試料水はびんの口からしばらくオーバーフローさせた後びんの胴を押して余分の水を捨てて1 ℓ とし、液体シンチレーター (以下LS、PPO 4g/ ℓ 、POPOP 0.1g/ ℓ トルエン溶液) 40mlを加えて1分間はげしく振とうして水中のラドンをトルエン層に抽出する。トルエン層はHM分取管を用いてLSC測定用低カリガラスバイアルに移して測定試料とする。

この方法はラドンがトルエン等有機溶媒に非常によく溶けることを利用して水中のラドンをトルエ

ンベースのLSで抽出し、LSCで測定するものである。LSに溶け込んだラドンは順次崩壊し、半減期22年の ^{210}Pb に至る迄の5核種の間で抽出後3時間10分以降に放射平衡に達するため、測定は放射平衡成立以後におこなう。操作方法は簡便で同時に5核種の放射能を測るため感度が5倍になる。

3.2 水中のラジウムの測定

水中のラジウムの測定は著者等が開発した密栓到立法を用いておこなった⁶⁾。1ℓのガラス瓶に試料水1ℓとLS40mlを入れてテフロン栓で密栓し、びんの上部の空気層中のラドンが栓の部分から漏出しないように到立して10~14日放置する。その間に試料水中のラジウムから生成して来るラドンを共存させて放置したLSにより抽出し、ラドンの測定法に準じてLSCで積分計数法を用いて測定する。得られたラドン量と平衡量にあるラジウムが算出出来る。

同一の試料を用いた水中のラドン、ラジウム測定法のスキームは図2に示した。本法を用いて測定した野川川水、及び各定地点(後述)における湧水中のラジウム、ラドンを同時に採取した試料から定量した結果を図3、4に示したが両者は明らかに放射平衡にはなくラドン濃度が1~2桁高いことがわかる。これはガス体であるラドンの動きの方が親核種ラジウムより大きく、自由であることを示している。

3.3 オープンバイアル法

著者等はラドンが有機溶媒に易溶であることを利用してLSを入れたバイアルのキャップをはずし測定したい雰囲気内に暫く放置し、分配により直接LSに溶け込んで来るラドンを測定するオープンバイアル法を開発し、土壤空気中のラドン濃度を測定した^{7) 8) 9)}。本法の測定法のスキームは図5に示した。

本研究ではこの方法を応用した地表面からのラドン逸散率の測定法を検討した。

まずその基礎的な実験として高放射能泉で有名な山梨県増富温泉の不老閣岩風呂脇の土壤(風化花崗岩質)を実験室へ持ち帰り、ポリプロピレン製のタイトボックス(5.93ℓ)に土壤の厚みが一樣になるようならして入れた。Fanで容器内の空気を追い出して新しい空気を入れ、中央にオープンバイアルを一定時間セットし、LSCで測定すると放射能が得られた。得られた放射能がラドンであることを確認するためにくり返しLSCで測定して放射能の減衰を調べると共に測定試料の γ 線スペクトロメトリーをおこなった。その結果は図6に示したが、ラドンの娘核種 ^{214}Pb (352keV)、 ^{214}Bi (609、1120、1764keV)の γ 線のピークがはっきりと認められた。

次にタイトボックス内に時間を変えてセットしたオープンバイアルに分配したラドン濃度を片対数グラフにプロットした(図7)。オープンバイアルをセットする時は毎回タイトボックス内の古い空気をfanで追い出しては新しい空気を入れ換え、1時間から28.7時間迄放置した。

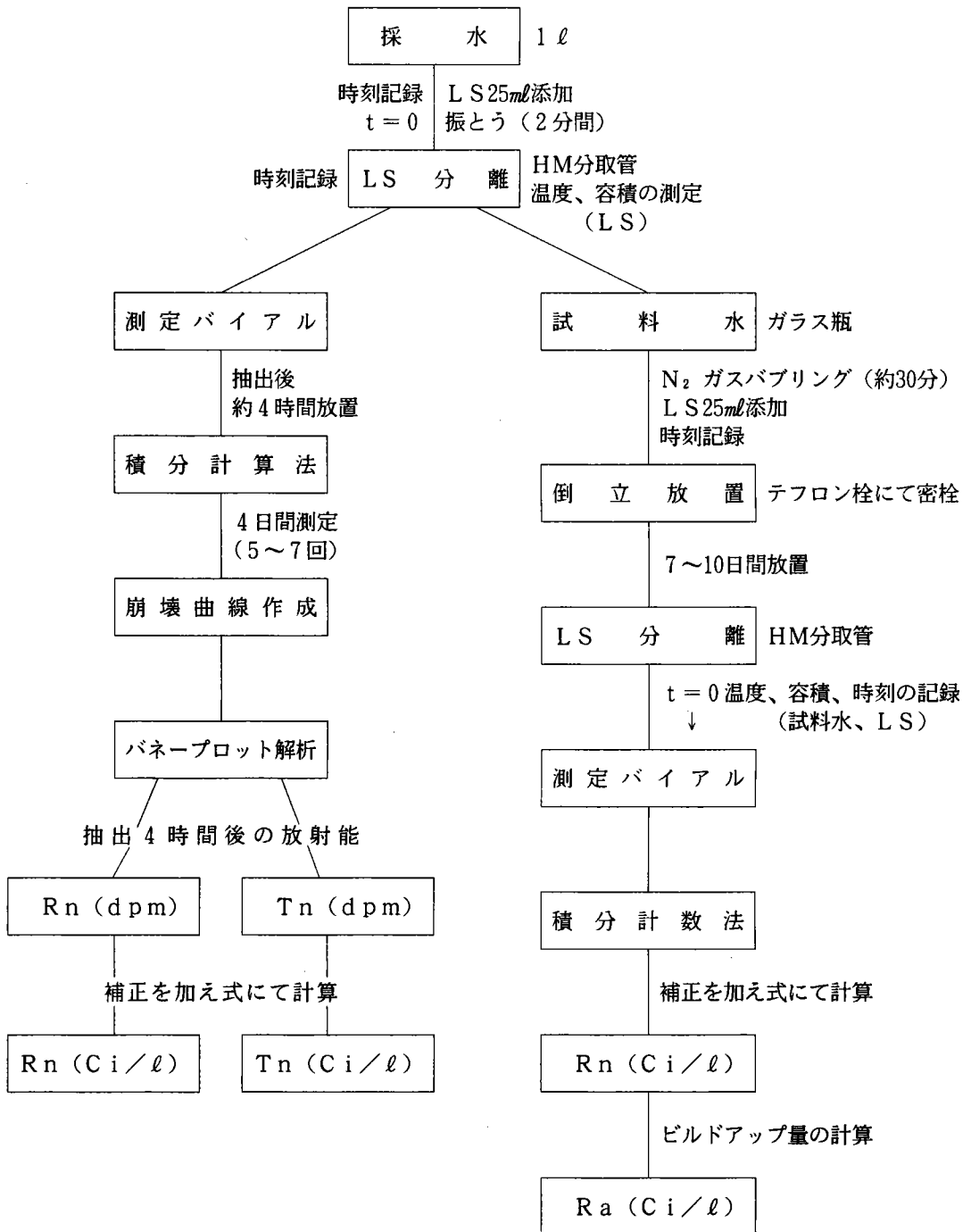


図2 ラドン、トロン、ラジウム同時定量法のスキーム

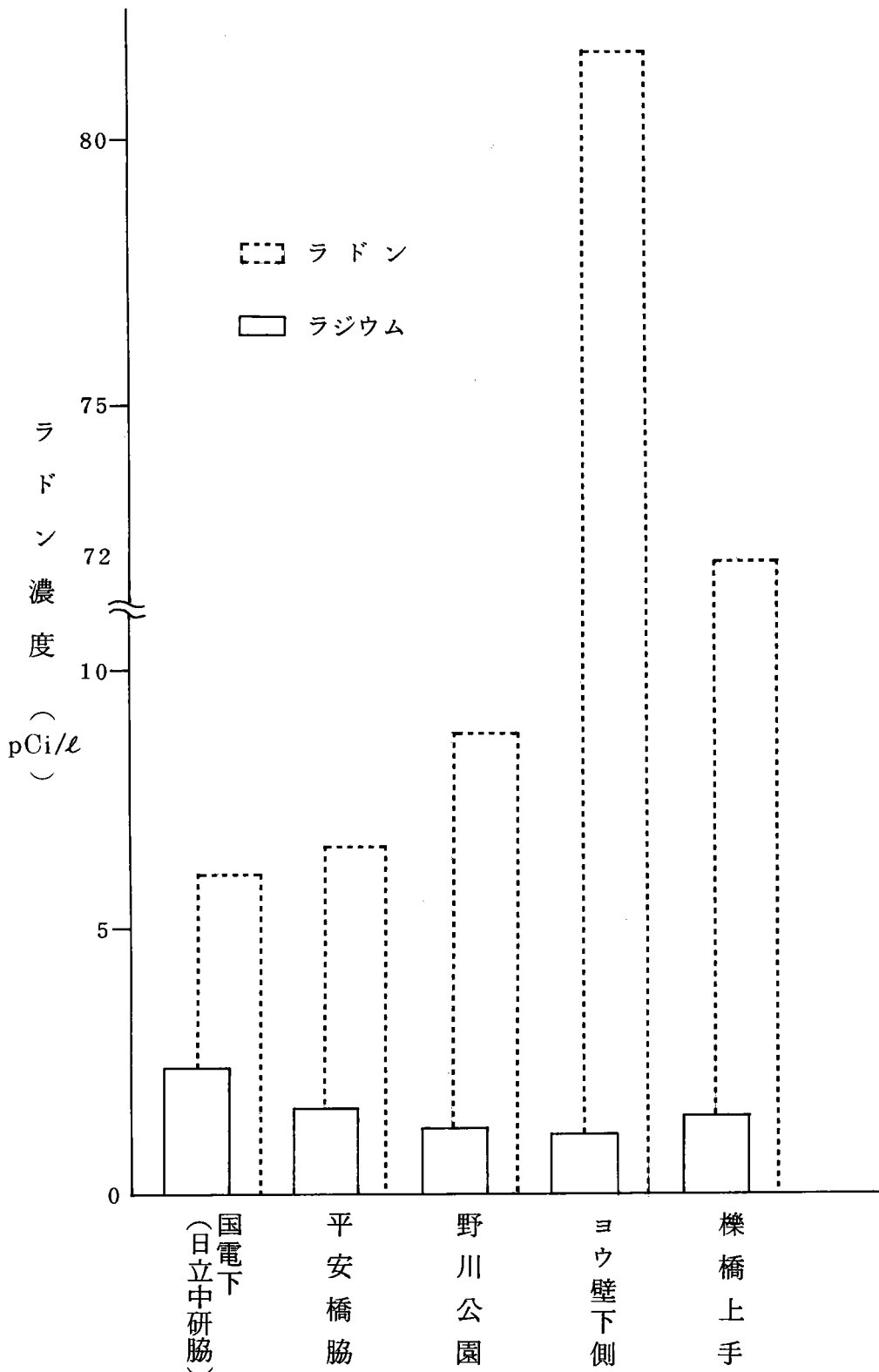


図3 野川川水採水地点

図4 天然水中のラジウム・ラドン濃度

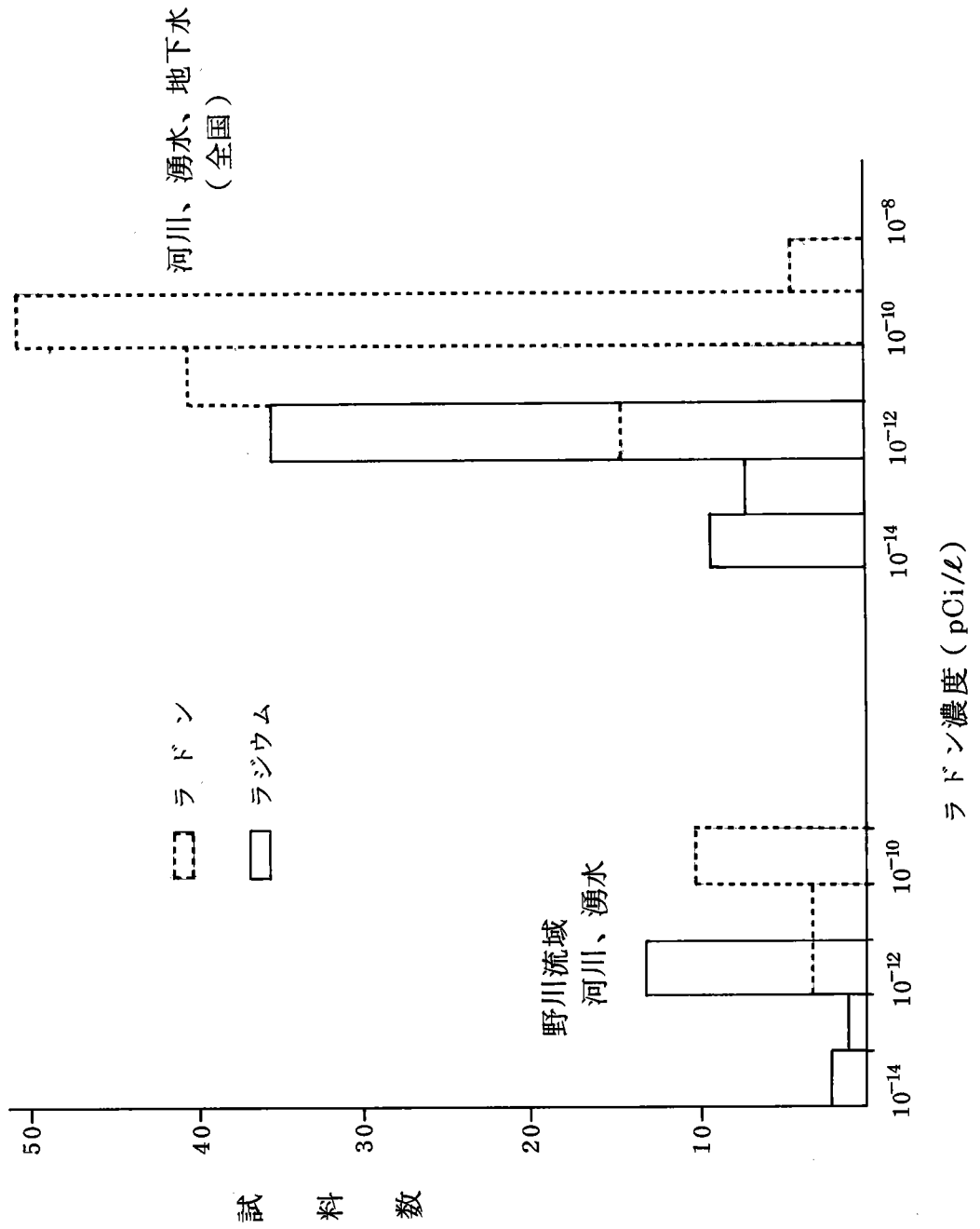
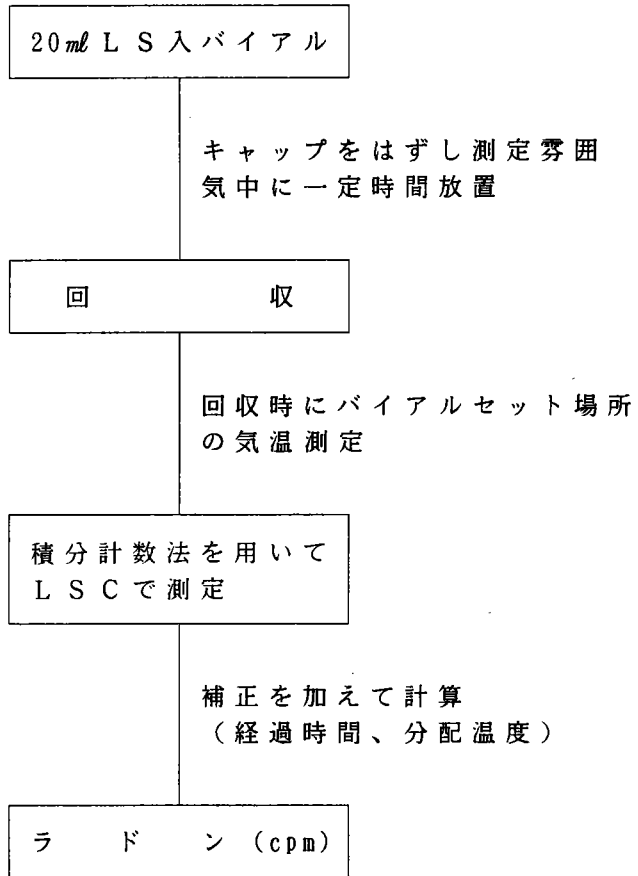


図5 オープンバイアル測定法スキーム



検出限界
 $1.85 \times 10^{-2} \text{ Bq}$

ラドン濃度の算出方法 cpm → Bq

計数率

$$A \cdot \text{Bq} = N_{\text{cpm}} \times e^{-\lambda t} \times \frac{1}{60 \times 5}$$

$$= 3.33 \times 10^{-3} \times e^{-\lambda t} \times N_{\text{cpm}}$$

セッ時間の中央値から
 測定時刻迄の経過時間。

図6 オープンバイアル法によりとけこんだ ^{222}Rn の娘核種の γ 線スペクトル

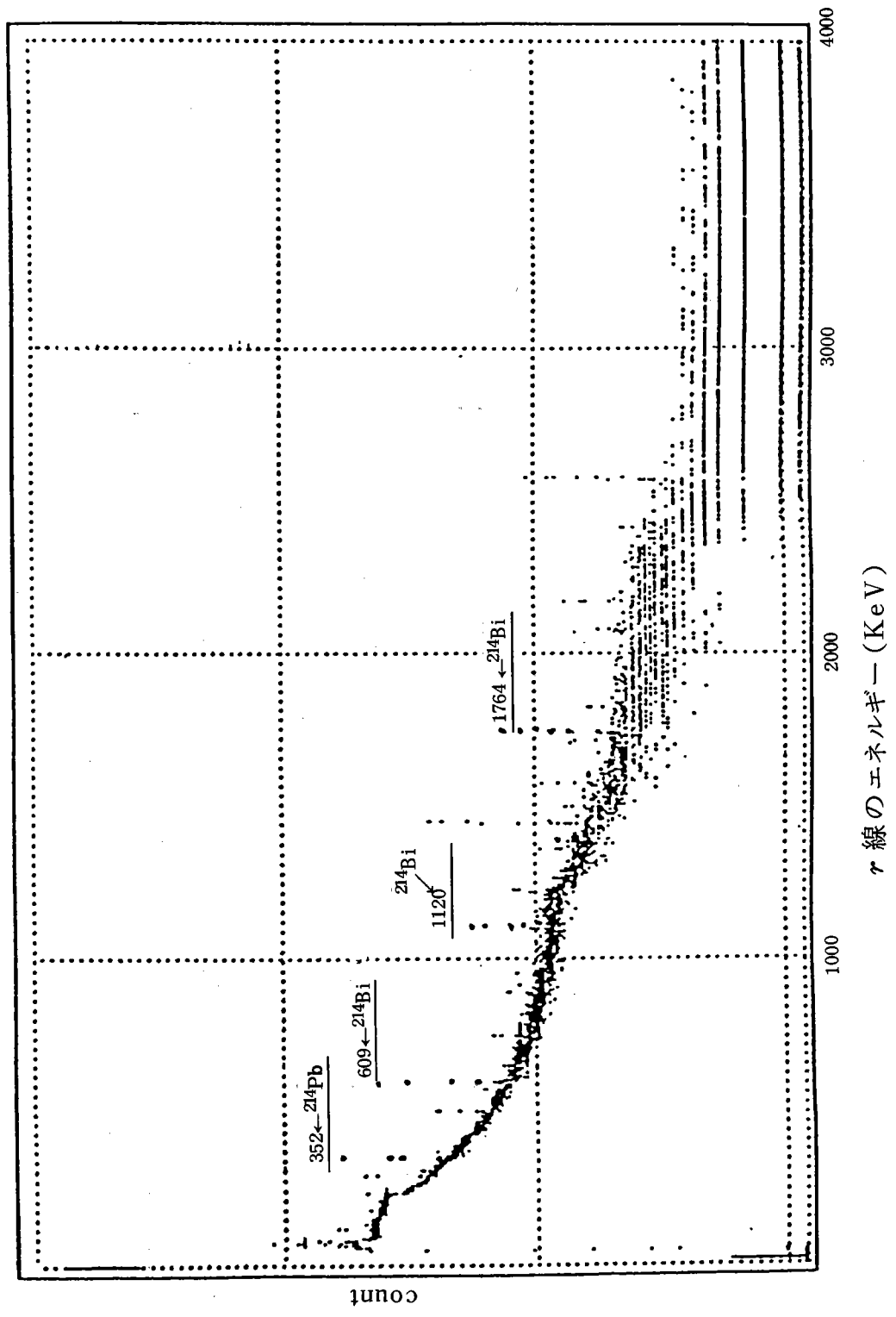
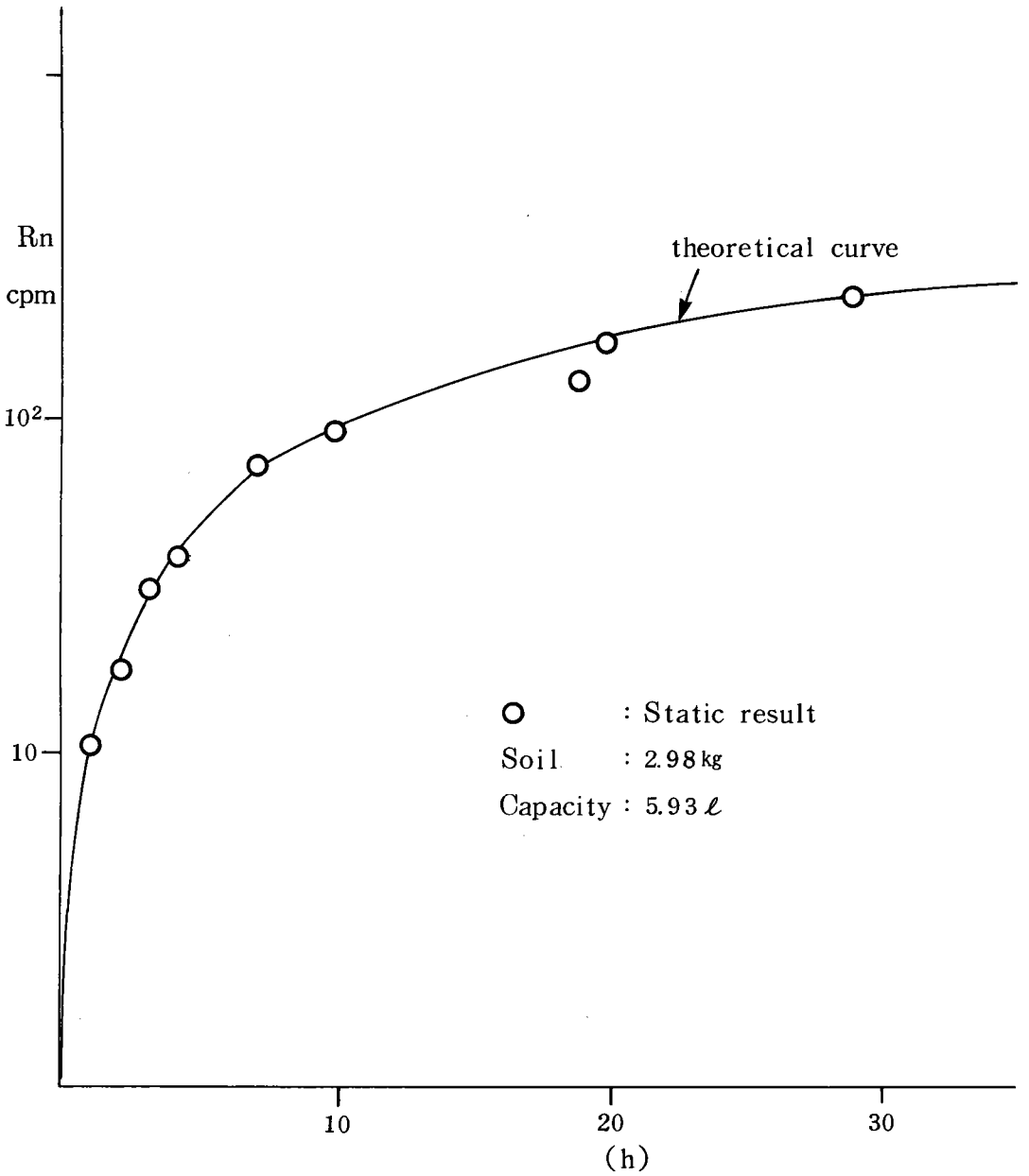


図7 Build up curve of Rn from Ra in Soil (Masutomi)



得られた図はラドンのビルドアップ曲線と同一のカーブを示すことがわかった。また容器内のラドンはセット時間の間に積算されて増加するのではなく、回収時刻迄放置される間に土壌から容器内にビルドアップして来た容器内ラドン濃度に反映した値を示すことがわかった。

この結果は濃度既知のラジウム水を用いたガラス製密封容器による実験で得られた結果と同一であった。ラジウム水からビルドアップして来るラドン濃度をガラス容器内のラドンを逃がさないようにしながらオープンバイアルを1時間づつセットした結果である(図8)。

3.4 大気中ラドン濃度の測定(ペッテンコーフェル法の応用)

オープンバイアル法による大気中ラドン濃度の測定を検討した。オープンバイアルを測定雰囲気内にsetすると分配により空気中のラドンがLS中に溶け込んで来る。この方法により大気中のラドン濃度を測定する場合、バイアルの周囲どの位の範囲の空気が分配に関与してくるかを検討するために次の実験をおこなった。

1ℓの下口びんに蒸留水1ℓ、LS40mlを加えて台の上ののせ、下口にとりつけたシリコンパイプから流量を調節しつつ静かに蒸留水を流下させた。流下開始と同時に下口びんの上の口とLSをいれたバイアルの口が水平になるように(下口びんの肩の位置)オープンバイアル3本をセットした(図9)。下口びんの蒸留水の流下が終了した時点でオープンバイアルは回収して測定試料とし、下口びんは上下両方の口にシリコン栓をして1分間はげしく振とうした。振とう後しばらく放置してからLSの一定量(20ml)をバイアルに移して測定試料とし、LSCで積分計数法を用いて測定した。また回収時における測定点附近の気温をはかった。

3.5 土壌表面からのラドン逸出率の測定

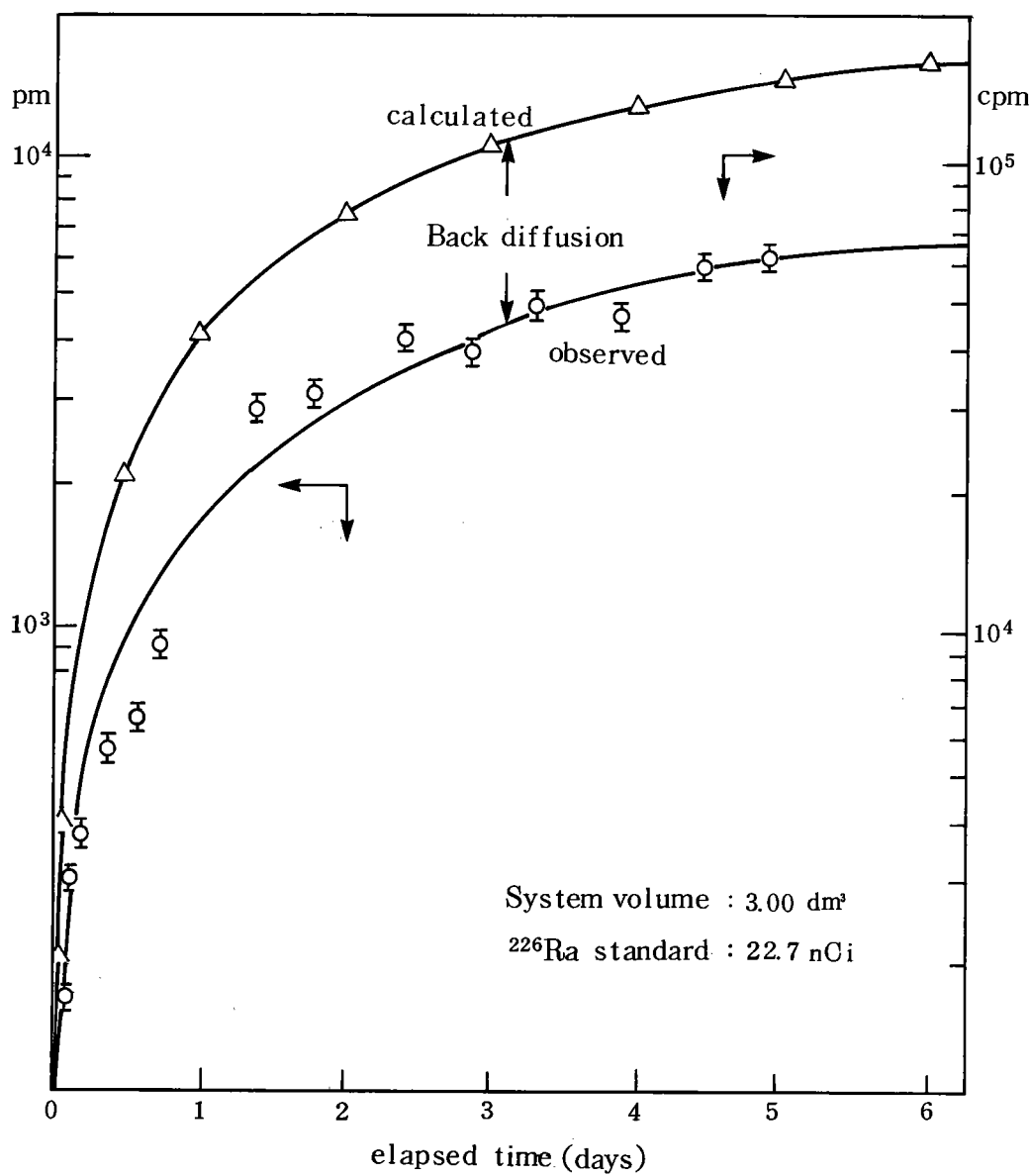
土壌表面にオープンバイアルをセットし、空気中へ拡散して来るラドンをLSにとかし込み、測定する方法を検討した。

増富温泉の土壌表面にオープンバイアルをセットし、ポリエチレン容器をかぶせ、一定時間放置した後バイアルを回収して放射能を測定した。また同一地域に容器を数個ならべ(容器間の距離は40~60cm)くり返しラドン逸出率を測定した。結果は図10に示した。カバー容器として10ℓ、15.5ℓ、22ℓの3種類の容器を用いておこなったがいずれも13~15時の時間帯にピークがみられ、いずれも同じ傾向を示しており、わずかな距離の差でも逸出率に微妙な差がみられた。土壌粒子の差や粒子間の空気等が微妙に異なるためと思われる。この結果からラドン逸出率を検討するには測定する時間帯を考慮する必要があることがわかった。

3.5.1 オープンバイアルスタティック法

図11に示す如く上記と同様キャップをはずしたLS入り低カリヤガラスバイアルを土壌表面にセッ

☒ 8 Build-up of Rn from Ra in a closed system.



Growth of Rn

$$A = A_0(1 - e^{-\lambda t})$$

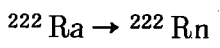


図9 下口瓶とOVによる空气中Rn濃度の測定の図

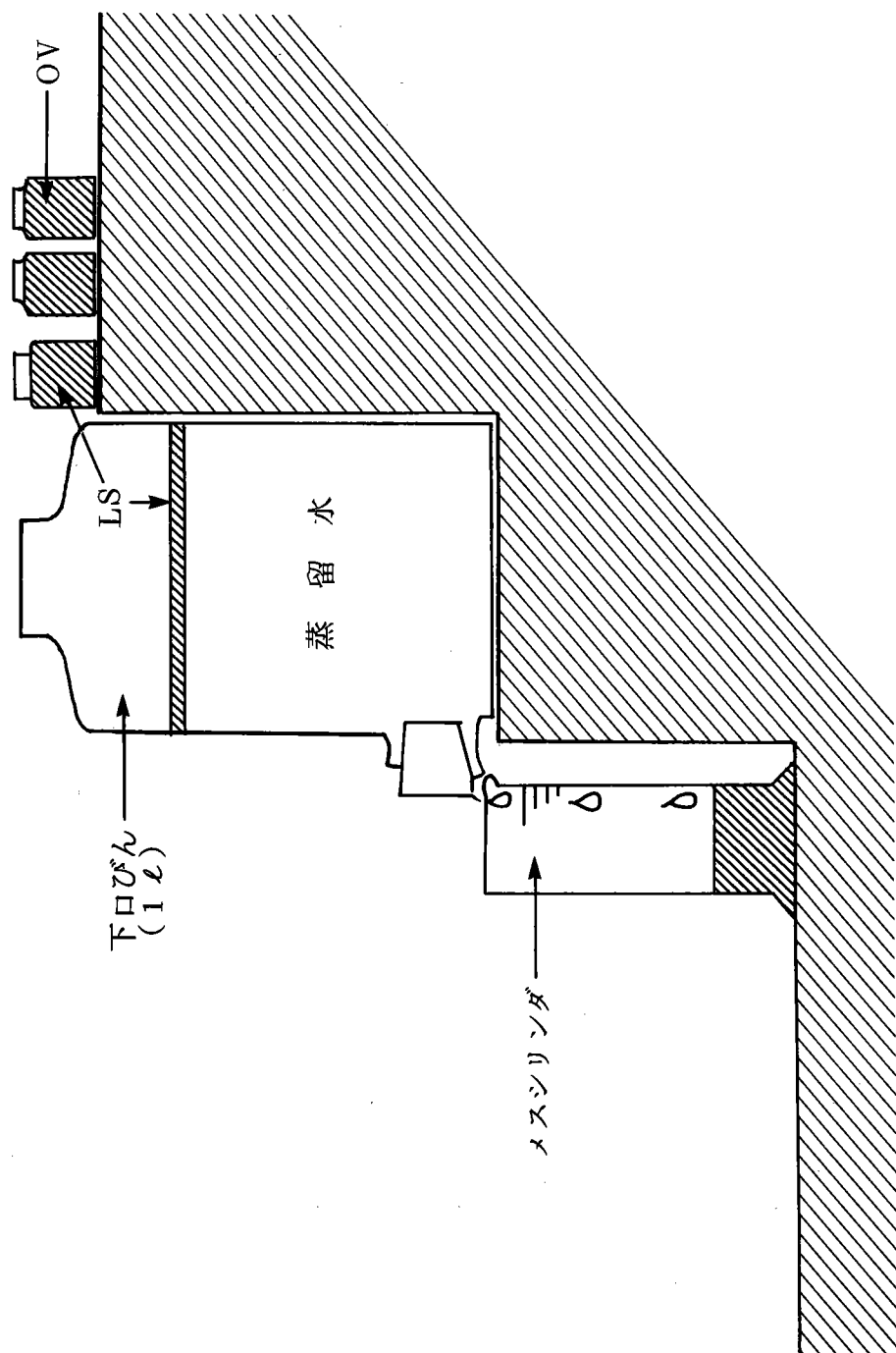


図 10 セット時刻とラドン逸出率

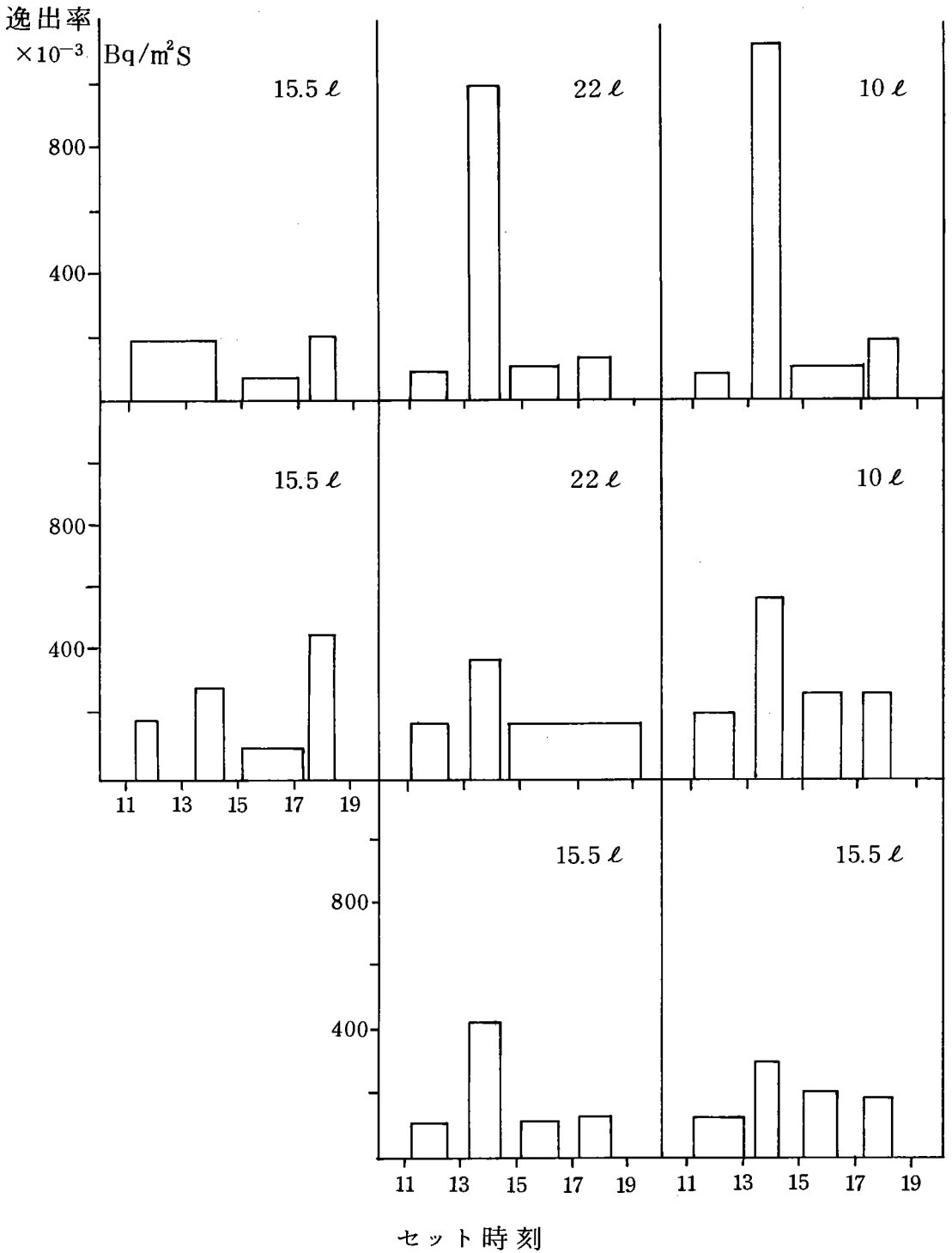
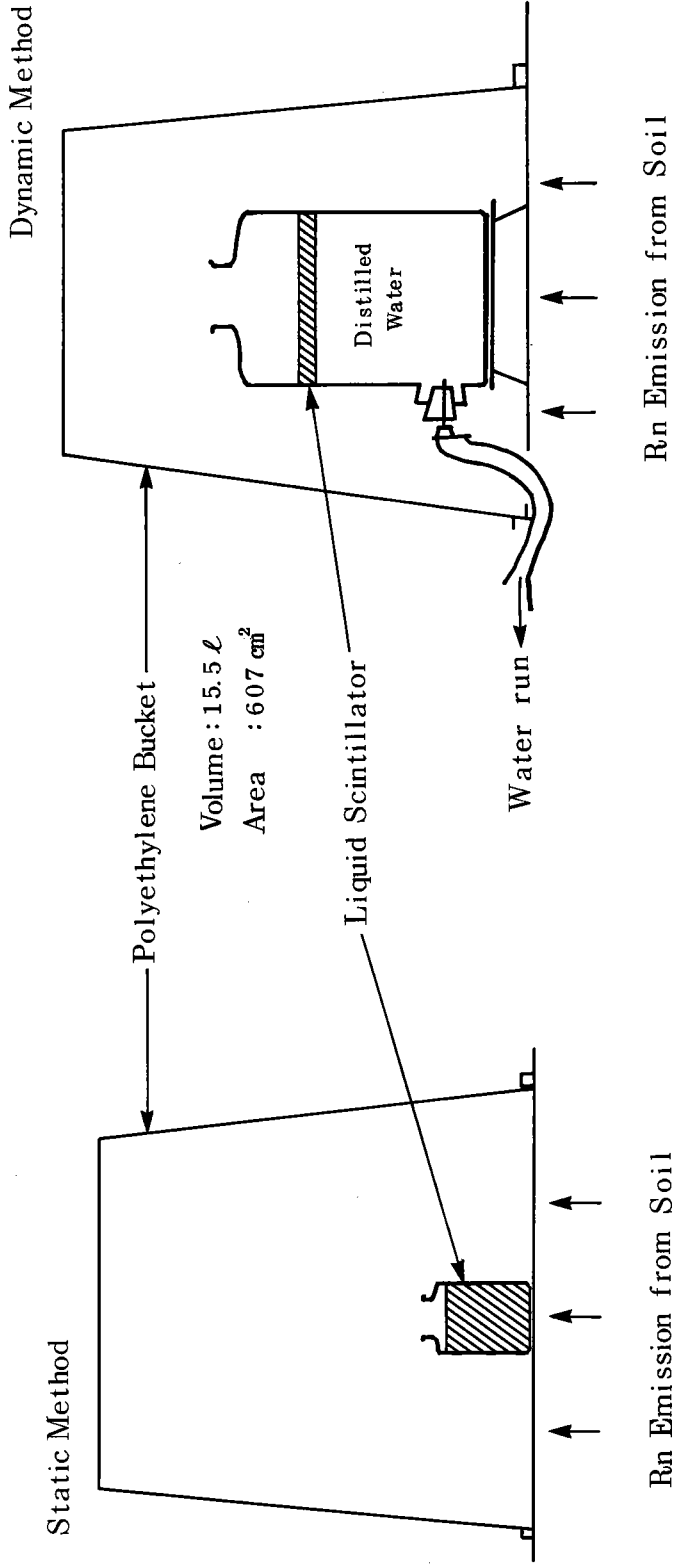


图 11 测量地面氡气排放率的静态法和动态法
 the Open Vial Static and Dynamic Method



トし、15.5ℓのポリエチレンバケツでカバーして一定時間放置し、土壤表面から容器内に拡散して来るラドン濃度を分配によりバイアル内LSに溶解せしめて測定し、バイアルにトラップしたラドン濃度より土壤表面からのラドンの逸出率を求める。

増富温泉に於いて放置時間の検討もおこなったが、本法はバケツでカバーすることにより密封状態になる。大気中のラドンの拡散係数は $0.1 \sim 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ であるから1～2時間の放置時間で容器内は均一濃度になるとした。

3.5.2 オープンバイアルダイナミック法

図11に示す如く土壤表面にさかさにかぶせた15.5ℓのバケツ内に蒸留水1ℓ及びLS40mlを入れた1ℓ下口びんを置き、下口にとりつけたシリコンパイプからびん内の水を一定時間かけて流下せしめた。速度を調節して1～1.5時間かけて下層の水のみを流下させ、細管にLSが入りはじめたら直ちに下口びんの上下二つの口にシリコン栓をしてはげしく1分間振とうし、下口びん内に残したLSによりびん内にとり込んだバケツ内空気中のラドンを抽出する。LS20mlを測定用バイアルに移し、測定試料とし、土壤表面よりのラドンの逸出速度を算出した。

3.6 その他の測定事項

野川流域の湧水のサンプリングの際には現地で水温、気温、pH、電気伝導度等を測定した。また各地点の試料中について陰イオンはイオンクロマトグラフィー、陽イオンはICPにより定量をおこなった。

§ 4 結果及び考察

4.1 湧水中のラドン濃度の季節変化

国分寺崖線からの湧水8地点、11ヶ所の採水（採水地点：図12）を定期的におこない、湧水中のラドン濃度を測定した。その結果は表1に示した。その結果の一部をプロットしたものを図13に示した。図13にはお鷹の道、万葉植物園、東京経済大学、殿ヶ谷戸公園のラドンデータを示したがほぼ同じ時期に測定された流量のデータも同時にプロットし、流量とラドン濃度との関連性を検討したがほとんど関連性はみられなかった。ラドンの定期測定時期と流量観測時期の重なる時間が短いので現状では関連性がみられなかったとおもわれる。

以前連続観測した琵琶湖湖岸湧水、琵琶湖湖底漏出水の場合は湧出量とラドン濃度に明確な関連がみられ¹⁰⁾、湧水等の流量が増すには降水の涵養量が増すことで、通常は流れない経路を水が通り、より多くのラドンをとかし込んで来る可能性があるからである。

又連続観測による湧水中ラドン濃度の季節的変動も明確にはみられなかった。より滑らかな変化を

図 13 野川湧水における流量およびラドン濃度の季節変化

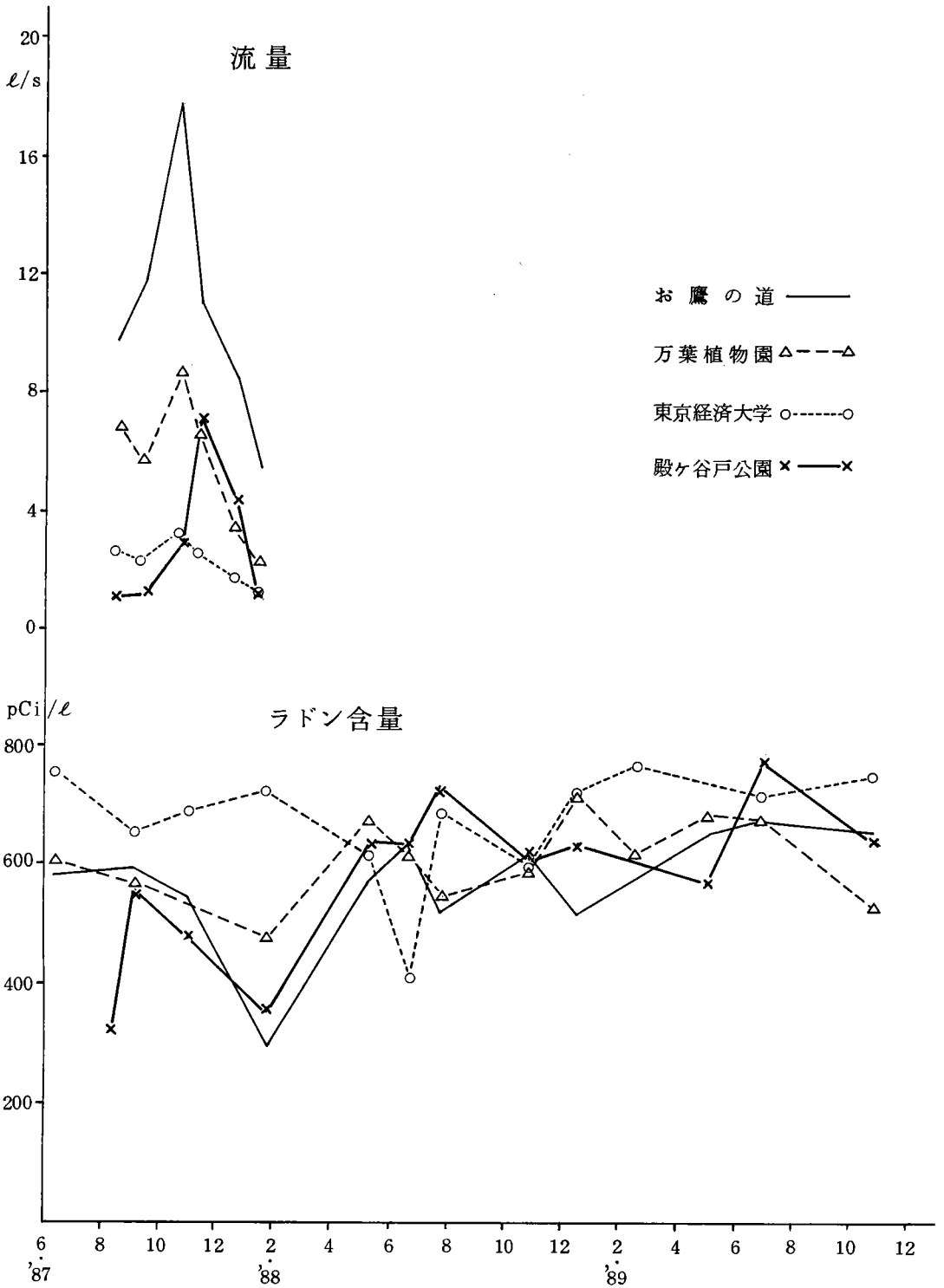


表1 野川湧水中のラドン濃度の季節変化とラジウム

調査地点	水温 ℃	PH	電導度 μScm ⁻¹	Ra pCi l ⁻¹	Rn pCi/l														
					62 6/10	7/21	8/10	9/3	11/2	63 1/26	5/7	6/17	7/22	10/28	12/15	1 2/15	5/1	6/26	10/25
お鷹の道	15.6	6.01	161	2.05	581	—	—	599	547	300	571	637	520	614	519	570	651	672	655
万葉植物園左	15.6	5.92	162	2.38	602	—	565	—	476	676	616	579	592	719	613	681	674	527	
” 右	15.6	5.95	163	2.44	469	—	—	—	415	367	613	543	612	710	678	687	627	661	
殿ヶ谷戸公園上	16.6	5.96	222	1.69	751	—	653	681	728	633	412	691	595	722	768	—	711	748	
” 自	16.6	5.96	113	2.60	419	—	329	—	411	489	340	467	438	434	512	—	500	406	
殿ヶ谷戸下	17.1	6.11	201	2.11	622	—	605	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
東経大東	15.6	5.86	191	2.03	—	—	322	563	472	351	641	635	763	605	634	(20)	570	771	641
” 西	16.0	5.86	199	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	673	—	—	639	—	
滄海泉園	15.6	6.03	185	1.58	—	532	476	531	562	—	617	624	685	611	669	632	622	635	678
” 橋下	15.8	5.79	164	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	613	530	606	—	—	
貫井神社	15.6	5.80	190	1.77	—	—	347	619	—	711	773	744	778	435	731	390	783	698	669
よう壁下	15.4	6.09	172	0.5≥	—	325	182	220	—	152	447	448	366	356	473	126	515	391	116
I C U 裏左	15.1	6.18	155	0.59	—	681	37.3	—	—	—	173	129	203	314	301	153	211	249	309
” 右	15.1	6.10	155	—	—	—	70.5	126	—	235	281	138	186	299	194	145	187	397	370

みるため三点スムーzingを行ってみたがやはり同様の結果を示した(図14)。

その理由として考えられることは、季節によって湧水量が少なく採水不可能であったり、公園内採水は休園にぶつかって出来なかったりで測定密度がやや荒かったこと、及びこの地方の湧水は降水のみでなく、上流部の生活排水による吸い込み井戸に依存している点もあげられよう。また家屋の増加、舗装道路の増加等の都市化の影響により降水は地下を涵養することなくダイレクトに下水へと流れ込んでしまう。こうした人間活動の影響が琵琶湖附近のかなり自然のままの状態(畑や山にかこまれた地域)に残っている地域でみられた湧水中のラドンの季節的変動を不明瞭にしているとみられる。

4.2 水の滞留時間とラドン地下水

国分寺附近の国分寺崖線の高さは、ほぼ10~15mの高さである(図15)。湧水のほとんどが降水と吸い込み井戸によるとすれば、どの位の滞留時間となるのかトリチウム濃度よりの考察を試みた。採水地点の1つ、お鷹の道湧水のトリチウム濃度は49.7pCi/ℓと報告されている¹¹⁾。また1978~1983年にかけての東京都の降雨中のトリチウムの報告データ¹²⁾の平均は68.4pCi/ℓである。トリチウム濃度の低い古い地下水の流入なしにトリチウムが湧水の濃度迄減衰したと仮定して水の滞留時間を計算すると5.67年となる。

即ち野川流域の湧水は他から何の影響も受けずに降水がそのまま、時間経過して湧出して来るとするならば、最高5年程度の滞留時間を経ていると考えてよいであろう。

それでは滞留約5年の間に降水中にはほとんど含まれていないラドンが数100 pCi/ℓという高濃度になって湧出して来るのはいかなる理由によるのだろうか。湧水、地下水、温泉水中に含まれるラドンは湧出の際に多くのラドンを含んでいる。それは滞留中に花崗岩層や親核種であるラジウムを多く含む沈殿物層を通過する際にラドンを溶かし込んで来ると言われていた。野川の場合、武蔵野段丘にはラドン逸出率が大いといわれる花崗岩層はなく高ラジウムの沈殿物層もないが、武蔵野段丘礫層中に滞水する不圧地下水が湧水の主流と考えられ、この礫石には花崗岩に匹敵するラドン発生率と逸出率がある¹³⁾。

著者等の研究によれば野川流域の場合だけでなく広く全国にわたる浅層地下水中に溶存するラジウムとの平衡量を上廻るラドン濃度をみつけている。そのため高ラドン濃度の地下水、即ち“ラドン地下水”¹⁴⁾が混入する過程があることが予想される。

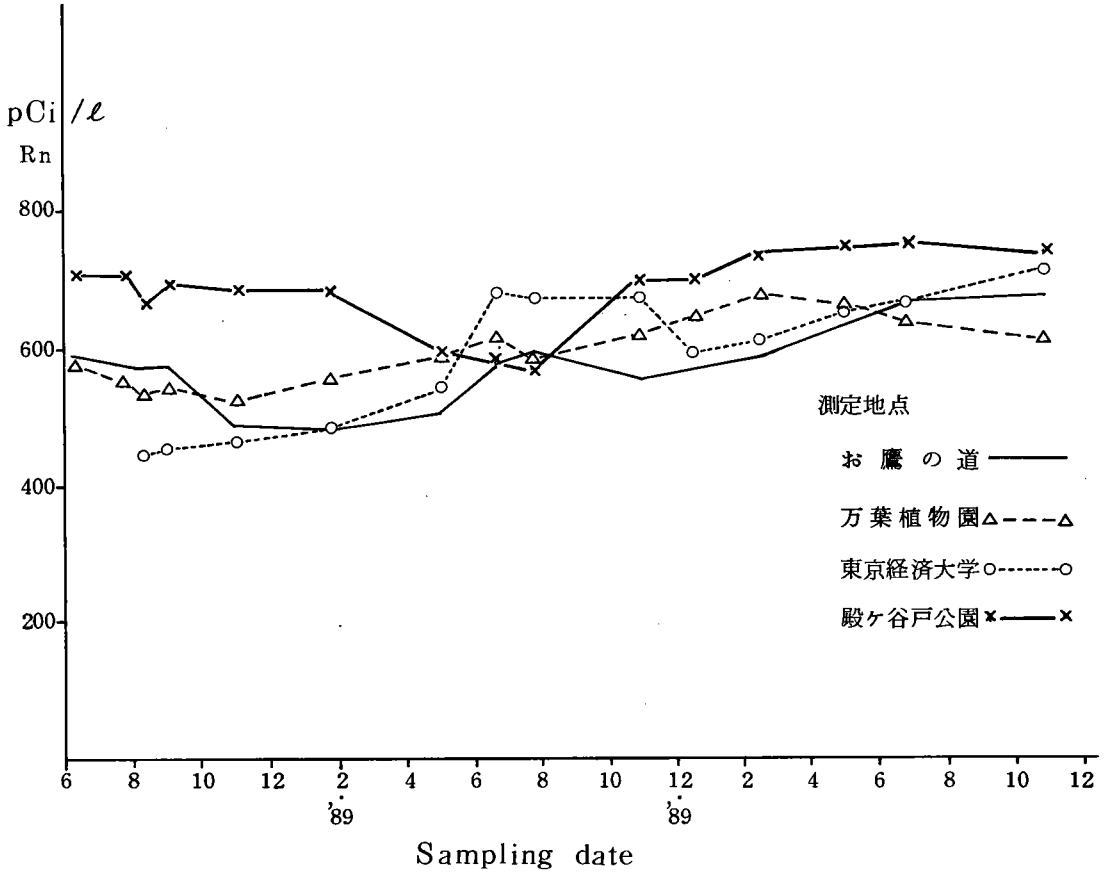
地下水の混入があってラドン濃度の増す過程が実際に野川流域にあるとするならば、前出の滞留時間約5年の値も変わって来るため、この点の解明には今後の研究が必要とされる。

4.3 流水からのラドンの放出

4.3.1 野川の流下に伴う減少

湧出時に大量のラドンを含んでいる湧水は流下にともなってラドンを放出する。数100 pCi/ℓの濃

図 14 野川湧水中のラドン濃度の季節変化
(3点スムージング)



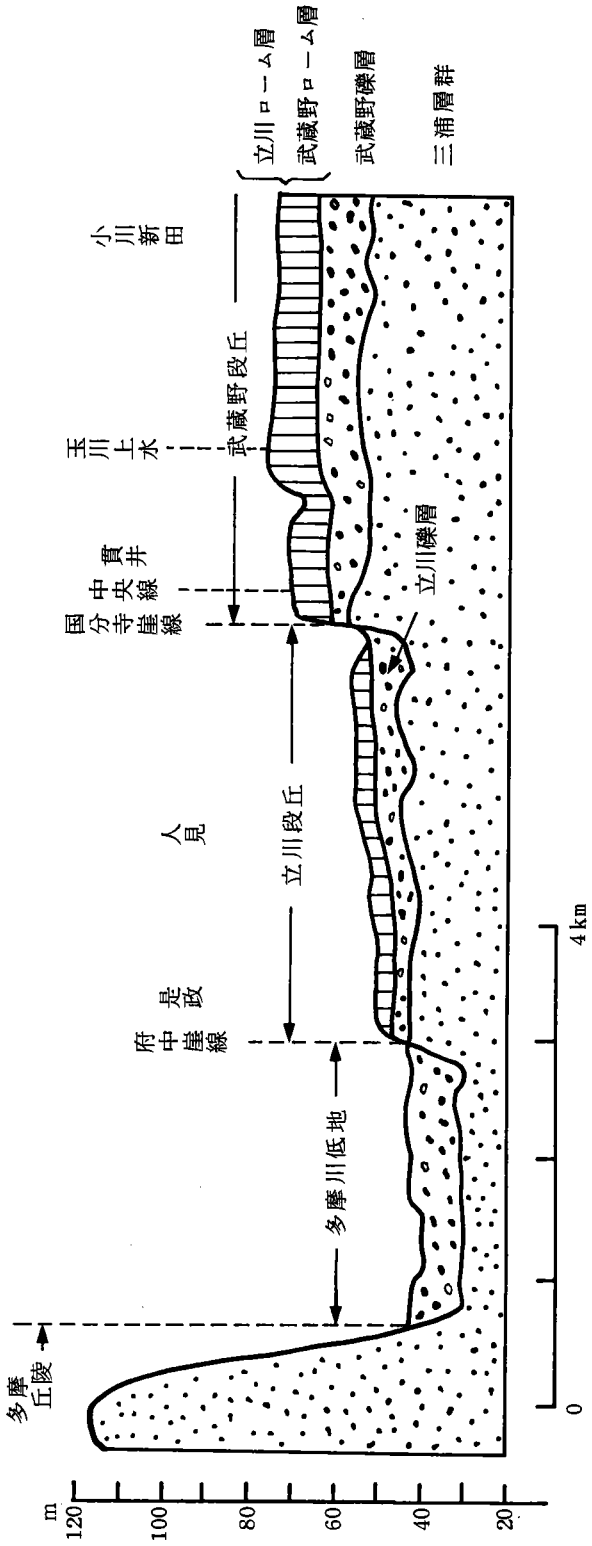


図 15 小金井をとる武蔵野の南北断面 (東京都建設局の資料により作成)

度の湧水が、野川へ流れ込み、流下していく間に数pCi/lのラドン濃度になってしまう。採水地点とラドン濃度を図16に示した。日立製作所中央研究所敷地内の湧水は測定の間がなかったが、日立的敷地すぐ脇、JRガード下の野川川水はすでに6.08pCi/lであった。丁度渇水期で、中研内の湧出量も、野川の流量も少なかった。万葉植物園、お鷹の道、殿ヶ谷戸公園、東京経済大学、貫井神社等野川の上流部の流量を占めるこれらの湧水を集めて流下したIIの位置での川水もすでに6.62pCi/lに減少していた。野川はその後も滄浪泉園をはじめいくつかの湧水を集めて流下し、4～5km下流でラドン濃度測定の定点を定めたI C U校内からの湧水、よう壁下湧水等が流入しラドン濃度が変化する。Ⅲ、Ⅳ、Ⅴの地点で測定した川水中のラドン濃度はそれぞれ8.77、81.7、72.1pCi/lでラドン濃度の高い湧水の流入により上流より高いラドン濃度を示しているが、数100mも流下する間に数pCi/l迄濃度が下がることは明白である。同様の現象は増富温泉の本谷川で測定した例がある¹⁵⁾。上流で18.6pCi/lあったラドン濃度が約700m下流では7.5pCi/lに下がっていた。

このように湧水中に含まれていたラドンは、湧出の際の気圧の変化、水と大気との温度差（野川の湧水はいずれも年間を通じてほぼ15.5～17.0℃であった）による分配比のちがひ、流下による攪拌などにより数100mの流下でほとんど空気中に放出されてしまう。

4.3.2 湧水より放出される年間ラドン量の概算

湧水から放出されるラドンの総量は湧出量に関係してくる。1986年12月～1988年1月迄に7回測定された野川上流部の流量のデータ¹⁶⁾を参考にラドンの放出量を概算した。野川上流部7地点における流量の総計を測定日数で平均し、年間（季節によらず）1日の平均流量とした。ラドン濃度も表1の季節変化測定にあげた96データを用い各測定点の平均値を出し、それを年間を通じての各地点のラドン濃度とした。流量、ラドン濃度はそれぞれ、5,862 ± 3,392 m³/d、592.3 ± 131.6 pCi/lとなった。

野川の川水中のラドン濃度測定結果（図16）をみると上流域を出た附近で6.6 pCi/lであった。したがって野川上流の上の地点からIIに至る迄の約3kmのあいだで592.7 ± 131.6 pCi/lのラドンが6.6 pCi/lまで減少したと考えればよい。即ち、586.1 pCi/lあたりのラドンが川の流下にともなって大気中に放出されるラドン総量を概算すると3.4mCi（125.8MBq）となる。大気中のラドンの輸送や拡散は垂直温度勾配、風向、風速、乱流、気圧などに依存する。

流下1km、幅1km、高さ10mの範囲に1時間あたり放出されるラドンの総量が平均的に分散したと仮定するとラドンの大気中の濃度は0.52Bq/m³となる。

4.3.3 大気中ラドン濃度の測定法検討結果

ペッテンコーフェル法を応用したオープンバイアル法による大気中ラドン濃度検討結果は表2に示した。ラドン濃度の異なる5ヶ所においてオープンバイアルに関与して来るバイアル周囲の大気容量

図 16 野川川水中のラドン濃度
(自然流下にともなうラドンの逸散)

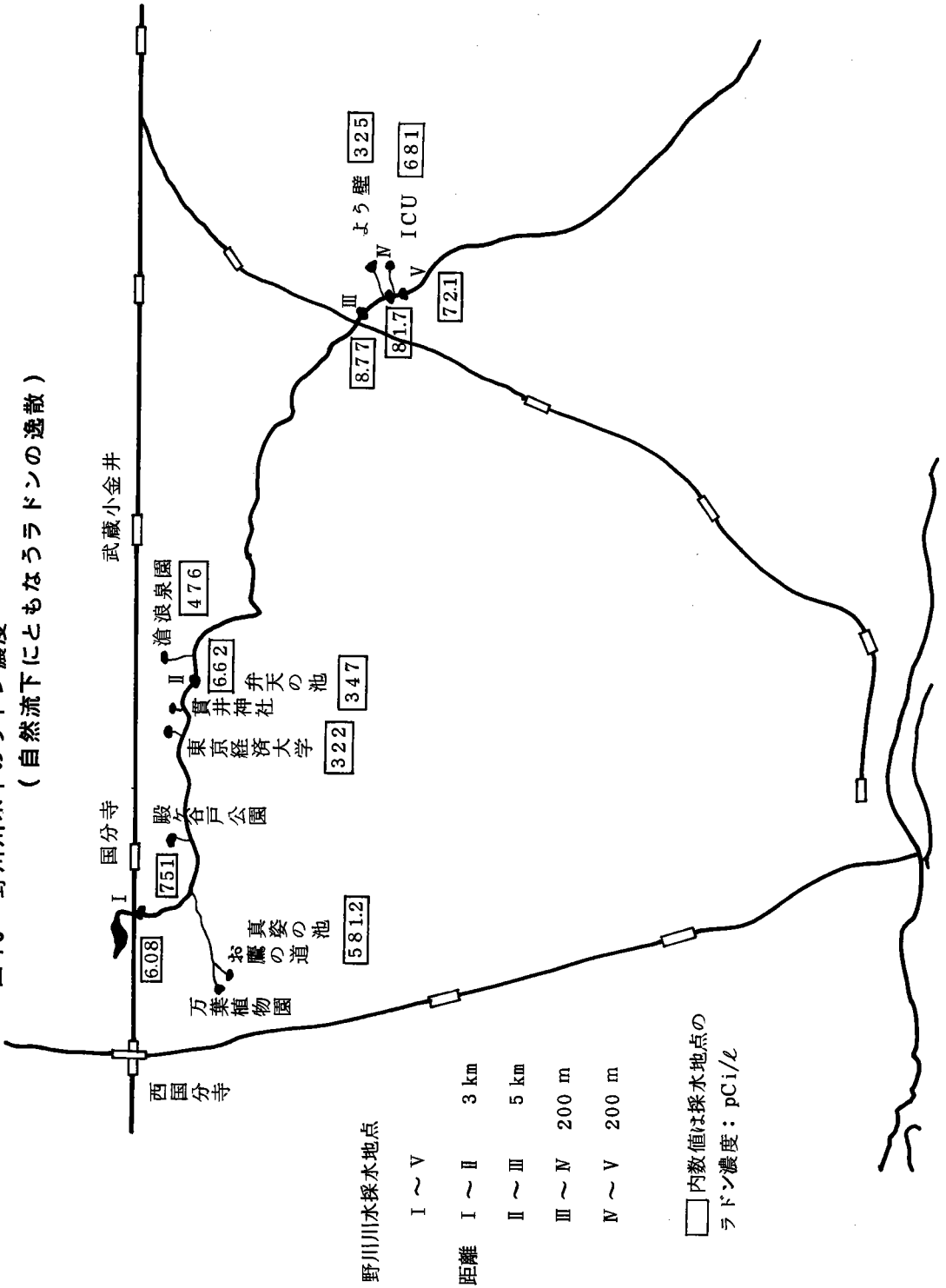


表2 オープンバイアルに溶解したラドン量と関与した大気量（有効容積）の推定

	セット 時間 min	オープンバイアル 測定位 (3本平均値) cpm	LSにとけた ラドン量 pCi	ペッテンコーフェ ル方式により求め た1ℓ空气中に含 まれるラドン濃度 pCiℓ ⁻¹	オープンバイアル にラドンをとかし た大気の有効容積 ℓ	有効容積 平均値 ℓ
A	190	111.3 ± 3.3	10.02 ± 0.28	41.9 ± 1.2	0.93 ± 0.03	1.12 ± 0.21
	178	114.3 ± 3.3	10.29 ± 0.30	39.5 ± 1.1	1.01 ± 0.03	
	37	116.3 ± 3.4	10.48 ± 0.31	30.0 ± 1.0	1.35 ± 0.05	
	101	107.3 ± 3.2	9.95 ± 0.30	28.0 ± 0.8	1.34 ± 0.04	
	315	93.3 ± 3.4	8.40 ± 0.29	33.6 ± 0.5	0.97 ± 0.01	
B	186	486.3 ± 5.6	43.81 ± 0.41	247.4 ± 2.5	0.69 ± 0.01	0.78 ± 0.13
	210	502.9 ± 5.8	45.31 ± 0.48	209.5 ± 1.9	0.87 ± 0.01	
C	180	157.3 ± 3.8	14.17 ± 0.34	28.3 ± 0.7	1.25 ± 0.03	1.27 ± 0.02
	102	193.5 ± 4.2	17.43 ± 0.39	52.8 ± 1.2	1.28 ± 0.03	
D	78	9.34 ± 2.42	0.84 ± 0.22	2.21 ± 0.58	1.32 ± 0.35	1.20 ± 0.39
	76	6.21 ± 2.43	0.68 ± 0.22	3.07 ± 0.99	0.76 ± 0.25	
	82	9.68 ± 2.48	0.87 ± 0.22	1.99 ± 0.50	1.51 ± 0.37	
E	28	7.67 ± 2.49	0.70 ± 0.22	2.51 ± 0.78	0.91 ± 0.28	0.98 ± 0.09
	31	9.33 ± 2.54	0.84 ± 0.23	2.54 ± 0.69	1.08 ± 0.29	
	31	9.74 ± 2.57	0.88 ± 0.23	3.02 ± 0.79	0.95 ± 0.25	

オープンバイアル法 (φ16×55mm) の大気有効容積 : $1.07 \pm 0.19 \ell$
(0.78 ~ 1.27 ℓ)

を算出したものである。A～EのうちA、B、Cは増富高放射能泉の浴室内での実験でありDはその屋外、Eは野川お鷹の道湧水脇でのデータである。

同一地点での平均値は0.78～1.27ℓの幅があったが、それを平均するとオープンバイアルに関与する大気有効容積は $1.07 \pm 0.19 \ell$ となった。

この結果を用いて殿ヶ谷戸公園に於いて空気中にオープンバイアルを置いて大気中のラドン濃度を測定した結果を表3に示した。風や気温、気圧等の影響を受けやすいが日をかえ、季節をかえて測定した大気中ラドン濃度の幅は $1.10 \sim 4.14 \text{ Bq/m}^3$ であり、平均値は $2.27 \pm 1.09 \text{ Bq/m}^3$ であった。

大気中のラドン濃度は通常の地域でも $0.5 \sim 40 \text{ Bq/m}^3$ 位の幅があることが知られている¹⁷⁾。特にラドンの多い風化花崗岩地帯などでは1桁以上多くなることさえある。わが国の平均的値は 10 Bq/m^3 以下、都内の平均値は約 2 Bq/m^3 と云われている¹⁸⁾。野川湧水附近でも平均値より少し高い程度であった。前述の野川の流下に伴って周辺に放出されるラドン濃度を加算しても $3 \sim 4 \text{ Bq/m}^3$ 検討であろう。すなわち湧水中に含まれるラドンは流下の過程で放出されるが、うすめられて付近一帯の空気中ラドン濃度を他地域の平均値にくらべ極端には高めないことがわかった。

これからWLを算出すると $8 \times 10^{-4} \text{ WL}$ 、 $24 \times 10^{-3} \text{ WLM}$ (3 Bq/m^3 として)となる。

これはすべて野川湧水地帯の屋外ラドン濃度についての考察であるが、実際に居住する人々にとっては屋内ラドン濃度及び喫煙者か否かといった事柄が被曝線量や発癌率に関係して来る。

4.3.4 地表面からのラドン逸出率の測定

オープンバイアルダイナミック法及びスタティック法により地表面からのラドン逸出率を測定した結果を表4、5、6に示した。増富温泉、土岐市、野川流域の結果である。風化花崗岩地帯の増富温泉での結果が一番高く $1.4 \sim 44.2 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ であった。土岐市は、地層のわかっている6ヶ所で測定をくり返した。逸出率の幅は $0.72 \sim 6.08 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ で地層毎に特徴ある値を示し、花崗岩層の土岐市河合が $4.15 \sim 6.08 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ の高い値であった。

野川湧水地域では、 $0.14 \sim 3.74 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ の幅があったが測定地域もかなり限定されている上に地層も同一の地域である。測定時間帯、季節、条件の差はあるが測定した87のデータの平均をとると $0.78 \pm 0.64 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ の値が得られた。

よって野川湧水地域での地表面からの年間平均ラドン逸出率は $0.8 \times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$ となる。

4.4 野川湧水中のその他の化学成分

次に湧水中の溶存化学成分について報告する。

イオンクロマトグラフィー及びICP (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Si^{2+})により得られた結果は表7にまとめた。また同様に都立大学屋上で採取した降雨の測定結果、金沢の測定例日本における降水の平均化学組成を参考値として表に示した。

表 3 オープンエア法による大気中ラドン濃度の測定（殿ヶ谷戸公園）

測定日	気温 T a °C	分配比	測定値 P C i	平均値	大気中 ラドン濃度 B q / m ³
88. 6 . 17	22.5	11.23	0.99 ± 0.25 0.69 ± 0.25	0.84	2.58
7 . 22	20.5	11.71	0.71 ± 0.21 0.82 ± 0.22	0.77	2.27
10.28	18.0	12.37	1.45 ± 0.24 1.50 ± 0.24	1.48	4.14
89. 2 . 15	14.5	13.34	0.50 ± 0.23 0.49 ± 0.23	0.50	1.29
6 . 26	24.0	10.87	0.65 ± 0.31 0.76 ± 0.31	0.71	2.25
10.25	15.0	13.18	0.48 ± 0.23 0.35 ± 0.23	0.41	1.10

平均値 : 2.27 ± 1.09

表 4 増富温泉におけるラドン逸出率の測定（岩風呂月品）

	set 時間 分	計 数 率 c p m	ラドン濃度 p C i	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$	set 時間 分	計 数 率 c p m	ラドン濃度 p C i	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$	set 時間 分	計 数 率 c p m	ラドン濃度 p C i	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$
1-1	6/20	969.41±5.44	33.28±0.49	29.3±0.4	4/28	52.73±3.25	4.75±0.29	8.8±0.54	4/11	49.17±3.00	4.43±0.27	1.4±0.09
2	114	108.78±3.55	9.80±0.32	7.8±0.3	109	41.96±3.00	3.78±0.27	3.6±0.26				
3	46	57.05±3.11	5.14±0.28	10.7±0.6								
2-1	45	85.47±3.44	7.70±0.31	16.7±0.7	57	30.41±3.00	2.74±0.27	5.1±0.50				
2	72	235.76±4.55	21.24±0.41	26.7±0.5	100	53.61±3.25	5.28±0.29	5.5±0.30				
3	34	186.48±4.22	16.80±0.38	44.2±1.0								
3-1	90	86.14±3.44	7.76±0.31	9.7±0.39	124	53.16±3.25	5.24±0.29	5.0±0.28				
2	103	119.10±3.66	10.73±0.33	11.5±0.35	55	34.74±3.00	3.13±0.27	6.7±0.58				
3	55	72.15±3.33	6.50±0.30	12.8±0.59	58	98.35±3.55	8.86±0.32	16.4±0.59				
4-1	103	169.50±4.11	15.27±0.37	16.3±0.39	105	146.19±4.00	13.17±0.36	13.2±0.36				
2	249	473.75±5.88	42.68±0.53	16.3±0.20	57	118.66±3.77	10.69±0.34	19.7±0.63				
3					57	111.89±3.66	10.08±0.33	18.6±0.61				
5-1	91	109.22±3.66	9.84±0.33	10.5±0.35	112	71.71±3.33	6.46±0.30	5.3±0.25				
2	103	148.30±4.00	13.36±0.36	11.4±0.31	52	113.66±4.44	10.24±0.40	17.6±0.69				
3	76	119.88±3.77	10.80±0.34	13.2±0.42	61	118.77±3.77	10.70±0.34	14.6±0.46				
6-1	93	114.11±3.66	10.28±0.33	9.0±0.29	100	69.82±3.33	6.29±0.30	7.4±0.35				
2	160	236.76±4.55	21.33±0.41	11.3±0.22	55	62.94±3.25	5.67±0.29	11.3±0.58				
3	58	149.52±4.00	13.47±0.36	18.8±0.50	55	49.84±3.11	4.49±0.28	9.1±0.57				
7-1	96	308.80±4.88	27.82±0.44	21.2±0.34	100	152.85±4.00	13.77±0.36	14.4±0.38				
2	97	365.63±5.44	32.94±0.49	27.8±0.41	52	106.45±3.66	9.59±0.33	19.3±0.66				
3	54	217.89±4.44	19.63±0.40	28.0±0.57	57	210.46±4.44	18.96±0.40	35.0±0.74				
8-1	99	168.39±4.00	15.17±0.36	13.8±0.33	175	91.46±3.55	8.24±0.32	4.3±0.17				
2	100	255.30±4.77	23.00±0.43	22.0±0.41	58	133.53±3.89	12.03±0.35	18.3±0.53				
3	52	128.87±3.89	11.61±0.35	19.8±0.60	58	212.01±4.00	19.10±0.41	27.6±0.59				

1.4~44.2×10⁻² Bq/m²・s

表 5

土岐市におけるラドン逸出率の測定

	set 時間 分	計 数 率 c p m	ラドン濃度 p C i	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$	set 時間 分	計 数 率 c p m	ラドン濃度 p C i	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$
事務所裏	89 5/22 ~23	4.57±3.58	0.41±0.32	0.79±0.62	89 1/10 ~11	9.21±2.78	0.83±0.25	1.31±0.39
	2 87	5.15±3.25	0.46±0.29	0.72±0.45	60	11.68±2.82	1.05±0.25	1.50±0.36
	3 79	6.56±3.61	0.59±0.33	1.01±0.56	62	13.89±2.85	1.25±0.26	1.65±0.34
鬼 岩	1 116	9.28±3.30	0.84±0.30	1.19±0.42				
	2 125	13.74±3.70	1.24±0.33	1.68±0.45				
	3 126	12.53±3.70	1.13±0.33	1.44±0.42				
ゴルフ場横	1 97	8.18±3.28	0.74±0.30	1.18±0.48	53	8.45±2.79	0.76±0.25	1.14±0.38
	2 93	8.39±3.30	0.76±0.30	1.26±0.50	55	10.70±2.83	0.96±0.26	1.37±0.34
	3 104	8.11±3.31	0.73±0.30	1.00±0.41	57	13.81±2.88	1.24±0.26	1.71±0.36
五斗 時	1 89	6.45±3.26	0.58±0.29	0.94±0.47	45	15.06±3.21	1.36±0.29	2.46±0.52
	2 105	5.62±3.25	0.51±0.29	0.74±0.42	45	13.20±3.21	1.19±0.29	2.20±0.54
	3 99	5.54±3.26	0.50±0.29	0.82±0.48	49	15.74±3.24	1.42±0.29	2.41±0.49
正馬 様	1 101	10.13±3.32	0.91±0.30	1.50±0.41	95	15.56±3.23	1.40±0.29	1.29±0.27
	2 98	10.05±3.33	0.91±0.30	1.54±0.49	95	15.49±3.25	1.40±0.29	1.31±0.27
	3 92	8.25±3.31	0.74±0.30	1.41±0.57	81	12.89±3.21	1.12±0.29	1.17±0.30
賤 洞	1 70	23.14±3.44	2.08±0.31	4.08±0.61	48	17.20±2.88	1.55±0.26	2.75±0.46
	2 71	8.77±3.31	0.79±0.23	2.94±0.86	51	15.05±2.85	1.36±0.26	2.27±0.43
	3 69	12.72±3.36	1.15±0.30	2.49±0.65	53	16.17±2.90	1.46±0.26	2.20±0.39
事務所裏	1 81	7.78±2.95	0.70±0.27	1.25±0.48				
	2 79	5.43±2.94	0.49±0.26	0.92±0.49				
	3 89	7.78±2.97	0.70±0.27	1.17±0.45				
土岐市河合	1 108				108	55.14±3.64	4.97±0.33	4.15±0.28
	2 107				107	79.01±3.90	7.12±0.35	6.01±0.30
	3 109				109	81.42±3.39	7.34±0.35	6.08±0.29

0.72~6.08 $\times 10^{-2} \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$

表6-1

野川におけるラドン逸出率の測定 - I

測定場所	88/5/7		88/6/17		88/7/22		88/10/28	
	set 時 分	ラドン濃度 pCi	set 時 分	ラドン濃度 pCi	set 時 分	ラドン濃度 pCi	set 時 分	ラドン濃度 pCi
お鷹の道 A-1	14.0°C 13.54	0.49±0.35	21.0°C 11.59	0.86±0.24	21.0°C 11.59	4.10 2.10±0.22	18°C 12.91	2.29 1.05±0.23
	"	0.91±0.21	"	1.11±0.24	"	2.00±0.22	"	1.24±0.23
B-1	127	1.34±0.23	127	1.34±0.24	"	2.06±0.22	2.22	1.06±0.23
	"	0.95±0.21	"	1.11±0.24	"	1.79±0.22	1.16±0.23	1.17±0.25
万葉植物園 石A-1	121	1.13±0.22	112	3.16±0.27	141	5.71 2.86±0.23	2.61 1.15±0.23	1.82±0.37
	"	1.22±0.22	"	2.93±0.26	"	2.85±0.23	1.46±0.24	1.82±0.37
B-1	120	1.15±0.22	115	5.96±0.29	141	3.41 1.66±0.22	3.46 1.61±0.24	2.24±0.36
	"	1.14±0.22	"	5.52±0.29	"	1.75±0.22	1.85±0.24	2.24±0.36
左A-1	108	1.57±0.24	103	1.27±0.25	133	3.22 1.82±0.22	2.66 1.48±0.23	1.61±0.25
	"	1.44±0.22	"	0.80±0.24	"	1.40±0.22	1.18±0.23	1.61±0.25
B-1	111	1.18±0.22	103	0.81±0.24	132	1.39 0.71±0.21	2.60 1.31±0.23	1.58±0.18
	"	1.57±0.22	"	—	"	0.88±0.21	1.29±0.23	1.58±0.18
殿ヶ谷戸公園 A-1	117	0.90±0.22	124	0.53±0.24	139	1.48 0.62±0.21	2.34 1.34±0.24	0.99±0.17
	"	0.74±0.21	"	0.65±0.24	"	0.86±0.21	1.00±0.24	0.99±0.17
B-1	"	1.19±0.22	123	0.86±0.25	139	1.29 0.63±0.21	3.50 1.70±0.24	1.51±0.21
	"	1.04±0.22	"	0.97±0.25	"	0.63±0.21	1.80±0.25	1.51±0.21
東京経済大学 A-1	151	0.91±0.22	153	0.98±0.25	129	2.35 1.25±0.22	2.97 1.53±0.24	1.40±0.22
	"	1.02±0.22	"	0.71±0.24	"	1.10±0.21	1.44±0.24	1.40±0.22
B-1	150	1.62±0.22	151	0.64±0.24	127	1.17 0.56±0.21	2.61 1.23±0.24	1.23±0.24
	"	1.14±0.22	"	0.67±0.27	"	0.61±0.21	1.38±0.24	1.23±0.24
澁谷泉園 A-1	87	2.24±0.23	91	1.34±0.24	136	6.86 3.38±0.24	3.10 1.62±0.23	0.90±0.13
	"	1.90±0.23	91	1.02±0.25	"	3.48±0.24	1.48±0.24	0.90±0.13
B-1	82	1.03±0.22	91	0.89±0.19	91	2.72 1.40±0.24	2.72 1.40±0.24	0.79±0.13
	"	1.38±0.22	91	1.38±0.22	91	1.32±0.24	1.32±0.24	0.79±0.13

表 6 - 2

野川におけるラドン逸出率の測定 - II

測定場所	89/5/1		89/6/26		89/10/25		90/2/15		
	set 時間 時分	ラドン濃度 pCi	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$	set 時間 時分	ラドン濃度 pCi	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$	set 時間 時分	ラドン濃度 pCi	ラドン逸出率 $\times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$
お鷹の道T a A-1	16.0°C	0.70 0.33±0.22	}0.31±0.21	16.0°C	0.77 0.32±0.26	}0.30±0.17	T a 10.0°C	1.25 0.62±0.22	}0.46±0.16
	"	0.37±0.22		"	0.45±0.26		"	14.76	
B-1	69	0.67 0.26±0.22	}0.31±0.26	"	0.55 0.32±0.21	}0.21±0.14	"	0.85 0.39±0.22	}0.31±0.15
	"	0.41±0.22		"	0.23±0.21		"	0.46±0.22	
万葉植物園 石A-1	64	0.74 0.20±0.22	}0.36±0.28	73	1.81 0.68±0.27	}0.78±0.20	"	"	
	"	0.54±0.23		"	0.73±0.23		"	"	
B-1	"	0.99 0.23±0.22	}0.49±0.39	"	1.52 0.51±0.23	}1.03±0.25	58	1.18 0.50±0.22	}0.56±0.19
	"	0.76±0.23		"	0.61±0.23		"	1.68±0.23	
左A-1	70	0.32 0.23±0.23	}0.14±0.12	73	0.91 0.30±0.27	}0.34±0.14	60	1.16 0.51±0.22	}0.54±0.19
	"	0.09±0.23		"	0.28±0.22		"	0.55±0.22	
B-1	"	0.67 0.46±0.23	}0.30±0.15	"	1.04 0.50±0.22	}0.39±0.15	"	0.97 0.49±0.22	}0.45±0.21
	"	0.21±0.23		"	0.45±0.22		"	0.48±0.22	
殿ヶ谷戸公園 A-1	"	1.40 0.14±0.31	}0.50±0.14	88	1.40 0.26±0.30	}0.50±0.14	85	0.64 0.47±0.22	}0.21±0.10
	2	0.26±0.30		"	0.26±0.30		"	0.17±0.11	
B-1	"	0.93 0.44±0.30	}0.33±0.21	"	0.78 0.30±0.22	}0.31±0.17	"	1.08 0.68±0.22	}0.35±0.12
	2	0.49±0.31		"	0.48±0.27		"	0.42±0.22	
東京経済大学 A-1	73	0.70 0.28±0.23	}0.30±0.17	66	3.56 1.02±0.25	}1.70±0.21	69	1.0 0.46±0.22	}0.40±0.16
	"	0.42±0.23		"	1.54±0.24		"	0.54±0.22	
B-1	"	0.97 0.53±0.23	}0.42±0.18	64	1.45 0.64±0.27	}0.69±0.24	68	0.77 0.57±0.22	}0.31±0.12
	2	0.44±0.23		"	0.81±0.28		"	0.20±0.22	
滝津泉園 A-1	73	0.80 0.26±0.23	}0.34±0.15	72	1.01 0.53±0.23	}0.44±0.19	82	0.92 0.55±0.23	}0.31±0.13
	"	0.54±0.23		"	0.48±0.27		"	0.37±0.22	
B-1	"	2.91 0.40±0.23	}1.25±0.13	"	2.11 0.67±0.23	}0.91±0.18	81	0.81 0.49±0.22	}0.28±0.12
	2	2.51±0.26		"	1.24±0.24		"	0.32±0.22	

平均 $0.780 \pm 0.640 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$
 $0.14 \sim 3.74 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$

野川流域湧水及び雨水中の化学成分

表 7

採水日	湧水・採水場所	EC μScm ⁻¹	Li ⁺ mg/l	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si ²⁺	F ⁻	Br ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	
8/28/10	I C U 棚内湧水	157	—	12.5	—	0.82	13.5	6.18	13.6	0.012	—	15.7	—	19.0	—	10.0	
	I C U 棚外湧水	159	—	13.6	—	0.84	17.2	7.48	13.4	—	—	16.3	—	21.1	—	10.6	
	野川 橋下	260	—	18.5	—	1.51	20.5	5.66	7.68	—	—	21.1	0.166	14.5	—	15.1	
	よ う 壁下	172	—	13.1	—	0.59	19.0	8.03	13.1	—	—	17.0	—	33.5	—	9.29	
	澁 浪 泉 園	120	—	10.7	—	0.02	10.8	3.63	5.06	0.010	—	14.0	—	22.0	—	9.30	
	貫 井 神 社	182	—	15.3	—	0.65	19.9	8.21	12.1	—	—	20.2	—	47.8	—	12.6	
	東京経済大学	179	—	15.3	—	0.62	18.8	8.03	12.0	—	—	17.3	—	46.3	—	13.0	
	お鷹の道湧水	161	—	13.4	—	0.49	15.1	8.09	13.5	—	—	—	15.6	—	31.5	—	6.63
	万葉植物園左	162	—	14.9	—	0.55	15.1	8.10	13.7	—	—	—	16.1	—	31.2	—	7.99
	殿ヶ谷戸公園上	266	—	23.3	—	0.78	20.9	10.3	11.3	—	—	—	28.0	—	56.2	—	16.8
9/3	” 下	263	—	23.3	—	0.76	20.9	10.4	11.9	—	—	27.2	—	56.2	—	16.7	
	” 自然湧出	282	—	25.0	—	0.74	21.0	11.2	12.0	—	—	29.6	—	59.1	—	15.5	
	東京経済大学	190	—	16.0	—	0.62	19.0	8.1	12.2	0.008	—	16.5	—	41.6	—	11.8	
	貫 井 神 社	187	—	15.4	—	0.64	19.2	7.9	12.8	—	—	17.2	—	39.2	—	11.0	
	澁 浪 泉 園	133	—	12.6	—	0.49	11.2	3.8	6.2	—	—	12.5	—	21.5	—	8.08	
	よ う 壁下	171	0.003	12.9	—	0.61	17.0	8.1	13.8	—	—	14.7	—	26.9	—	8.70	
	I C U 棚外湧水	171	—	13.4	—	0.56	18.8	7.6	13.0	—	—	14.5	—	20.1	—	9.71	
	殿ヶ谷戸公園上	241	—	22.6	—	0.66	20.4	10.6	11.4	—	—	26.2	—	58.0	—	16.2	
	澁 浪 泉 園	138	—	11.4	—	—	9.9	3.14	5.2	—	—	13.8	—	22.6	—	8.89	
	お鷹の道湧水	171	—	16.2	—	0.51	14.8	8.0	12.8	—	—	16.0	—	30.9	—	7.4	
11/3	貫 井 神 社	202	—	14.0	—	0.64	19.0	8.06	12.3	—	—	19.8	—	46.8	—	12.0	
	降雨(都立大屋上採取)		—	0.74	—	0.30	1.23	0.07	0	—	—	1.87	—	1.25	—	2.52	
参 考	日本における降水の平均 化学組成 香原(1962)		—	1.1	—	0.26	0.97	0.36	0.011	0.089	—	1.22	—	0.25	—	0.60	
	雨水定量例(金沢)		—	1.8	—	0.33	0.35	—	0.08	—	—	1.1	—	—	—	1.5	

野川の湧水は降水に起因すると云われているが¹⁹⁾、人間活動と関係が深いとされている硝酸イオン (NO_3^-) が湧水で19.0~59.1 mg/ℓと幅が広く、量としてもかなり多く存在した。野川橋下の川水はむしろ14.5 mg/ℓと低かったが、いずれも様々な人間活動の影響がみられる。塩素イオンも12.5~28.0 mg/ℓ存在し3~4 mg/ℓ以上の河川水は人間活動の影響を受けているとの報告¹⁹⁾を大幅に上廻っている。

これはこの附近が都市化の影響として生活排水の地下への浸透、吸い込み井戸による排水処理方法、宅地化による樹木の除去等が考えられる。

中でも一旦ポンプで揚水し、公園内の数ヶ所から水を流がしている殿ヶ谷戸公園は硝酸イオン、塩素イオン濃度がもっとも高く、滄浪泉園とICU柵内湧水が低い値を示した。しかしICUの湧水は化学成分を測定した昭和62年8月、9月の採水以後ICUの構内隣接地が公園として整備され、湧水口が2ヶ所人為的に作られた。それ以後パイプではこぼれたかなりの量の水が常に湧水口から流出してはいるが、ラドン含有量が減少しているため、水質にも何らかの変動があることが予想される。

分析結果を三角図にプロットしてみた。陽イオンは $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ 形で雨水、沢水等と同じタイプで通常の地下水(井水、湧水)の $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$ 形ではなかった。陰イオンは HCO_3^- の値がないため、変則的ではあるが、 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ であるのは雨水、河川水、地下水には少ない現象である。これも通常の湧水中の陰イオンのバランスが人間活動の影響を受けてくずされていることを示している。

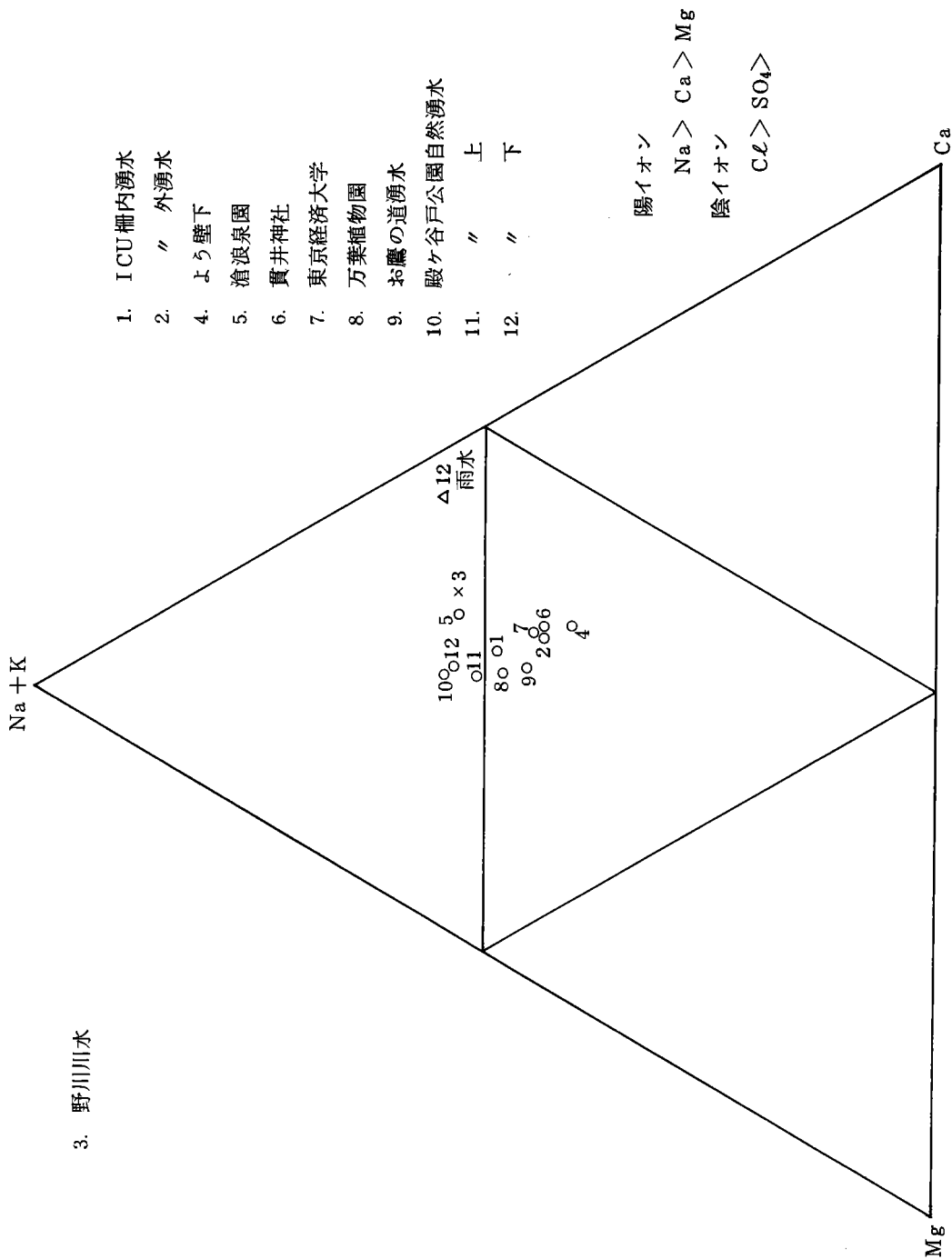
以上の結果から野川上流部の湧水径路は4つのグループに分けられると考えた。①お鷹の道、万葉植物園、②殿ヶ谷戸公園、③東京経済大学、貫井神社、④滄浪泉園で、人間活動の影響は②、③、①、④の順で強く受けているとみられる。中流域のICU裏、よう壁下湧水の径路はほぼ同一とみられた。

5つのグループ別にラドンの季節変動(三点スムージングしたもの)をプロットした(図18)。この図に関する考察は他のデータ(降水量、トリチウム測定 etc.)を求めてからにしたい。

硝酸イオン等の測定から、野川流域の湧水はかなり涵養期間が短い(数ヶ月)との報告がある¹⁹⁾。そのためには水中には極く微量しか含まれていないラドンが、湧水中には100 pCi/ℓのオーダーで含まれて来ることは前述の“ラドン地下水”の流入を考える必要がある。

したがって湧水の湧出機構に関してはトリチウム、ラドン等の天然放射能をトレーサーとしてより詳細に検討することが必要であろう。この検討は吸い込み井戸や生活排水、農業汚水等による地下水の汚れの浄化、河川の汚れの浄化機構を知るための貴重なデータになると考える。

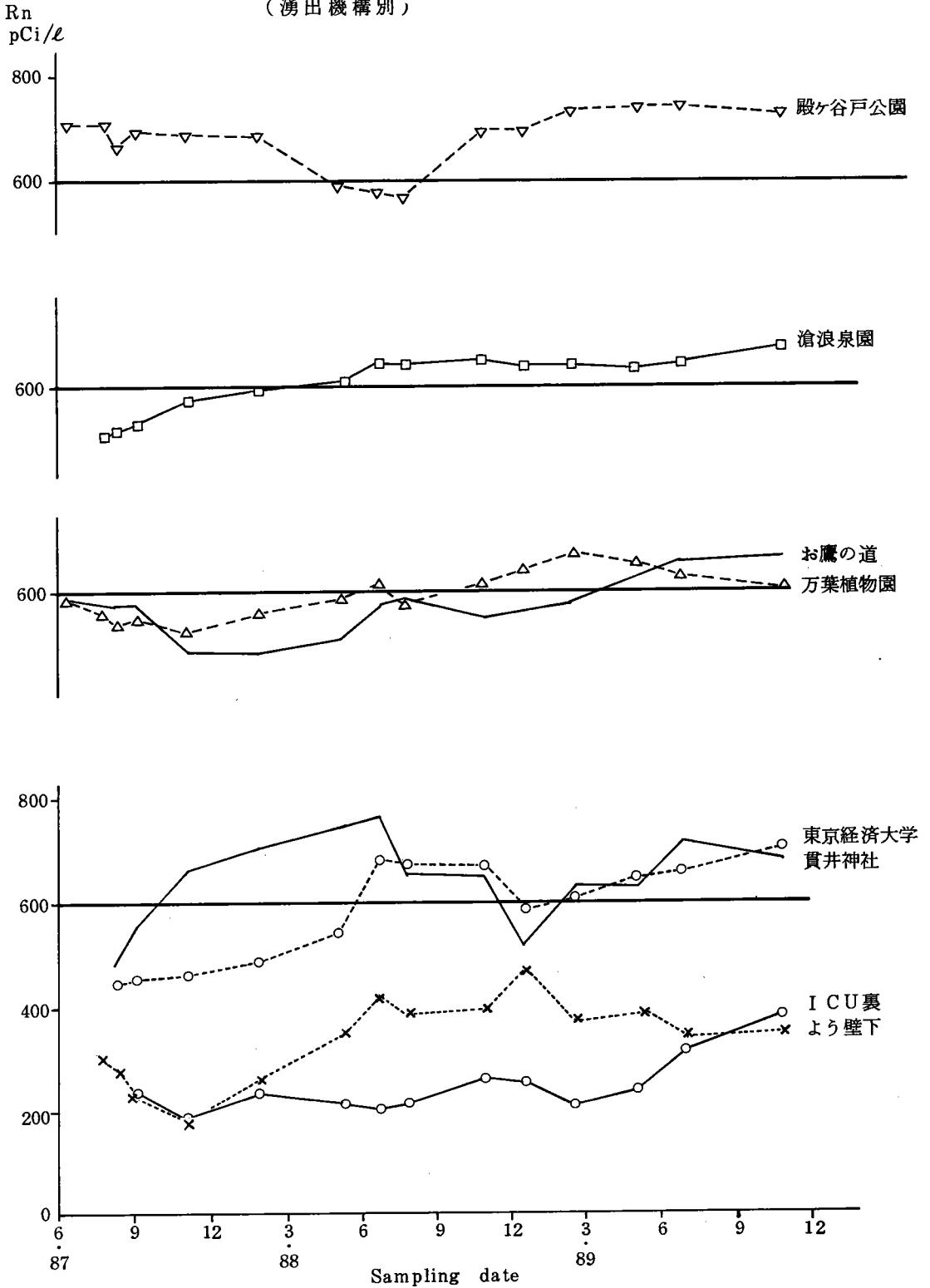
図 17



3. 野川水

1. ICU 柵内湧水
2. " 外湧水
4. よう壁下
5. 滄浪泉園
6. 貫井神社
7. 東京経済大学
8. 万葉植物園
9. お鷹の道湧水
10. 殿ヶ谷戸公園自然湧水
11. " 上
12. " 下

図 18 野川湧水中の Rn の季節変化 (3 点スムージング)
 (湧出機構別)



<参考文献>

- 1) M. アイゼンバッド著、阪上正信監訳「環境放射能 — 第二版 — 」P15 産業図書, (1979)
- 2) Kunz, E., Sevc, J., Placek, V. and Horacek, J. : Lung cancer in man in relation to different time distribution of radiation exposure, Health physics, 36, 699 (1979)
- 3) International Commission on Radiological Protection. Limits for inhalation of radon daughters by workers. ICRP Publication 32, Annals of the ICRP, Vol. 6, (1981)
- 4) 堀内公子、村上悠紀雄：鉱泉中のラドンの液体シンチレーションカウンターによる新定量法とその基礎的条件の検討、温泉科学, 28, No.2 39-52 (1977)
- 5) 堀内公子：鉱泉中ラドンの抽出 — 液体シンチレーションカウンターによる新定量法について、温泉工学会誌, 13, No.2 95-103 (1978)
- 6) Horiuchi, K. and Murakami, Y. : A New Procedure for the Determination of Radium in Water by Extraction of Radon and Application of Integral Counting with a Liquid Scintillation Counter, Int. J. Appl. Rad. Iso. 33, No.5 291-294 (1981)
- 7) Horiuchi, k. and Murakami, Y : New Method for the Determination of Radon in Soil Air by the "Open Vial" and Integral Counting with a Liquid Scintillation Counter; J. Radioanal chem. 80, No.1/2 153-163 (1983)
- 8) Horiuchi, k. and Murakami, Y. : Determination of Radon in Soil gas by an Opened Counting Vial and Liquid Scintillation Counter : Chemistry Letters, No.2 159-162 (1983)
- 9) 飯島南海夫、堀内公子、村上悠紀雄：松代温泉地域のラドンと断層について：温泉科学, 32, No.2 42-51 (1982)
- 10) 堀内公子、村上悠紀雄：ラドン定量による漏出地下水と湖岸地下水の特性について、「環境科学」研究報告集 第3集, R12-2, 91-106 (1986)
- 11) 山田芳宗、甞幹夫、加藤岩夫、阪上正信：トリチウムによる陸水の地球科学的研究：地球化学, 20 No.2 93-97 (1986)
- 12) 東京都立アイソトープ総合研究所測定データ 私信。
- 13) Adams, J.A.S. et al : Development of Remote Method for Obtaining Soil Information and Location of Construction Materials Using gamma Ray Signatures for Project THEMIS; Annual Report to U. S. Army Engineer Waterways Experiment station Corps. of Engineers, P11-12 (1972)
- 14) 堀内公子、村上悠紀雄：ラジウム、ラドン量より求めた δRn 項による鉱泉中の過剰量ラドンの存在に対する一考察：地球化学, 12, 59-70 (1979)
- 15) 堀内公子、村上悠紀雄：液体シンチレーションカウンターによる鉱泉中の低レベルラドンの定量について、温泉科学, 27, NO.1 23-28 (1976)

- 16) 安藤義久：東京都立大学工学部：私信
- 17) 下道国、山崎敬三：ラドンエアロゾル, エアロゾル研究, 4, 26-35 (1989)
- 18) Lockhart, L. B. : Radioactivity of the radon-222 and radon-220 series in the air at ground level. P331-344.
The Natural Radiation Environment (J. A. S. Adams and W. M. Lowder, eds.) University of Chicago Press, 1964)
- 19) 小倉紀雄、吉田和弘：野川湧水中の硝酸塩濃度とその起源：地球化学, 12, 44-51 (1978)