

再録論文

005 環境におけるウランの挙動と分布に関する研究

(日本私学振興財団, 昭和51年度学術研究振興資金に係る学術研究成果の報告書)

河合 廣, 森嶋 彌重, 丹羽 健夫,
古賀 妙子

(Received Sept. 30, 1977)

1. 研究の目的 (特色)

人体および環境における自然放射能についての関心が増えるとともに, 原子力産業の発展に伴ない, 大量のウランの使用が必至となってきた現在, 原子力発電所, ウラン鉱山および核燃料再処理工場等からの核燃料廃棄物の環境への放出が問題となる。わが国においても, ウラン鉱山に近い地区においてウランによる河川水の汚染が報告されており, これらの河川水をかんがい用水として利用したとき植物へのウランの蓄積が関心事となる。従来, 土壌—植物—動物—人などの陸圏および水圏における自然の生物学的連鎖におけるウランの挙動に関する研究および植物によっては, ウランを選択的に摂取することが知られ, ウランの需要を満足するウラン鉱を探索する目的からもウランの環境中における挙動に関する研究が行われてきた。また山本らによって岡山県人形峠付近の吉井川流域の土壌を用いて硝酸ウラニルなどを添加した実験系およびウランを含む水耕栽培法によって白菜へのウランの吸収に関する研究が行われた。今回われわれは放射生態学的観点からアルファ放射体とくにウランの挙動と分布について調査研究を行った。

2. 研究の計画・方法

2.1 計画

奈良県室生地区で採取した自然の高ウラン土壌を用いて植物への土壌中のウランの移行と分布を実験ポット内での土壌—植物系による農作物中のウランの分布およびウラン同位体比の変動を検討した。環境中のウランのレベルの調査において葉菜・根菜が他の農作物に比較してウランレベルが高かったことおよび短期間

に生育, 収穫が可能で栽培が簡単であることなどの理由からハツカダイコンを供試植物として選択した。

2.2 材料

1) 土壌

高ウラン土壌は奈良県室生村で採取し, 対照土壌には近畿大学原子力研究所構内の土壌を用いた。その土性はともに砂質土壌で, その化学的諸特性はそれぞれ pH 4.8 および pH 6.9 (水懸濁液, 1:2.5) 灼熱減量 81 mg/乾土 g および 48 mg/乾土 g, 塩基性交換容量 9.6 meq/乾土 100g および 7.9 meq/乾土 100g であった。また 0.2Nクエン酸溶液による土壌中のウランの溶出率はそれぞれ 8% および 14% であった。

2) 野菜

ハツカダイコンは赤丸ハツカダイコン「サクサ」輸入種を, ピーマン, キュウリ(「ひかり」)は大和農園製の苗を用いた。

2.3 方法

1) 栽培法

Fig. 1 に示した塩化ビニール製ポットに水酸化カルシウムであらかじめ pH を約 7 に調整し, 元肥として塩化カリウム, 尿素を各 10g および過リン酸石灰 5g を添加し, 一様に混合した高ウラン土壌 (16 メッシュ以下) 30kg を有孔板および籾 20kg の上に入れた。ハツカダイコンについてはつぎの各系について栽培を行った。すなわち肥料の三大要素である窒素, カリウムおよびリン酸を与えた三要素区, 三要素のいずれかの要素の欠乏した肥料区 (3系), いずれかの要素の倍量を添加した三要素区 (3系), 無肥料区および対照土壌の三要素区について, また室生土壌 30kg に硝酸ウラニル, $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (ウランとして 3g) (関東化学製試薬特級) を添加した三要素区について

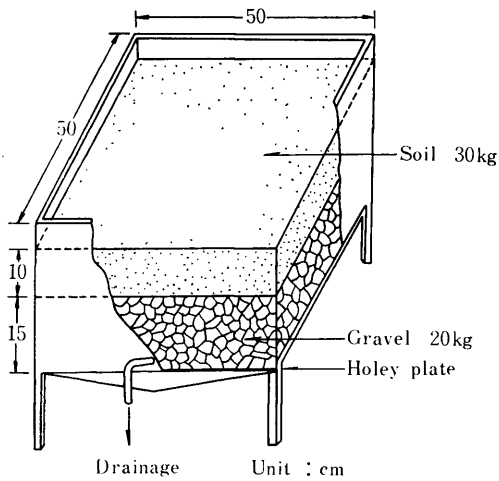


Fig. 1 Schematic view of experimental pot.

も栽培を行った。灌水は2日に1回2lずつを行い、栽培期間は約2週間から6週間としキュウリ、ピーマンについては約3か月間温室内で栽培を行った。

2) ウランの分析

野菜については収穫後、根、茎、葉（ハツカダイコ

ンについては子葉、上位葉、下位葉）、果実などの部位にそれぞれ分け、450°C以下で灰化後塩酸抽出し、土壌については風乾細土1gを硝酸-フッ化水素酸混液（3：10）処理後、陰イオン交換法によりウランを単離し、アルファ放射能測定法により定量した。

3) α線スペクトル法による²³⁴U/²³⁸U同位体比の測定

環境サンプルの電着ウランを大阪電波製グリッドイオンチェンバー GIC-1 を検出器に多重波高分析器を使用してα線スペクトルを測定し得られたピークの部分計数を求めて²³⁴U/²³⁸U同位体比を算出した。

3. 研究の成果

3.1 ハツカダイコンにおけるウランの分布について

室生地区で採取した高ウラン土壌を用いて実験的に栽培したハツカダイコンについて葉部（子葉、上位葉、下位葉）および根部に分けて、ウランの生物学的吸収比およびウランの分布を Table 1 に示した。子葉は収穫時にはほとんど枯れた状態にあり、下位葉および上位葉はそれぞれ、子葉の次に出る3枚の葉およ

Table 1 Distribution of uranium in radish (Cultivation period : 30 days)

Experimental system	Part	Fresh weight (g)	Uranium contents (μg/g ash)	Uranium B. A. R. (×10 ⁻²)*	Uranium distribution (%)	Ash weight (%)
Three elements fertilizer (N, P, K)	Cotyledon	16.6	2.67	2.55	17.5	10.9
	Upper leaves	52.0	1.72	1.70	30.6	28.1
	Lower leaves	72.0	1.25	1.22	21.6	26.7
	Roots	102.0	1.38	1.33	30.3	34.3
Doubled P fertilizer (N, 2P, K)	Cotyledon	1.3	5.21	5.80	28.2	7.6
	Upper leaves	8.0	1.74	1.93	26.4	30.2
	Lower leaves	7.0	0.88	0.99	14.4	28.3
	Roots	12.9	1.48	1.65	31.0	33.9
K deficient fertilizer (N, P, -K)	Cotyledon	21.0	3.02	5.50	15.5	12.2
	Upper leaves	41.6	2.98	5.40	33.7	27.0
	Lower leaves	58.6	2.02	3.70	34.8	40.9
	Roots	42.0	1.91	3.50	16.0	19.9
P deficient fertilizer (N, -P, K)	Cotyledon	1.9	30.8	21.8	46.7	37.0
	Leaves	2.8	21.0	14.7	35.8	43.0
	Roots	2.3	7.52	8.40	17.5	20.0
N deficient fertilizer (-N, P, K)	Cotyledon	0.78	7.18	5.20	25.8	21.0
	Leaves	2.2	2.22	1.94	17.7	50.8
	Roots	3.0	13.8	14.0	56.6	28.2

* Biological absorption ratio = $\frac{\text{Uranium contents in vegetables } (\mu\text{g/g ash})}{\text{Uranium contents in soil } (\mu\text{g/g soil})}$

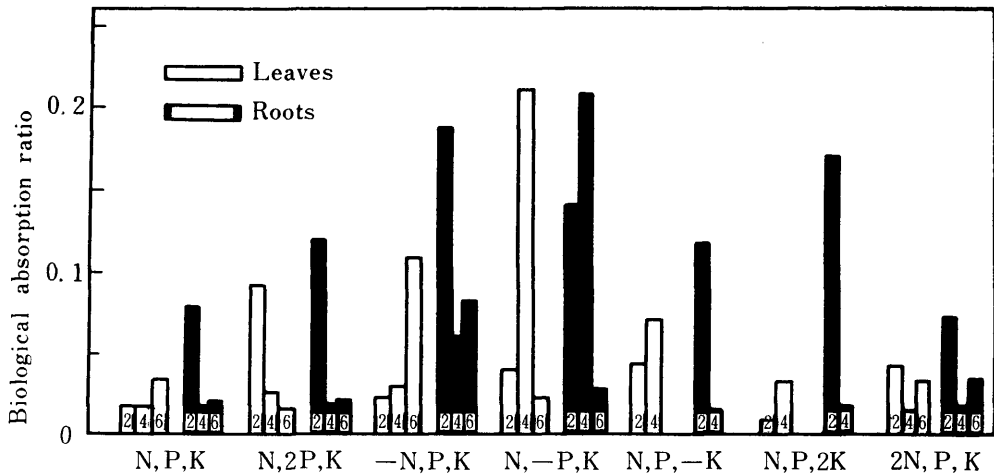


Fig. 2 Variation of uranium absorption in cultivation period of radish.

びその後には生育する幼葉とした。これらの結果によると各部のウランの生物学的吸収比〔植物各部におけるウラン濃度 ($\mu\text{g}/\text{灰分g}$) / 栽培土壌中のウラン濃度 ($\mu\text{g}/\text{乾土g}$) は無窒素肥料区において根部が高く上位葉、子葉と続くが、他の系においては子葉、上位葉、下位葉、根の順に低くなった。子葉をのぞく葉部について上位葉、下位葉それぞれのウラン濃度を比較すると、B. S. Prister による生長している組織中のウラン濃度は高いという報告と一致している。成熟した下位葉においては光合成が活発に行われており、その生成した炭水化物などを上位葉および根部に養分として送り、生長を促進している。Table 1 に示した結果によると収穫したハツカダイコンに吸収されたウランの分布は灰分重量の割合にはほぼ一致しているが、無窒素区においては葉部におけるウランの分布は少なく、根部へのウランの分布が高くなっている。三要素区におけるハツカダイコンの分布は根部および葉部について 30.3% および 69.7% であった。

3.2 植物の生長に伴うウランの吸収について

ハツカダイコンを播種後約 2 週間目、4 週間目および 6 週間目と 3 回に分けて収穫し、植物の生長にともなう葉部および根部のウランの生物学的吸収比の変化を Fig. 2 に示した。栽培期間が長くなるにつれてハツカダイコンの葉部におけるウランの濃度は幾分大きくなる傾向にあり、また根部については減少の傾向にあった。

3.3 施肥条件によるハツカダイコンへのウランの移行について

高ウラン土壌にハツカダイコンを栽培して各肥料

系におけるウランの吸収に対する施肥条件の影響を Table 2 に示した。栽培期間は約 30 日間、無肥料区を含む欠乏肥料区におけるハツカダイコンのウランの生物学的吸収比は三要素区で栽培した場合に比べて高く、無リン酸区の場合には三要素区の約 7 倍を示した。

3.4 土壌中のウラン濃度とハツカダイコンへのウランの移行について

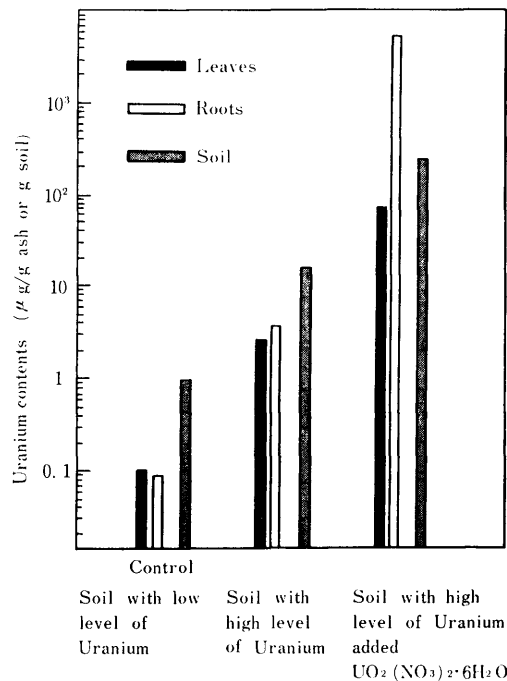


Fig. 3 Absorption of uranium by radish on different levels of uranium in soils.

Table. 2 Accumulation of uranium in radish (Cultivation period : 30 days)

Experimental system	Part	Number of sample	Fresh weight (g)	Mean of B. A. R. ($\times 10^{-2}$)		Uranium contents ($\mu\text{g}/\text{one pot}$)	
				Part	Whole	Part	Whole
Three elements fertilizer (N, P, K)	Leaves	13	460	1.94	2.24	2.49	4.31
	Roots		180	2.92		1.82	
Doubled K fertilizer (N, P, 2K)	Leaves	2	158	2.85	2.85	3.42	4.29
	Roots		101	2.95		0.87	
Doubled P fertilizer (N, 2P, K)	Leaves	3	16.2	2.02	1.97	3.22	5.39
	Roots		12.9	1.87		2.17	
Doubled N fertilizer (2N, P, K)	Leaves	2	87.5	1.30	1.62	1.06	1.99
	Roots		77.2	2.20		0.93	
K deficient fertilizer (N, P, -K)	Leaves	4	390	3.59	6.55	4.93	13.2
	Roots		107	18.4		8.31	
P deficient fertilizer (N, -P, K)	Leaves	7	80	12.2	14.8	4.64	9.58
	Roots		28	26.8		4.94	
N deficient fertilizer (-N, P, K)	Leaves	7	91	3.33	7.34	1.69	6.47
	Roots		116	16.0		4.78	
Non fertilizer	Leaves	1	60	15.6	49.9	0.83	3.50
	Roots		60	154		2.67	

Table. 3 Distribution of uranium in some vegetables

Vegetable	Part	Fresh weight (g)	Ash weight (%)	U contents ($\mu\text{g}/\text{g ash}$)		B. A. R. ($\times 10^{-2}$)		Uranium distribution (%)
				Part	Whole	Part	Whole	
Cucumber	Leaves and stems	285	71.8	0.47	0.46	3.02	2.89	71.1
	Fruits	686	28.2	0.43		2.76		28.9
Radish	Leaves	460	67.8	1.89	2.05	1.94	2.24	62.3
	Roots	180	32.2	2.66		2.92		37.7
Pimiento	Leaves and stems	750	84.9	0.88	0.83	5.21	4.24	82.5
	Fruits	199	15.1	0.55		3.26		17.5

対照土壌、高ウラン土壌および硝酸ウラニル添加土壌を用いて三要素区で栽培したハツカダイコンのウラン濃度と土壌中の移動性のウラン濃度の関係を Fig. 3 に示した。B. S. Prister は 1 N 硝酸溶液で 2 回抽出された量を、V. V. Kovalsky は 0.2 N のクエン酸、酒石酸、シュウ酸および醋酸混合溶液で抽出される化合物を移動性のウランとしているが、著者らは 0.2 N クエン酸により抽出されたウランを移動性のウ

ランとした。Fig. 3 によると硝酸ウラニルを添加した高ウラン土壌に栽培したハツカダイコンのウラン濃度は高ウラン土壌に栽培したハツカダイコンに比べて土壌中のウランの量比以上に高かった。

3. 5 野菜の種類によるウランの吸収の相違について

三要素区において高ウラン土壌に 3 種の野菜、ハツカダイコン、キュウリ、ピーマンを栽培してそれぞれ

の野菜におけるウランの吸収、濃度および分布などを **Table 3** に示した。キュウリ、ピーマンの栽培期間は3か月、ハツカダイコンは約30日について比較したがウランの吸収はピーマンが他の2種に比べて若干高かった。またウランの植物体内の分布は収穫した植物の灰分重量の割合に依存していることが認められた。

3. 6 環境における $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体比の移動について

高ウラン土壌を用いた実験ポット栽培系においてハツカダイコンの栽培を行った結果、栽培に用いた室生地区で採取した土壌の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体比（以下 r 値とする。）は1.16~1.28の範囲にあり平均 1.20 ± 0.04 であった。ハツカダイコンを栽培した後の土壌については栽培前より若干高く平均 1.32 ± 0.01 となった。土壌中のクエン酸溶液抽出による移動性のウランの平均値は 0.71 ± 0.04 であった。収穫したハツカダイコンの r 値は0.78~1.10の範囲にあり平均 0.88 ± 0.09 であった。

4. 研究の考察・反省

奈良県室生地区で採取した高ウラン土壌を用い、ポット法によって温室内で野菜を栽培して土壌中のウランの野菜への移行、分布を検討した。

1) ハツカダイコンにおける部位別のウランの生物学的吸収比は子葉、上位葉においてももっとも高かったが植物に必須の栄養素である土壌中の窒素、リン、カリウムなどの存在量によって影響をうけ、欠乏肥料区において収穫したハツカダイコンの生物学的吸収比は三要素区に比較して高かった。また植物体内のウランの分布はその部位の灰分重量の割合に、ほぼ比例していた。ピーマン、キュウリのウラン分布についても同様であった。カリウムやリン酸は細胞の核蛋白や貯蔵養分を作るのに必要な要素で、欠乏すると根の生育が悪くなるが、無カリ区および無リン酸区については収穫されたハツカダイコンの根部の灰分重量の割合が三要素区に比較して小さく、これに比例して根部へのウランの分布も三要素区の約半分となり、葉部への分布が増加した。H. L. Cannon らによると植物中でのウランの分布は根部に高いと報告しているが、他に種々な植物および放射性核種について実験を行った植物体内分布の報告が広くなされている。今回ハツカダイコンへのウランの分布についてはポット実験における三要素区において葉部が高かったが、栽培土壌中の植物に必要な栄養元素の存在、すなわち肥料成分としての窒

素、カリウムおよびリン酸の濃度が植物中に吸収されたウランの分布に影響を与えていると思われる。また無肥料区を含む欠乏肥料区におけるハツカダイコンのウランの生物学的吸収比は三要素区に栽培した場合に比べて高かったが、これは肥料要素が欠乏しているためハツカダイコンの生育が悪く、収穫量が少ないため灰分重量あたりのウラン濃度が高くなるのに対して三要素区においては生物学的希釈が生じていることが一因である。欠乏肥料区において実際に栽培ポット当り収穫量が少ないにもかかわらず三要素区の1.5~3倍となっていることから欠乏肥料区で生育したハツカダイコン中のウランの生物学的吸収比は高くなったものと思われる。

2) ハツカダイコンにおいては、植物の生長に伴い葉部のウラン濃度はむしろ増加し、根部においては減少の傾向が見られた。山本らによると火山灰土、砂質土および沖積土について栽培した白菜の葉におけるウラン濃度は生長につれて指数関数的に減少すると報告している。高ウラン土壌に6週間栽培した場合ハツカダイコンは根部のほうが葉部より成長が大きく、その生物学的希釈も大きいいため根部のウラン濃度は成長とともに減少し、葉菜および根菜などの種類の差はあるが白菜の葉部についても同様であったと思われる。

3) ハツカダイコンの葉部のウラン濃度と栽培土壌中のウラン濃度との間には正の相関が見られた。栽培実験において添加した硝酸ウラニル以外、土壌中の天然ウランの化学形態はわからないが、同一種でウラン濃度の異なる室生で採取した高ウラン土壌について栽培したハツカダイコンの葉部のウラン量と土壌中の全ウラン量との関係を **Fig. 4** に示した。

これによるとハツカダイコンの葉部のウラン量と土壌中の全ウラン量との間に比較的良い正の相関が見られた。

RADIOISOTOPES, vol. 25, No. 12, 773~778 (1976) に発表。

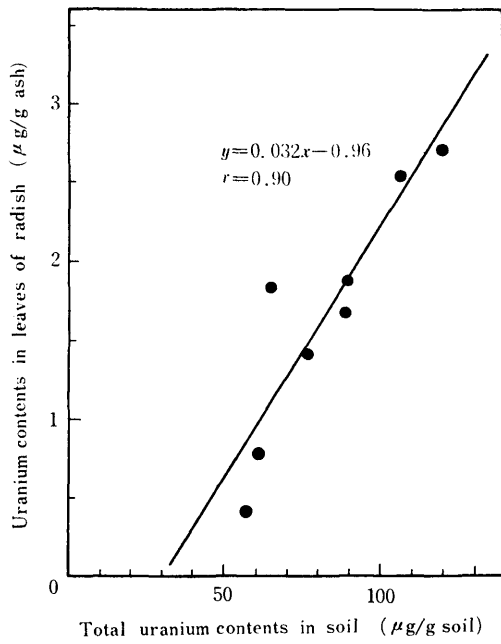


Fig. 4 Correlation between uranium contents in leaves of radish and those in soil.
 r = correlation coefficient