

1. 3. 2 作物葉面における挙動

Behavior of Trace Elements on Leaf Surfaces of Crop Plants

川端 一史, 長谷川 英尚, 塚田 祥文, 高久 雄一, 久松 俊一
環境動態研究部

Hitoshi KAWABATA, Hidenao HASEGAWA, Hirofumi TSUKADA,
Yuichi TAKAKU, Shun'ichi HISAMATSU
Department of Radioecology

Abstract

Radionuclides released into the atmosphere are deposited on the leaf surfaces of crop plants, taken up by the plants, and translocated to other parts from the leaves. Some amount of the radionuclides deposited onto the leaves is removed from the surface by the environmental process called weathering, i.e. removal by rain, wind, etc. Although weathering and translocation are important processes involved in the radiation dose assessment of radionuclides from plants, site-specific parameters to describe those processes have not yet been elucidated. This work aims to establish site-specific parameters for those processes for Cs, Sr, and I using stable elements in a climate chamber in which meteorological conditions are controlled. The effect of rainfall or fog on the behaviors of I (I^- , IO_3^-) on leaf surfaces was studied in FY 2010. Compartment models were constructed for describing the behaviors of Cs, Sr and I by using results from the studies in FY 2007-2010, and the weathering half-lives by rainfall for the elements were obtained with the models.

After applying solid aerosols of NaCl containing NaI or $NaIO_3$ onto the leaf surfaces of radish, *Raphanus sativus*, the plants were treated at different rainfall intensities and rainfall durations using a rain simulator or at different atmospheric liquid water contents and fog durations using a fog simulator. After a plant sample was collected, its leaf surface was washed with a solution containing detergent. The resulting washing solution and the plant sample were analyzed for I. The proportion of I remaining on the leaf surface decreased as the rainfall intensity and duration increased, and in an experiment with a fixed rainfall intensity, the proportion of I remaining decreased according to a function with two exponential terms for rainfall duration. Exposure to fog with the atmospheric liquid water content of 3.5 mg m^{-3} , that is the geometric mean value for fog in Rokkasho, had no effect on removing I from the leaf surface. When the atmospheric liquid water content exceeded 3.5 mg m^{-3} , I was removed from the leaf surface depending on the liquid water content and duration of the fog. The proportion of I remaining on the leaf surface in an experiment with a fixed liquid water content exponentially decreased with the duration.

Compartment models of the target elements were constructed for describing foliar uptake, translocation and weathering by rainfall. Typical half-lives of the target elements were estimated by using the models and actual weather conditions. A unit amount of radionuclide was assumed to deposit onto the leaf surface at noon of a given date, and then the behavior of the radionuclide was simulated with the model

and actual weather condition during 20 d after the date. A half-life was obtained from the remaining proportion in the plant and on the leaf surface on the assumption of exponential decrease. The half-lives were calculated for each day from May to October in 2005 - 2010. The median values of 820 half-lives obtained for Cs, Sr, I⁻ and IO₃⁻ were 10, 7.6, 25 and 6.0 d, respectively. Only the half-life for I⁻ in this study was longer than the weathering half-life (14 d) used in the safety review of the large-scale commercial spent nuclear fuel reprocessing plant located in Rokkasho, Aomori Prefecture, Japan.

1. 目的

作物葉面に沈着した放射性核種は、葉面から吸収され（葉面吸収）、作物内の他の部位へ移行する（転流）が、一部は降水や風等の気象現象により葉面から除去される（ウェザリング）。環境から人体への放射性核種の移行にとって作物は重要な経路であり、作物葉面に沈着した放射性核種の挙動を明らかにすることは被ばく線量評価上必要である。そこで、大型再処理施設の立地する六ヶ所村の気象条件における Cs、Sr 及び I の葉面吸収、転流及びウェザリングの速度を求め、地域特性に即した現実的な被ばく線量計算に反映することを目的とした。

平成 22 年度は、①葉面挙動に影響を及ぼす自然環境条件（霧粒の粒径分布、霧水の pH 等）を実フィールドで観測した。また、②人工気象室において、植物葉面に固体エアロゾルで沈着させた I について、I の化学形態別にウェザリング及び葉面吸収に降雨及び霧が与える影響を調査した。更に、③平成 18～22 年度までの成果を取り纏め、六ヶ所村の平均的な気象条件におけるウェザリング係数を求めた。

2. 方法

①葉面挙動に影響を及ぼす自然環境条件の実測

六ヶ所村内における実測値より、霧粒の平均粒径及び霧水量を求めた。更に、霧水を採取し、霧水の pH 及び霧水に含まれる各種イオン濃度を測定した。

②I のウェザリング及び葉面吸収に降雨及び霧が与える影響に関する室内実験

ハツカダイコンを I 又は IO₃⁻を含んだ固体エアロゾルにばく露した直後に、雨又は霧にばく露し、ばく露終了後に、葉面に残存する I 及び植物体内に吸収された I を測定した。実験は、降雨強度、降雨時間、

霧水量、霧ばく露時間を変えて行った。

③六ヶ所村の平均的な気象条件におけるウェザリング係数の算出

平成 21 及び 22 年度に実施した室内実験により求めた複数の降雨強度と雨ばく露時間の組み合わせにおける Cs、Sr、I 又は IO₃⁻の植物残存率（初期沈着量に対する葉面上存在量と雨ばく露期間中における葉部への吸収量の和の比）を用いて非線形最小二乗法により、植物残存率を降雨強度と雨ばく露時間で表す関数を導いた。得られた関数と平成 19 及び 20 年度に求めた無降水条件における葉面吸収と転流の速度定数を合わせたコンパートメントモデルを作製し、六ヶ所村で実測した降雨頻度と降雨量を用いて降雨によるウェザリング半減期を算出した。

3. 成果の概要

①葉面挙動に影響を及ぼす自然環境条件の実測

平成 18 年から平成 22 年までの測定の結果、六ヶ所村内の霧粒の平均粒径は 15.8 μm であった。また、霧水中に含まれる各種イオン濃度の年平均値に、経年的変動傾向がないことを確認した。

②I のウェザリング及び葉面吸収に降雨及び霧が与える影響に関する室内実験

葉面に沈着した I の降雨による除去には、I の化学形態に依らず、降り始めのウェザリング速度が速い成分とその後の遅い成分の 2 成分があることが分かった。

③六ヶ所村の平均的な気象条件におけるウェザリング係数の算出

植物残存率に与える降雨の影響を式(1)で表し、 a_1 は、1 を超えないように、式 (2) に従うと仮定し、 b_1 は式 (3) に従うと仮定した。

$$y = a_1 \exp(-b_1 t) + a_2 \exp(-b_2 t) \cdots (1)$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

y : 植物残存率

a₁ : 第 1 成分の分配率

a₂ : 第 2 成分の分配率

b₁ : 第 1 成分の速度定数 (h⁻¹)

b₂ : 第 2 成分の速度定数 (h⁻¹)

t : 雨ばく露時間 (h)

$$a_1 = 1 - h \exp(-k R) \cdots (2)$$

$$b_1 = m R \cdots (3)$$

R : 降雨強度 (mm h⁻¹)

h, k, m : 係数

第 2 成分の速度定数 (b₂) は、第 1 成分に比べ、3 桁以上小さいため、 $1 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ の一定値とした。式 (2) と式 (3) を式 (1) に代入し、実験で得られた全ての降雨強度と雨ばく露時間の組み合わせにおける植物残存率を用い、各々の元素又は化学形態について、係数 h、k、m を非線形最小二乗法により求めた。その結果、式 (1) による計算値は概ね実測値を再現できていた。

次に、葉面吸収、転流及び揮散の速度定数として、無降水条件におけるパラメータを使用することとし、式 (1) と合わせて、コンパートメントモデル (Fig. 1)

により、葉面に沈着した放射性核種の挙動をシミュレーションした。即ち、与えられた日の正午に沈着した放射性核種の挙動を以後の実際の気象に応じて計算し、20 日後の収穫時に残留している割合から、Cs、Sr、I 及び IO₃⁻ について半減期を求めた。これを平成 18~22 年の 5 月から 10 月までの毎日について求め、得られた 820 の半減期の統計量を Table 1 に示した。得られた半減期は、正規分布にも対数正規分布にも従わなかったため、代表値は中央値とした。

その結果、Cs、Sr、I 及び IO₃⁻ の半減期は各々 10 日、7.6 日、25 日及び 6.0 日となった。大型再処理施設の安全審査で用いられている農作物に沈着した放射性核種のウェザリング除去率は、放射性核種の種類及び気象条件に依らず一定な値であり、 $5.7 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ である。この値から半減期を計算すると 14 日になる。本調査の Cs、Sr 及び IO₃⁻ の半減期は、安全審査での値 (14 日) より短かったが、I の半減期はより長かった。したがって、より現実的な被ばく線量評価を行うためには、放射性核種及びその化学形の違い並びに気象条件を考慮する必要があると考えられる。

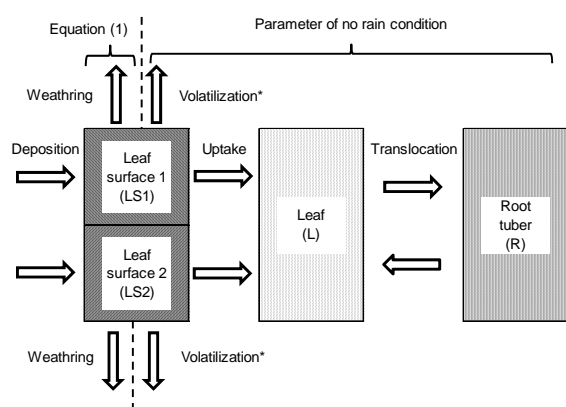


Fig. 1 Compartment model describing foliar uptake, translocation, volatilization and weathering by rainfall of Cs, Sr and I in plant.

* Only for I.

Table 1 Statistics of half-lives calculated for Cs, Sr, I and IO_3^- using the compartment model (Fig. 1).

Statistic	Half life (d)			
	Cs	Sr	I	IO_3^-
Arithmetic mean	9.7	7.3	23	5.7
Standard deviation	3.7	2.6	5.9	0.9
Geometric mean	8.7	6.7	21	5.6
Median	10.3	7.6	25	6.0
Minimum	0.32	0.32	0.67	0.41
Maximum	15.1	11.7	33	8.6
n=	820	820	820	820