速 報

福島県における降下した放射性物質のコムギ組織別イメージングとセシウム 134 およびセシウム 137 の定量

田野井慶太郎***, 橋本 健**, 桜井健太**, 二瓶直登***, 小野勇治***, 中西友子**

*東京大学 生物生産工学研究センター

**東京大学大学院 農学生命科学研究科

113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

***福島県農業総合センター

963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116

2011 年 6 月 13 日 受理

著者らは、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質の麦への蓄積様式について、 γ 線放出核種の同定及び分布について明らかにした。5 月 15 日のコムギについて核種分析したところ、 ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出され、これらを足した放射性セシウム濃度は、枯葉で約 284 500 Bq/kg と穂の約 300 Bq/kg と比較して約 1 000 倍と突出して高い値であった。次に、5 月 26 日のコムギについて、各葉位、穂及び茎に分けて同様に測定したところ、放射性セシウム濃度は、事故当時既に展開していた葉において高く、事故後展開した葉も含め、古い葉の順に高い値であり、穂が最も低い濃度であった。これら放射性物質の分布を可視化したところ、既に展開中の葉においてスポット状に強いシグナルが観察された。これらの結果から、事故時展開していた葉で高濃度に検出される放射性物質は、放射性降下物が直接付着したものが主であることが示唆された。一方で、事故時展開していなかった葉においても、古い順に放射性セシウム濃度が高かったことから、植物体内において葉へ移行した放射性セシウムは転流（再分配）されにくいことが示唆された。

Key Words : radioactive fallout, wheat, Fukushima Daiichi nuclear accident, imaging plate, caesium-134, caesium-137, radioactivity measurement

1. はじめに

これまでに、土壤に降下した放射性物質、とりわけセシウムが作物（可食部）に吸収される割合、すなわち移行係数に関する知見は数多く、2011 年 5 月 27 日に農林水産省よりプレスリリースされた「農地土壤中の放射性セシウムの野菜類と果実類への移行について」において、野菜類及び果実類について、移行係数が示されている¹⁾。この移行係数は、農作物中のセシウム濃度（生鮮, Bq/kg）を土壤中のセシウム（乾土, Bq/kg）で除することで求められる。現在地球上に存在する ^{137}Cs は数百回にわたる大気圏核実験やチェルノブイリ事故由来であり長期

間にわたって降下し続けていた。これらの作物への移行に関して長期間の土壌及び農作物の調査²⁾に代表されるように、国内外問わず知見は数多い。

一方、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質が降下している中生育していた作物に関する情報として、出荷作物中の ^{134}Cs , ^{137}Cs 及び ^{131}I の濃度 (Bq/kg) が測定されている。しかし、放射性物質が降下している中生育していた作物において、どの組織にどのような濃度で、更になどのような状態で放射性物質が存在するか、についての知見は少ない。特に今回の福島第一原子力発電所事故に由来する放射性物質の動態につ

いては、対処を講じるためにも一刻も早く正確な情報をわかりやすく提供する必要があると考えた。

そこで本研究では、当該事故の前より生育していたコムギについて、各部位及び各葉位を分けて γ 線放出核種の分析を行った。更に、葉における放射性物質の蓄積様式に関する情報を得るため、イメージング・プレートにおいて放射性物質の可視化を行った。

2. 実験方法

2.1 コムギ・オオムギの生育方法とサンプリング方法

ムギ畑（灰色低地土，基肥 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=1\text{-}1\text{-}1$ kg/a）において、「きぬあずま」，「ゆきちから」，「アブクマワセ」（以上コムギ），「シュンライ」（オオムギ）を畝間 70 cm で播種量 0.8 kg/a で直播きした。尚，2 月 25 日に硫酸アンモニウムを 0.3 kg/a 追肥した。その後，3 月 1 日と 3 月 20 日に展開した葉を 10 個体計測し平均値を算出した。サンプリングは，出穂後に 2 度行い，1 回目は 5 月 15 日で 2 回目は 5 月 26 日に実施した。畝間 70 cm で生育しているコムギを 1.5 m 分採取した。

1 回目のサンプリングでは，きぬあずま（コムギ）を 2 反復で行った。部位は，Ge 半導体検出器による γ 線核種分析のために，穂，茎，葉，枯葉の四つに分けた。また，イメージング・プレートによる放射性物質分布解析のために，穂，止葉，止葉の一つ下の葉（葉-1），同二つ下（葉-2），同三つ下（葉-3）に分けて採取した。

2 回目のサンプリングでは，きぬあずま，ゆきちから，アブクマワセ，シュンライを 3 反復で行った。Ge 半導体検出器による γ 線核種分析はきぬあずまについて行い，部位を穂，茎，止葉，止葉の一つ下の葉（葉-1），同二つ下（葉-2），同三つ下（葉-3），その他の葉（葉その他）に分けた。イメージング・プレートによる放射性物質分布解析は四つの品種について，葉位ご

とに採取した。

2.2 ゲルマニウム（Ge）半導体検出器による核種分析

採取したサンプルを 250 mL の容器に封入し，ゲルマニウム半導体検出器でサンプルの放射線量に応じて最大 36 000 秒測定した。その後 γ 線スペクトロメトリ法により核種を同定した。 ^{134}Cs は 604.7 keV を， ^{137}Cs は 661.6 keV を定量に用いた。同容器で検量線を作成し，崩壊率（Bq）を算出した。

2.3 イメージング・プレートの方法

採取したサンプルはケント紙に配置し，ポリプロピレン製のラップで覆った後，イメージング・プレート（IP MS2025，Fuji Film 社）に 7～10 日間， -80°C で静置した。その後，FLA-5000（Fuji Film 社）において，解像度 100 μm で読み出しを行い，photostimulated luminescence 値を画像として取得した。

3. 実験結果及び考察

3.1 Ge 半導体検出器による核種分析

核種分析は，きぬあずまについて実施した。測定した全てのサンプルについて， ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出されたものの， ^{131}I や ^{140}La といった他の核分裂核種は検出されなかった。よって定量は ^{134}Cs と ^{137}Cs について行った。

1 回目のサンプリング結果について Fig. 1 に示した。枯葉において 284 500 Bq/kg と突出して高い濃度の放射性 Cs が検出され，その値は通常の葉（約 3 000 Bq/kg）の 100 倍であった。また，穂の放射性 Cs 濃度は更に 10 倍低く，約 300 Bq/kg であった。この結果から，古い葉に放射性 Cs が多いことが予想された。そこで，より詳細な分布を調べるために，2 回目のサンプリングでは葉位ごとに分けて実施した。その結果，最も古い葉の分類に当たる「葉その他」の放射性 Cs 濃度が約 1 000 000 Bq/kg と最も高く，新しい葉位に従い減少し，穂が最も

Fig. 1 2011 年 5 月 15 日にサンプリング (1 回目) したきぬあずま (コムギ) の放射性セシウム濃度。(b) は, (a) の一部を拡大したもの。(a) の右側の数字は Bq/kg を示す。

Fig. 2 2011 年 5 月 26 日にサンプリング (2 回目) したきぬあずま (コムギ) の放射性セシウム濃度。(b) は, (a) の一部を拡大したもの。(a) の右側の数字は Bq/kg を示す。

少なかった (Fig. 2)。Table 1 にきぬあずまの葉位と葉数について示した。震災以前である 3 月 1 日と放射性物質が降下した後の 3 月 20 日の出葉数から、放射性物質の降下が起きた時には、葉-2、葉-1、止葉、の各葉はまだ抽出していなかったことがわかる。これら未抽出の葉の放射性 Cs 濃度は、完全に展開していた葉に比較して少なくとも 20 倍以上低いことが示された。以上のことから、放射性 Cs 濃度は、既に展開している葉で突出して高いことから、降下物が直接葉に蓄積した可能性が示唆された。

3・2 イメージング・プレートによる放射性物質の可視化

放射性物質がどのような形態で葉に蓄積しているかを調べるため、イメージング・プレートを利用して放射性物質の分布を可視化した。イメージング・プレートは、ポジトロン放出核種

を用いた実験において、 β 線の感度が高く、511 keV の γ 線の影響をほとんど無視できることが報告されている³⁾ことから、今回降下した放射性物質のうち、 β 線を放出する核種を可視化していると考えられる。また、遮へいや画像処理を駆使することでエネルギーの大きく異なる 2 核種を分別して可視化できる手法が報告されている⁴⁾ものの、複数核種を分別して可視化することは困難である。原子炉から放出が予想される核分裂生成核種及びその娘核種で β 放出核種は、 ^{131}I (半減期 8.03 d), ^{86}Rb (18.6 d), ^{134}Cs (2.07 y), ^{136}Cs (13.16 d), ^{137}Cs (30.08 y), ^{89}Sr (50.53 d), ^{90}Sr (28.79 y), ^{90}Y (64 h), ^{91}Y (58.51 d), ^{140}Ba (12.75 d), ^{140}La (1.68 d) 等があげられる。半減期や Ge 半導体検出器による γ 線スペクトルで検出された核種等から、今回検出された放射性物質は ^{134}Cs や ^{137}Cs の寄

Table 1 コムギ・オオムギの生育段階

緑色で示した葉は、3月20日において展開していたことを示す。

止葉が最新葉で、葉-1、葉-2……と新しい順に並べた。葉数は、当該ムギの発芽後からの葉の枚数である。つまり、きぬあずまは、10枚葉が出た後に穂が出ることを表している。

品種		平均出葉数		葉数					
		3月1日	3月20日	止葉	葉-1	葉-2	葉-3	葉-4	葉-5
きぬあずま	小麦	5.7	6.5	10	9	8	7	6	
ゆきちから	小麦	6.4	7.4	13	12	11	10	9	8
アブクマワセ	小麦	6.6	7.4	10	9	8	7	6	
シュンライ	大麦	6.6	7.5	12	11	10	9	8

Fig. 3 イメージング・プレートによる「きぬあずま」(5月15日採取)の放射性物質の分布。

左から順番に、止葉、葉-1、葉-2、葉-3、穂である。

青矢印⇨は、3月20日付近で未抽出の葉を示す。

与が大きいものと推察する。一方、 ^{89}Sr や ^{90}Sr の寄与、及び天然に存在する ^{40}K の寄与も否定はできない。

Fig. 3に、1回目のサンプリングによるきぬあずまの結果を示した。古い葉において、スポット状の放射性物質の蓄積が見られた。一方、3月20日付近まで未展開であった葉を青の矢印で示したが、それらの葉へのスポット状の蓄積は観察されなかった。また、穂も実施したが、やはりスポット状の蓄積は観察されなかった。

次に、2回目のサンプリングで採取した4品種についてイメージング・プレートの結果をFig. 4に示した。同様に、3月20日付近で展開していなかった葉において放射性物質のスポ

ット状の蓄積が見られなかった。これらの傾向は、全ての品種で同様であった。

これらスポット状の蓄積が事故時展開葉に多く見られたことは、Ge半導体検出器による各葉位中の放射性Cs濃度と同様の傾向であった。このスポット状の蓄積がどのように生じたかは今後の課題であり、スポットを構成する成分解析が必要である。

降下物が直接作物を汚染した可能性について、チェルノブイリの事故時の研究報告がある²⁾。チェルノブイリにおいては4月26日に爆発事故が起こったが、日本では ^{137}Cs の降下と出穂が重なる状況となり、降下物と穂の ^{137}Cs の量に相関関係があることから、降下物から直接穂

写真

イメージング・プレート

重ね合わせ

「きぬあずま」

写真

イメージング・プレート

重ね合わせ

「ゆきちから」

写真

イメージング・プレート

重ね合わせ

「アブクマワセ」

写真

イメージング・プレート

重ね合わせ

「シュンライ (オオムギ)」

Fig. 4 イメージング・プレートによる各ムギ (5月26日採取) の放射性物質の可視化。

左から順番に、止葉、葉-1、葉-2、葉-3……と並べた。

ゆきちからは、右上の葉が最も古い葉-6である。

青矢印は、3月20日付近で未抽出の葉を示す。

が汚染されたことが示されている²⁾。今回、事故後降下物があったとされる3月中旬はまだ出穂していなかったことから穂の放射性物質濃度が低かった一方、当時展開していた葉が直接汚染されたことが示された。更に、その汚染はその後1か月以上経た後も、スポット状に吸着していることが今回示された。降下物があった当時まだ発生していなかった葉や穂へ移行したCsが古い葉上に観察されたスポット状由来であるのか、土壌由来であるのか、については本実験では明らかにできない。今回の解析を次年

以降にも行うことで明らかになるものと思われる。

イメージング・プレートで放射性物質として検出できる核種として放射性Srの可能性も否定できない。よって、Srを定量する必要があると考えるが、その方法はとても複雑で多サンプルの測定は非常に困難である。今後、放射性Srの定量を実施するには測定を簡便にする方策を練る必要がある。

6月現在、コムギはそろそろ収穫期を迎える。本モニタリングと放射性物質分布の解析を収穫

時まで継続しデータを示すことで、農業への貢献を期待したい。

文 献

- 1) 農地土壤中の放射性セシウムの野菜類と果実類への移行について、平成 23 年 5 月 27 日農林水産省プレスリリース, <http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouan/110527.html>
- 2) 駒村美佐子, 津村昭人, 山口紀子, 藤原英司, 木方展治, 小平 潔, わが国の米, 小麦および土壌における⁹⁰Sr と¹³⁷Cs 濃度の長期モニタリングと変動解析, 農環研報, **24**, 1-21 (2006)
- 3) Nogushi, J. and Suzuki, K., Imaging plate characteristics of positron emitters: ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O, ¹⁸F and ³⁸K, *Radiochim. Acta*, **89**, 433-437 (2001)
- 4) Ishibashi, H., Yamawaki, M., Hirose, A., Noda, A., Kanno, S., Saito, T., Masuda, S., Seyama, S., Tanoi, K. and Nakanishi, T. M., Double-tracer radiography with sulfur-35 and phosphorus-32 using imaging plates in *Brassica napus* L., *RADIOISOTOPES*, **59**, 75-79 (2010)

Abstract

An Imaging of Radioactivity and Determination of

Cs-134 and Cs-137 in Wheat Tissue Grown in Fukushima

Keitaro TANOI^{*,**}, Ken HASHIMOTO^{**}, Kenta SAKURAI^{**}, Naoto NIHEI^{***}, Yuji ONO^{***} and Tomoko M. NAKANISHI^{**}: ^{*}Biotechnology Research Center, The University of Tokyo, ^{**}Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan, ^{***}The Fukushima Agricultural Technology Centre, 116 Shimonakamichi, Takakura, Hiwadamachi, Koriyama-shi, Fukushima Pref. 963-0531, Japan

Radioactivity imaging and radioactivity measurement of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs were performed for a wheat plant grown in Fukushima, after about 2 months of Fukushima Daiichi nuclear accident. The radioactivity was about 100 times higher in the withered leaves (about 300 kBq/kg) than new leaves (about 3 kBq/kg). The radioactivity was the lowest in panicles. The images by an imaging plate showed that the high radioactivity was found as many spots in the old leaves, suggesting that the radionuclides are strongly adhered to the leaves.