

## 放射性物質の農耕地への影響：放射生態学の視点から考える

村松康行（学習院大学理学部）

### はじめに

福島第1原子力発電所の事故により、環境中に大量の放射性物質が放出され、土壤を始め様々な農作物が汚染された。主な汚染経路は、大気からの沈着経路と土壤からの経根吸収経路の2つが考えられる（図1）。初期には、大気からの沈着経路が重要であり、ホウレンソウなどの葉もの野菜を中心に放射性ヨウ素（<sup>131</sup>I）の野菜に対する暫定規制値（2000Bq/kg）を大きく超える値が測定された。しかし、放射性ヨウ素の半減期は短いため時間経過に伴い、濃度は減少した。その後、雨などとともに大気中の放射性セシウム（<sup>137</sup>Cs 及び <sup>134</sup>Cs）が土壤に加わり、土壤中の濃度が高くなり、土壤からの経根摂取経路が重要と思われた。5月以降、様々な農作物で高い濃度が検出され、新茶、タケノコ、ウメ、柚子、クリなどでは放射性セシウムの暫定規制値（500Bq/kg）を超えるものも出てきた。しかし、これらは土壤からの移行では説明できない。後で述べるが、転流が効いていると考えられる。もちろん、多くの農作物は土壤から放射性セシウムを吸収するため、土壤から農作物への移行経路は重要である。

ここでは、（1）放射性セシウムの土壤から水稻への移行、（2）新茶や果樹への移行経路、（3）山菜やキノコへの移行、（4）生態系での放射性セシウムの挙動について、今までの状況を振り返りながら、また、過去のデータも混ぜながら述べる。放射性物質の農作物への移行は、作物の種類、土壤の種類、生育環境などが異なると大きく変化する可能性があり、非常に複雑である。ここでは、放射生態学的な視点も混ぜながら考えていきたい。

### 1. 水稻への移行予測（3月下旬の段階）

放射性セシウムの汚染が明らかになってきた3月下旬の段階で、どの程度の濃度であれば稲の作付けを行うことができるのかを推定しなければならなかった。そのためには土壤から米（玄米）への移行係数を用いた推定が重要である。参考になるデータとしては、農業環境技術研究所で1950年代後半からデータをとっていた米および土壤中の放射性セシウムの分析結果である。図2に、日本各地で採取された玄米中の<sup>137</sup>Cs濃度の経年変化について農業環境技術研究所が出した値をまとめ示す。この図からわかるように、1963年ころにピークがあり、その後核実験停止条約が結ばれると急激に減少した。移行係数もこのピークのあたりでは上昇しており、このときの移行係数は高いと考えられる。移行係数の設定には、放医研や環境科学技術研究所で行われた、米への移行係数を求めるフィールド調査やRIポット実験の結果も参考にした。農水省や県で検討が行われた結果、安全側に考えられた移行係数として、0.1という値が出された。この値か

ら食品の暫定値である 500 Bq/kg を超えないためには、土壤中の濃度として 5000Bq/kg という値が決められた。つまり、この濃度以下であればその土壤で栽培された玄米は 500Bq/kg を超えないと考えられる。もっとも、玄米への移行係数として今回用いられた 0.1 という値は、かなり余裕を持って見積もられており、通常は 0.01 かそれ以下である。この原稿を書いている 9 月半ばでは早場米のモニタリング値が出てきており、多くが数 10Bq/kg 未満であり、高くて 100Bq/kg を超えることはなく、規制値を大幅に下回っており、一安心したところである。データが出そろってからでなくては結論できないが、セシウムは土壤の粘土質に強く吸着しており移行し難かったと考えられる。しかし、土壤の質が違うと移行に大きな差がある場合もある。

土壤の違いが移行係数に与える影響として筆者等が以前に行った RI トレーサーを用いたポット実験の結果を図 3 に示す。土壤の種類としては、灰色低地土 (gray lowland soil) と黒ボク土 (andosol) を用い、それに添加した放射性セシウムや放射性ストロンチウムの水稻 (日本晴れ) の各部位への移行を調べた。図 3 から分かるように、黒ボク土の方が灰色低地土より稻のどの部位にも移行し易いことが分かった。玄米への移行係数は、黒ボク土の場合は 0.09 程度であり、灰色低地土ではそれよりもかなり低く、0.015 程度であった。これは、セシウムを吸着しやすい粘土鉱物が灰色低地土に多く含まれており、稻へは移行しにくかったと推定される。また、黒ボク土は有機物 (腐植質) の含有量が多く、セシウムはそれほど強く吸着しておらず、根を通じて取り込まれ易い傾向にある。他の元素においてはどうか調べた結果からは、ストロンチウムに関しては、この 2 つの土壤においてはセシウムと同程度の移行係数が認められた。また、マンガンは、黒ボク土より灰色低地土の方が移行係数は高かった。このようなことから、土壤中の濃度だけではなく、土壤の種類に関しても考慮することが大切である。

## 2. 新茶や果樹への移行経路は?

5 月 11 日に神奈川県足利の新茶(茶葉)から 570Bq/kg と暫定規制値を超える放射性セシウムが検出された。その後、静岡県でも荒茶で規制値を超えるものが見つかった。これらの地域では野菜など他の農作物には高い値は検出されておらず、移行メカニズムが謎であった。その他、放射性セシウムの暫定規制値を超えた農作物は、5 月以降では、福島産のタケノコ、梅、ビワ、柚子などであったが、これらの移行経路についても不明な点が多くあった。

我々は、放射性セシウムの茶葉 (新茶)、タケノコ、種々の果物への移行メカニズムについて検討を行った。

神奈川県産のお茶 (茶葉) に関して得られた放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$  と  $^{134}\text{Cs}$  の合計) の濃度 (生重量換算) は、古い葉では 1200Bq/kg 程度、新しい葉および新芽 (6 月時点) では 500Bq/kg 前後であった。一方、お茶の木の真下の土壤中の濃度は、表層 0-2.5cm で 44Bq/kg、それ以深では 20Bq/kg 以下と低かった。また、根の部分 (ひげ根) の濃度

も  $40\text{Bq/kg}$  と低い値であった。これらのことから考えると、土壤から根を通じた放射性セシウムの移行はそれほど多くはなく、ほとんどが古い葉から取り込まれたものが転流により新芽に移行したものと考えられる。

また、梅は事故時に葉は出でていなかったものの開花期を迎えており、子房（肥大後果実に相当）に付着した放射性セシウムが実に取り込まれ、特に小梅に規制値を超える値が検出されたと推定する。ビワは事故時に葉が出ており、そこに付着した放射性セシウムが果実部に転流したと考える。サクランボ、モモ、ナシ、リンゴなど事故時には葉が出ていなかったが、果実にある程度の移行が認められたことから、樹皮に付着した放射性セシウムが実の部分に転流したと考えられる。しかし、実の重量が増加するに従い、濃度は減少する傾向にあった。樹皮についている総量は葉がある場合に比べ少ないので、モモなどでは果物中の濃度もそれほど大きくはならなかった。収穫時のモモに含まれる放射性セシウム濃度は多くても  $50\text{Bq/kg}$  程度であり、規制値を大幅に下回った。

タケノコについても、葉（笹）を調べると高い値が検出され、まだ定かではないが、土壤からの寄与よりも、葉からの転流がタケノコ可食部に高い値がでた原因と考える。

今まで、放射性セシウムの農作物への移行経路は土壤からの取り込みが主であると考えられていたが、上述したように、葉や樹皮に着いたものが転流により新芽や実の部分に移行することが分かった。このメカニズムは、これらの作物だけでなく、広範囲に汚染されている森林における放射性セシウムの生物地球化学的循環を調べる上でも重要であると考える。

### 3. 山菜やキノコへの移行

山菜やキノコに比較的高濃度の放射性セシウムが取り込まれることが以前から知られている。特にキノコへはセシウムが取り込まれ易く、チェルノブイリ事故の後にヨーロッパ各地で高い濃度が報告された。我々が 10 年以上前に、様々な日本のキノコに含まれる放射性セシウムを測定した場合も高い値（乾燥重量だが最高で  $16000\text{Bq/kg}$  程度）が観察された。

キノコへ放射性セシウムが濃縮され易いことは次の要因による。キノコの菌糸が生育する森林のリター、腐植層、倒木などは有機物に富んでいるため、粘土成分が少なく放射性セシウムは動きやすい化学形態にあり、菌糸に取り込まれ易いと考えられる。

図 4 に同一の森で採取したキノコ中の放射性セシウム濃度と、その菌糸の生育域およびその深度における土壤中の放射性セシウムの濃度を示している。これは、1980 年代後半に行った研究データであるので、放射性セシウムの起源としては、主として核実験のフォールアウトであり一部がチェルノブイリから飛来した放射性セシウムである。この図から見ると、キノコ中とその菌糸の生育場所の放射性セシウム濃度には相関があることが分かる。今後、福島の森に沈着した放射性セシウムのキノコへの取り込みを考える場合にも、これら過去におけるデータも役立つと考えられる。

#### 4. 生態系での放射性セシウムの挙動

農耕地の生態系においては、土壤の種類が放射性セシウムの移行を考える上で非常に重要である。有機物（腐植質）が多い土壤ではセシウムが移行し易いと考えられる。例えば、米の収穫時において従来では稲わらをすき込むが、稲わらが汚染されている場合は、葉や茎に吸収された放射性セシウムを土に戻してしまうばかりでなく、有機物中のセシウムは植物に吸収され易い形態であるため、注意が必要であろう。畑などに、汚染した腐葉土を入れることも避けなければならない。農地での有機栽培などに利用されていた稲わらや腐葉土は、汚染の度合いにもよるが、農地の生態系に入ってしまうと作物の汚染が長期間続く原因になる可能性がある。

今まででは、放射性セシウムの農産物への移行経路は土壤からの取り込みが主であると考えられていた。しかし、上述したように、お茶や果実などでは葉や樹皮に着いたものが転流により新芽や実の部分に移行することが分かった。この転流の経路は、果樹園における生態系や森林生態系における放射性セシウムの動きを考える上で重要である。

森に生育する野生のキノコには今後非常に高い放射性セシウムが検出される可能性がある。特に、菌糸の位置は重要になり、菌糸が浅いキノコに関しては早い時期に濃度が高くなると考えられる。一方、菌糸が深い場所にあるキノコは、何年後かに高い値が出る可能性がある。キノコは森林生態系における分解者として物質循環に重要な役割を担っている。また、同時に、放射性セシウムの循環にも大きく影響してくると考えられる。

放射性セシウムの半減期は長いことから、農地や森林の汚染は長期間にわたり続くことになる。一年目のデータは特に重要であり、できるだけ多くの成果を集積していくことが重要であろう。また、それらの研究成果を今後の対策に生かすことが求められている。

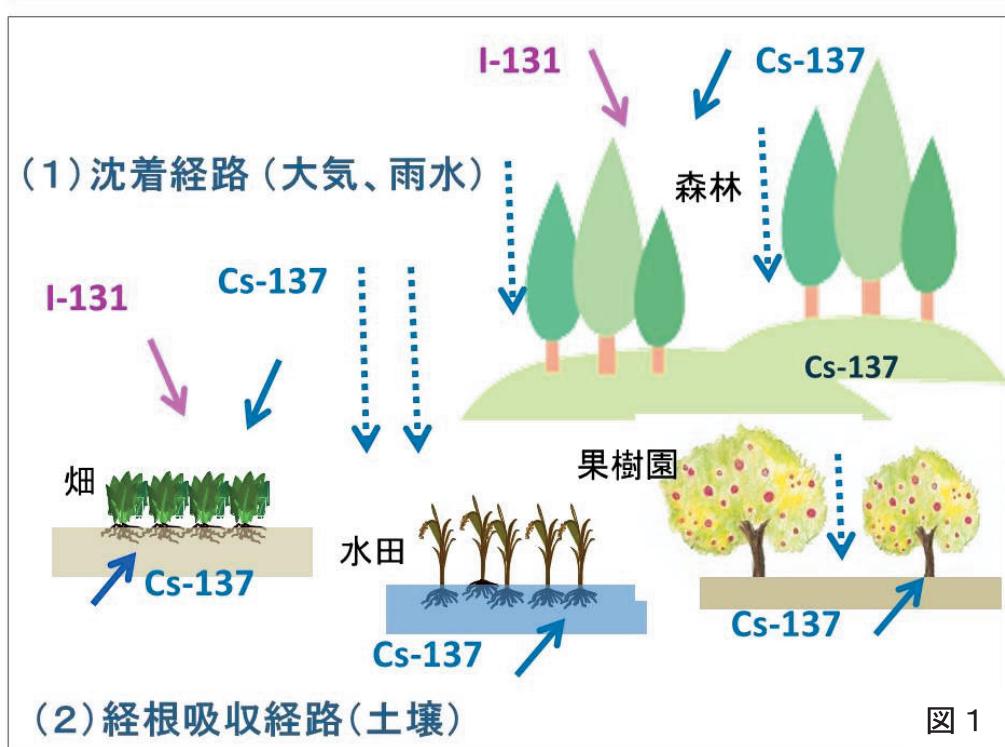


図 1

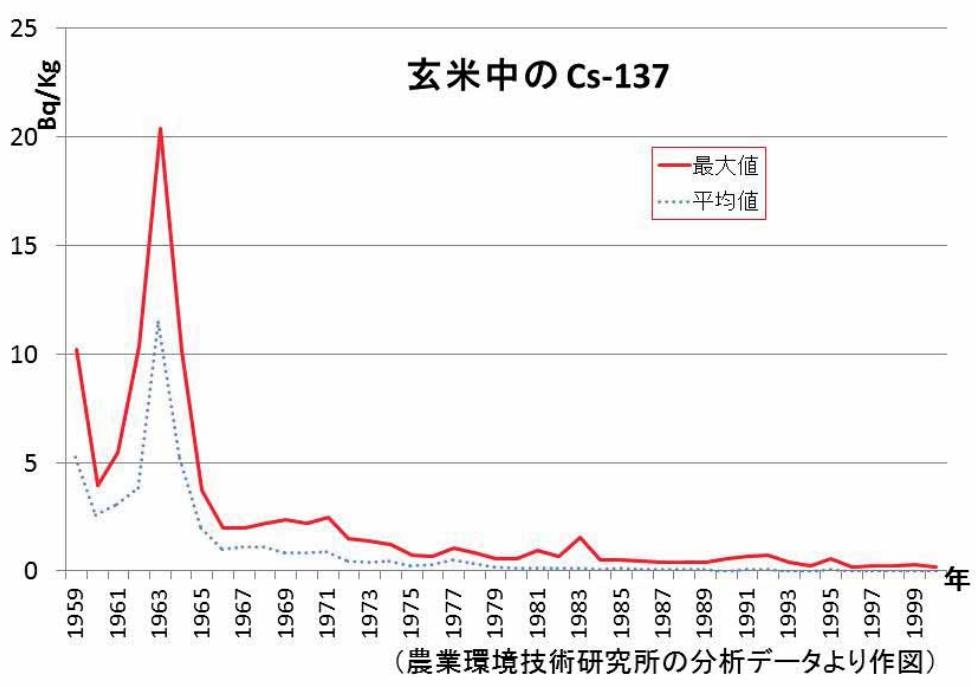
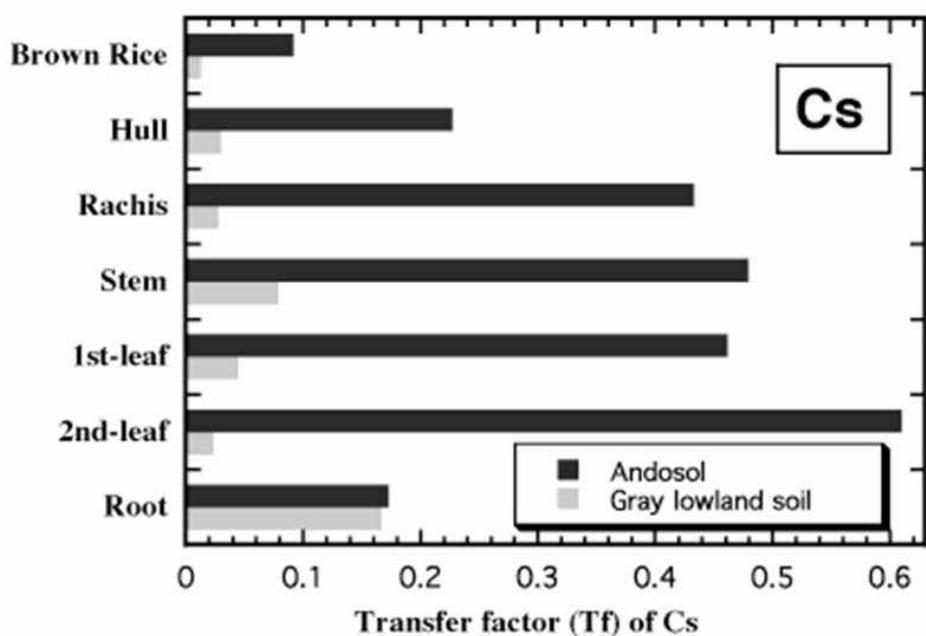


図 2



Transfer factor (Tf) of Cs for rice plants grown on Gray lowland soil and Andosol  
Muramatsu (unpublished)

図 3

#### キノコ中のセシウム-137と菌糸の位置の関係

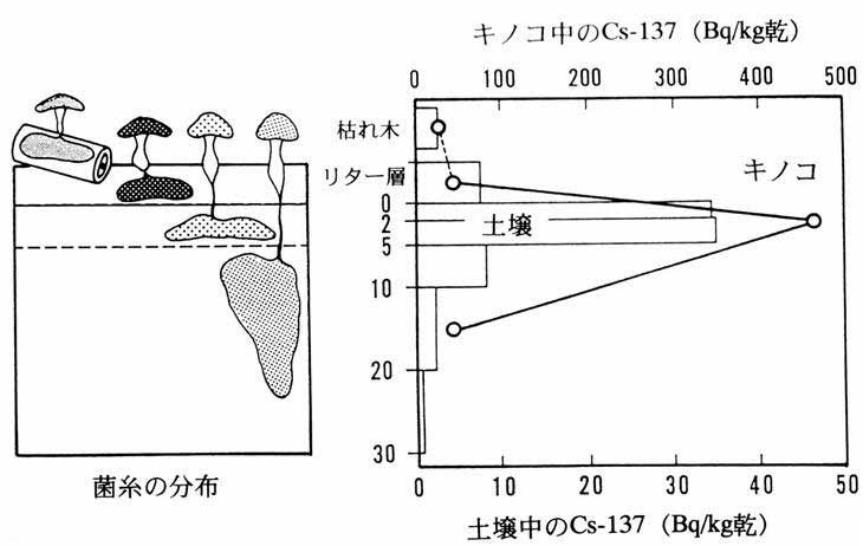


図 4