

食物連鎖を考慮した人体における 放射性物質の残留量の水文学的算定手法の提案に 向けた基礎的研究

Kulthida CHOOKHUMSRI^{1*}・山田 正²

¹中央大学理工学研究科都市環境学専攻（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

²中央大学理工学部都市環境学科（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: k.chookhumsri@civil.chuo-u.ac.jp

東日本大震災の福島原発事故により放射能が社会的な問題となっている。そのため、放射性物質が人体にどのくらい留まるか。既往の研究からの流れ、放射能の計算に関して、多段タンクモデルの概念を用いて食物連鎖を考えることで、植物プランクトンから始まり、最終的に人間に入ってくる放射能の計算を行う。この論文では、まず放射性物質の保存関係に関する理論構成を示した上で、一例として土壌における放射性物質の挙動の解明を行って理論の有効性を示す。

Key Words : radioactive, cesium137, human body, hydrology, tank model, food chain

1. 緒言

2011年3月に起きた福島原子力発電所の事故は放射性物質の漏洩を引き起こした。漏洩した放射性物質による食品や土壌、水系の汚染に対して今も国民の多くが過剰な不安を抱いている。国民の放射性物質への過剰な不安の一因は放射性物質及び放射線への基礎的な知識の欠如によるものである。例えば東日本大震災により漏洩したセシウム137がどの程度、人体に影響を及ぼすのか正しく理解している人は殆どいないであろう。では何故、放射性物質について理解することが出来ないのだろうか。その要因の一つに、既往の研究に用いられるモデルは厳密であるが複雑化しすぎており、一般的な技術者が理解することが困難であるという問題がある。また既往のモデルは厳密ではあるが複雑すぎるために計画論に用いるには適していない。その一因に、既往の研究に用いられる放射線防護委員会(ICRP: International Commission on Radiological Protection)による放射性物質による人体への影響を求めるモデルは厳密であるが複雑化しすぎており、専門外の人々が理解することが困難であるという問題がある。本研究では水文学における流出解析の観点から簡便で扱いやすいモデルを用いて、人体における放射性物質の挙動

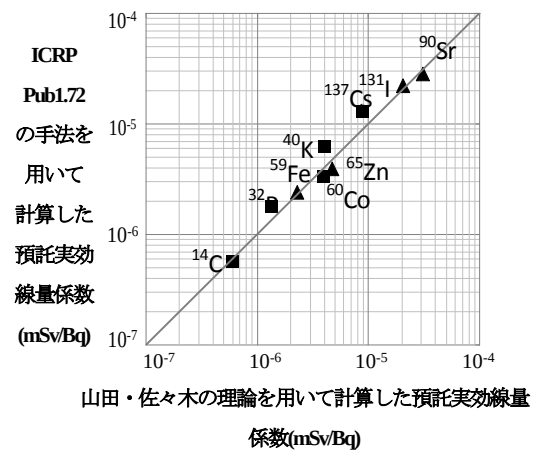


図-1 国際放射線防護委員会(ICRP PubL72)によって定められた預託実効線量係数と山田・佐々木の理論によって求められた預託実効線量係数の比較

と影響の解明を行う。そこで、山田・佐々木らは水文学の観点から人体における放射性物質の影響を保存式のみを用いて求める理論を提案した。この理論を用いて人体における経口摂取による預託実効線量係数を求め、国際

放射線防護委員会によって定められた預託実効線量係数と比較した。その結果、図-1に示すように本理論による計算は同等の精度を持つ。

2. 研究目的

東日本大震災による原子力発電所の地震津波被害による放射性物質の大気への拡散と、汚染水の海洋への放出が国民へ多くの不安を与えている。よって多少専門から離れた分野だが土木工学を学ぶ者として、水文学の知見を有用に適用することで放射性物質から放射される放射線の影響について正しい知識を国民へ提供することを本研究の目的とする。水文学には降雨をもとにどの位の流量が流域から流出かを求める流出解析と言われる解析手法がある。そこで本研究では水文学の知見から人体を一つの流域とみなし、人体を一つの流域システムと考える。また、それに食物連鎖を考慮することで、植物プランクトンから始まり、最終的に人体に入ってくる放射性物質の残留量の計算を行うというような内容である。図-2に多段タンクモデルを用いた食物連鎖の考え方を示す。この論文では、まず放射性物質の保存関係に関する理論構成を示した上で、食物連鎖を念頭に置きつつ、一例として土壌における放射性物質の挙動の解明を行って理論の有効性を示す。

3. 放射性物質の保存関係に関する理論構成

水文学における降雨流出解析には集中型流出モデル(Lumped model)と、対象流域を複数の流域に分割する分布型流出モデル(Distributed model)がある。山田らは降雨流出解析の研究成果より流域の細部の流量を知る為には流域の細分化が必要であるが、流域の懸案地点の流量を知るためには集中型流出モデルも分布型流出モデルと同等の精度を持つこと示した。このことから人体を細分化して行う放射線医学の既往研究に対し、人体を一つの連続的な組織として見なすことにより簡便な式を用いて放射性物質の挙動と影響を求めることが出来る。本理論は人体や土壌などを一つのシステムと見なすことにより、システム内に時刻 t に存在する放射性同位元素の原子数を $N(t)$ とし、単位時間における放射性物質の流入フラックス(放射性同位元素の原子数) $r_{foul}(t)$ とする。また放射性同位元素の原子核崩壊による原子数は指数関数的に減少する、崩壊定数を α_p とすると放射性原子の崩壊数は残留量に比例することから $q(t) = \alpha_p N(t)$ となる。システム内の放射性同位元素の原子数に関する保存式は

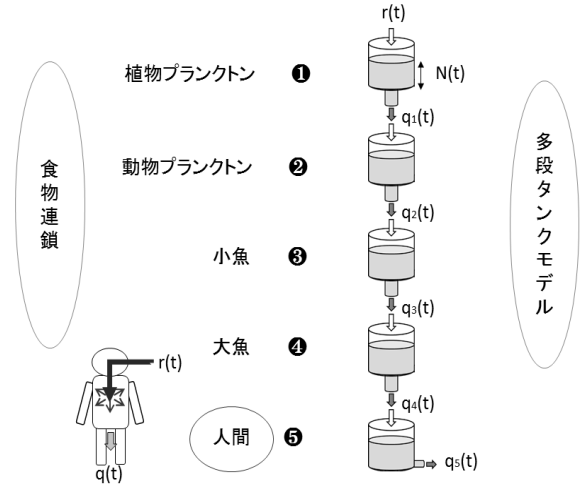


図-2 多段タンクモデルを用いた食物連鎖の考え方

(1)式になる。(1)式における減衰定数は α_p 放射性同位元素の半減期より定まる。(1)式において流入量が無い時、半減期を T_p とすると体内の放射性原子数が1/2になるのは T_p の時であり、減衰定数 α_p は(2)式で示される。

$$\frac{dN(t)}{dt} = r_{foul}(t) - \alpha N(t) \quad (1)$$

$$\alpha_p = \frac{\log_e 2}{T_p} \quad (2)$$

(2)式から半減期を与えることにより、唯一のパラメータである α_p を厳密に求めることが出来る。しかし、実際に計算を行うには我々が知りえる情報は放射性同位元素の原子数ではなく、放射線強度フラックス(Bq) $\alpha_p r_{foul}(t) = h(t)$ である。よって(1)式の両辺に α_p をかけることにより、 $\alpha_p r_{foul}(t)$ は放射線強度フラックスであり、知りえる値となる。また $\alpha_p N(t)$ は単位時間に崩壊して消失していく原子数 $q(t)$ であり、かつ発生する放射線強度 $h(t) = \alpha_p N(t)$ である。ここで $r(t) = \alpha_p r_{foul}(t)$ を体内に流入する放射線強度フラックスとすることにより、(4)式を得る。(1)式と(4)式から体内の放射線強度も体内の放射性物質の原子数と同様に保存量として扱うことができる。

$$\frac{d(\alpha_p N(t))}{dt} = \alpha_p r_{foul}(t) - \alpha_p (\alpha_p N(t)) \quad (3)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = r(t) - \alpha_p h(t) \quad (4)$$

これは、1タンクモデルの例である。水田にて育成された白米に含まれるセシウム137の蓄積量の算出をおこない、水田に降下したセシウム137を含んだ白米を摂取することにより人体が受ける実効線量を求める。

4. 水田におけるセシウム137の保存関係

土壌における放射性物質の挙動の解明を行う。一例として水田におけるセシウム137の挙動の解明を行う。図-3に水田におけるセシウム137の変動要因を示す。水田(単位面積 m^2)へ降り注ぐセシウム137の放射線強度フラックス(Bq/m^2)を $r(t)$ 、水田におけるセシウム137の減少要因は放射性物質の原子核崩壊による減少を $q_p(t)$ 、セシウム137の植物への吸収による減少を $q_1(t)$ 、表層土に付着したセシウム137の流出による減少を $q_2(t)$ 、下層への浸透による減少を $q_3(t)$ とする。水田から流出するセシウム137の(5)式で示される。水田におけるセシウム137の保存式は(6)式となる。

$$q(t) = q_p(t) + q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) \quad (5)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = r(t) - q(t) \quad (6)$$

水田におけるセシウム137減少要因は植物への吸収による減少、表層土に付着したセシウム137の流出による減少、下層への浸透による減少の和でありこれらの総和を $q_{\text{soil}}(t)$ とする。よって水田におけるセシウム137の保存式は(7)式となる。また土壌における放射性物質の減少が残留量に比例すると仮定すると、(7)式は(8)式となる。各半減期を用いる減衰定数を α_p 、 α_{soil} とする。

$$\frac{dh(t)}{dt} = r(t) - q_p(t) - q_{\text{soil}}(t) \quad (7)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = r(t) - \alpha_p h(t) - \alpha_{\text{soil}} h(t) \quad (8)$$

パラメータはセシウム137の物理的半減期30年を用いている。水田における滞留半減期は(2)式と(8)式から(10)式で計算できる。

$$\begin{aligned} \frac{dh(t)}{dt} &= r(t) - \alpha_p h(t) - \alpha_{\text{soil}} h(t) \\ &= r(t) - (\alpha_p + \alpha_{\text{soil}}) h(t) \end{aligned} \quad (9)$$

$$T_e = \frac{T_p \cdot T_{\text{soil}}}{T_p + T_{\text{soil}}} \quad (10)$$

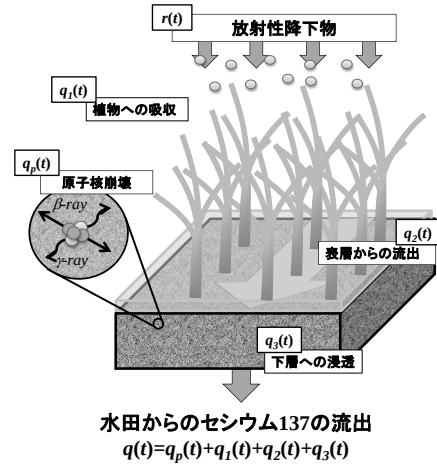


図-3 水田におけるセシウム137の変動要因

5. セシウム137を含む水田にて生育された白米を摂取することによる人体への影響

本節ではセシウム137を含む白米の摂取により、人体へのセシウム137の蓄積量を求める。これは放射性降下物として水田に降り注いだセシウム137が水田に残留し、セシウム137を含む水田で育成された白米に移行するセシウム137の量を移行係数を用いて求める。移行係数とは農作物中のセシウム137濃度(Bq/kg)を土壌中のセシウム137濃度(Bq/kg)で割ったものである。本研究で用いる移行係数は農林水産省によって定められた0.1を用いる。本研究においては白米へのセシウム137の移行は土壌から流入のみとしている。水田に降り注ぐセシウム137は $10000\text{Bq/(m}^2 \cdot \text{year)}$ とした。駒村らによる日本における水田の滞留半減期の平均値(18.1年)と原子核崩壊のみ半減期(30年)の2ケースの場合の水田におけるセシウム137の残留量の計算を行い、比較を行った。その結果、図-4に示す通り用いる半減期により水田におけるセシウム137の残留量は異なる。人体への蓄積量の計算に、水田の滞留半減期は最も危険である場合を想定し物理的半減期のみの30年を用いる。人体におけるセシウム137の生物学的半減期は100日を用いる。白米の摂取量は日本人の成人男性の平均摂取量である 7.3kg/year を用いる。図-5に白米の摂取により、人体に蓄積するセシウム137の残留量を示す。白米に含まれるセシウム137の残留量は、水田における滞留半減期の影響を受けており、水田における滞留半減期よりも人体における実効半減期の方が短いことから、セシウム137の人体への蓄積量は水田の蓄積量より小さいことが解る。

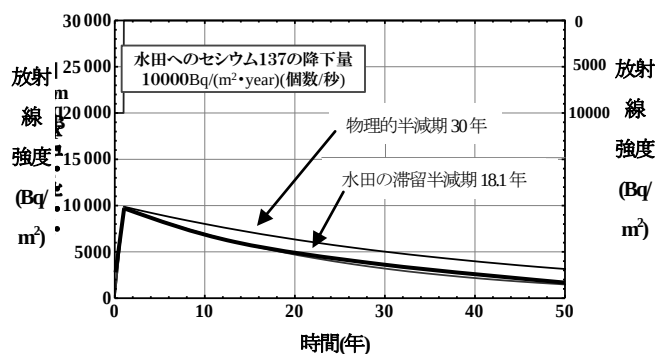


図-4 水田におけるセシウム 137 の挙動の比較
(厚線には駒村ら農業環境技術研究所の報告書の滞留半減期を用いた)

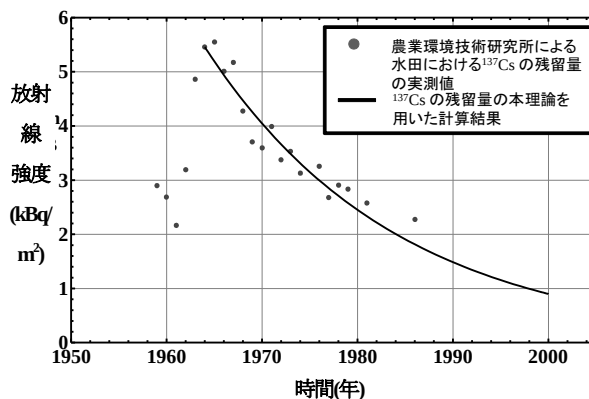


図-5 水田におけるセシウム 137 の駒村らによるセシウム 137 の水田における経年変化の実測結果と本理論による計算結果の比較

6. 結論

本研究では、水文学の観点から人体における放射性物質の保存関係を簡便な式を用いて示した。放射能の計算に関して、多段タンクモデルの概念を用いて食物連鎖を考えることである。まず、この手法で1タンクを計算した。人体と同様の理論を用いて土壌(水田)における放射性物質の残留量を求めた。セシウム137が降下する水田で育成された白米に含まれるセシウム137の蓄積量を求め、セシウム137を含んだ白米の摂取により人体に蓄積するセシウム137の残留量を求めた。上記の結果から水田に降下したセシウム137の量よりも、人体に蓄積する

セシウム137の残留量ははるかに少ないことがわかった。今後はこの手法を食物連鎖を考慮して考える。

参考文献

- 1) 米田駿星, 山田正, 山田朋人: 水文学を用いた人体における放射性物質の残留量と放射線強度に関する研究, 第39回関東支部技術研究発表会 プログラム, 2012.
- 2) 佐々木翔太: A hydrologic-based lumped methodology for the internal dose calculation,, 中央大学博士論文, pp.6-29, 2016.
- 3) International Commission on Radiological Protection: Age-dependent doses to the members of the public from intake of radionuclides - Part 5 compilation of ingestion and inhalation coefficients, Ann. ICRP, 26 (1), 1995.