

東北地方太平洋沖地震以降の福島県内のモニタリングポストの 放射線計測データの解析

佐藤 佳子¹⁾ 熊谷 英憲²⁾

Analysis of radiation measurement data from monitoring posts in Fukushima prefecture
after Northeast Japan Great Earthquake

Keiko Sato Hidenori Kumagai

1) 桜の聖母短期大学 Sakura no Seibo Junior College

2) 海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

要 旨

2011年の東北地方太平洋沖地震での福島第一原子力発電所の事故を受け、福島県の内外の各地域に増設されたモニタリングポストによれば、原子炉放出起源の放射能が拡散や放射壊変による減衰で自然放射線量とほぼ同程度まで減少している。しかし、阿武隈山地に代表される花崗岩地帯では、岩石中に含まれるカリウムやウラン由来の自然放射能が極地的に高くなる場合もみられる。降雨による線量上昇も一般的によく知られているが、今回福島市のモニタリングポストの放射線量が降雨によらず、一般的な自然放射線量の2倍程度あることが見受けられた。そのため、地域地質の天然由来の放射線量との差異を求め、現在の放射線量が若干高くなっている原因を考察する。

Abstract

We investigated the time series data of environmental radiation from monitoring posts, widely set both inside and outside of Fukushima Prefecture since the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant following to the Northeast Japan Great Earthquake in 2011. Our investigation showed that radioactivity spread from the nuclear reactors have decreased to nearly the same level as natural radiation levels possibly due to chemical diffusion and radioactive decay. However, in granitoid areas such as the Abukuma Mountains, natural radioactivity from potassium and uranium in basement rocks can raise natural radiation level there. On the other hand, environmental radiation dose generally increases at rainfall. In contrast, it was not the case in the radiation levels observed by monitoring posts in Fukushima City, approximately twice as high as those in other areas, regardless rainfall. Therefore, we conclude the present difference of environmental radiation levels among Fukushima Prefecture seems to be controlled in two factor level by local geology, approximately.

Key words : natural activity, monitoring post, geological background, U, K

キーワード：自然放射能、モニタリングポスト、地質学的背景、ウラン、カリウム

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、福島第一原子力発電所の事故がおこった。10年以上たって、各モニタリングポストで現在観測される環境放射線のうち、自然放射能起源と人工放射能起源を分けることが、今後の環境影響評価を考える上で重要となってきた。2011年の地質学会のウェブサイト¹⁾で解説されているように、実測に基づく自然放射能分布の改訂版（今村ほか2008）²⁾に加えて、地質データから計算によって求める方法がある（Fig.1）。¹⁾ また1970年代から実測を行ってきた放医研では、都道府県別データを公表しているが（たとえば、放医研、2005）³⁾、産総研では地質学的地球化学的なデータに基づいて自然放射能を核種それぞれ詳細に推定、可視化している。

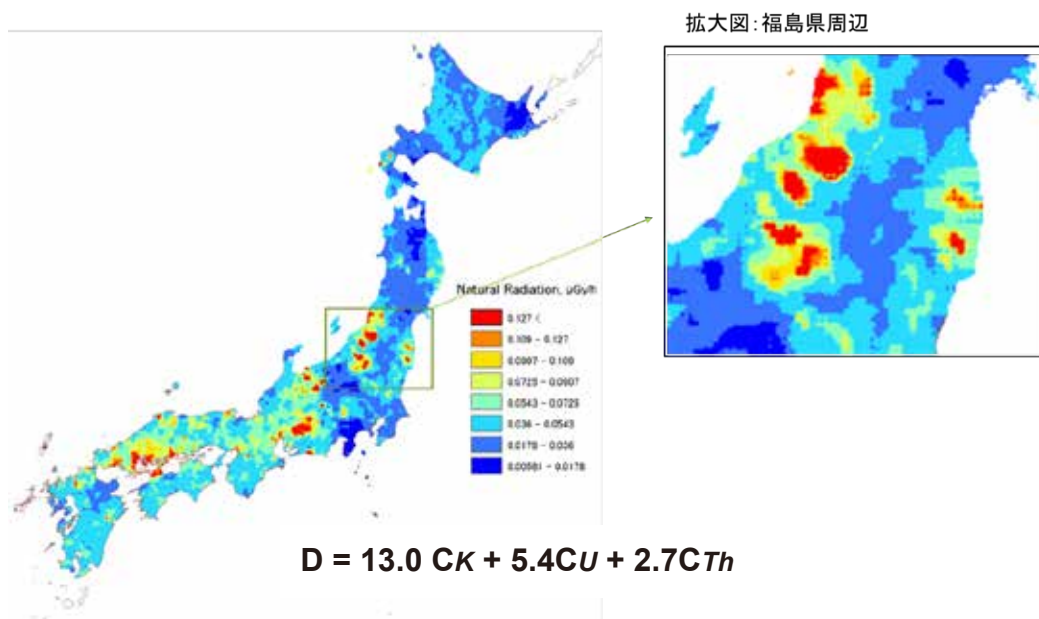
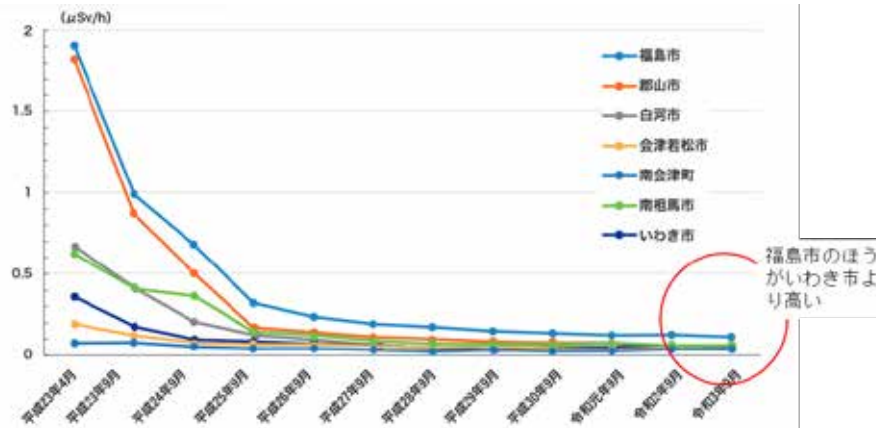


Fig.1 日本の自然放射能と福島県の自然放射能に加筆^{1) 2)}

[1999～2003年試料採取，2004年発表]に加筆。K；カリウム，U；ウラン，Thトリウム。

2022年現在、県内の環境放射線強度は浜通りの福島第一原子力発電所の付近の帰宅困難地域以外の区域では、除染や環境拡散による計測放射線量の低下で、自然放射能レベル（0.05-0.08 μSV）まで下がっている（Fig.2）。一方、中通りや会津地方などでは、自然放射能レベルまで低下した浜通りの放射線量の約2倍になっており、それらは降雨でのエアロゾル降下による自然放射能の増加に関係なく、晴天時にも2倍程度なことが県内外で不安が表現される一因となっている。

花崗岩地帯である阿武隈山地を控えるいわき市や中通りの石川町では、ペグマタイト鉱床の近くや、真砂化した花崗岩（風化して砂になった花崗岩）がある地帯などで、局地的に土壌や基盤のカリウムやウラン濃度が高い。なかでも、石川町は、同町の町立歴史民俗資料館によれば戦時中にはウラン燃料の確保のために学徒動員もあったとされている（2019年8月、西日本新聞記事）⁴⁾。中通り地方では、2011年の事故当時内陸部へ向かって吹いた南東よりの風に乗って、発電所から拡散で広がった放射能の除染が問題となっていた。JAEA編（2015）⁵⁾；奥村（2021）⁶⁾によれば、土壌中の雲母中に吸着固定されているものと推察されている。雲母の風化時にセシウムとカリウムの元素置換があるような解説図が載っており、このモデルに沿えばセシウム（Cs）-134はすでに壊変してわずかとなっていると考えられ、Cs-137がわずかに残り、地表にはあまり影響はないと期待される。

Fig.2 福島県内の空間線量率に加筆⁷⁾

今回、この10数年のモニタリングポストのデータについて解析を行った。データから福島第一原子力発電所の付近や、現在でも帰宅困難地域や立ち入り禁止地域となっているところを除き、環境放射線量はすでに自然放射能レベルまで低下しているが (Fig.2; ふくモニ、2022)^{7) 8)}、中通りなどでは、火山層序などの影響で自然放射能レベルが2倍程度となっていると予想した。コンクリートや建材、砂利などにカリウムや、ウランを含むものが含まれていれば、瀬戸物が粘土鉱物の影響で自然放射能が高いことがあるように、局地的には環境放射線強度が高くなっていることもありえる。しかし、地域として2倍程度高いため、2011年の放射能汚染マップデータ⁹⁾より減衰していった、現在の環境放射線を火山・地質などと合わせた解析が必要である。

2. 地質学的背景と空間線量データの計測法

2.1 地質背景と基盤岩

蟹沢・相田 (2013)¹⁰⁾に従って、福島県の地質背景を要約すると、福島県は、地形・歴史・文化の面から、太平洋と阿武隈山地に挟まれた「浜通り」阿武隈山地と奥羽山脈に挟まれた「中通り」、更に奥羽山脈と越後山脈に挟まれた「会津」の3地域に分けられる。地質学的な特徴としては、阿武隈山地は白亜紀に貫入した広大な花崗岩類、それらに挟まれた阿武隈変成岩類を主体とする。阿武隈山地東縁には北上山地の延長と考えられる、松ヶ平-母体変成岩類、古生層、中生層、更に白亜紀花崗岩類などが分布する。阿武隈山地は標高400~1000mの比較的平坦な高原状山地を呈し、所々にハンレイ岩類のやや高い残丘状の地形がみられる (Fig.3)。

福島県の東縁にある浜通りは、南北に走る双葉断層によって阿武隈山地と区画され、中生界と古第三系・新第三系、さらに更新世の海岸段丘や完新統が分布する。中通りは、阿武隈川流域に沿った細長い地域で、主に新第三系、第四系、および第四紀の火山噴出物によって覆われている。白河周辺では、第四紀初期に活動した白河火砕流が広く分布している。会津地方は、福島県の中でもっとも広大な面積を占めており、地質学的にも複雑である。会津地方と中通りの間には、北から奥羽山脈が延び、那須火山帯に属する吾妻山、安達太良山、磐梯山などの第四紀火山が聳える。会津若松とその周辺には、会津盆地が発達する。磐梯山の南には日本で4番目の面積をもつ猪苗代湖がある。これらの火山岩類に覆われて新第三系が広く分布する。さらに西方の栃木県境には沼沢火山や奥日光の燧ヶ岳火山などがある。第四紀火山や新第三系の基盤としては、南会津郡、檜枝岐付近に西南日本から連続するジュラ紀の付加体コンプレックスが分布する。さらに、福島県のほぼ中央をNNW-SSE方向に走る「棚倉構造線」は、白亜紀およびそれ以前の東北日本と西南日本を分ける重要な意義をもつ (Fig.3)。¹²⁾

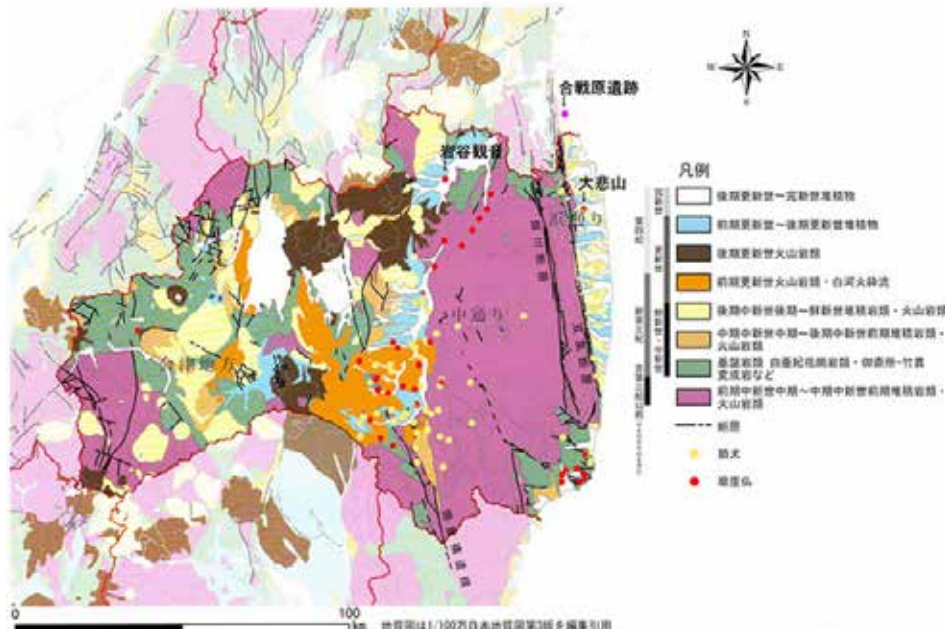


Fig.3 福島県の地質と磨崖仏・狛犬の分布に加筆¹⁰⁾

2.2 空間線量計測法

環境省¹⁵⁾によれば、測定前にキャリブレーションされた機器類の健全性をチェックした後、その後バックグラウンド測定（ $[0.3 \mu\text{SV/h}]$ レンジ、 $[30\text{sec}]$ 時定数に設定）を行う。現場での測定は、原則として地上約1mの高さで測定し、測定計数レンジを調整してメータの指示値が目盛の中央付近になるよう調整し、時定数の調整は測定の目的に合わせる。指示値に測定条件毎に決まっている校正定数を掛けることにより、線量当量率（ $\mu\text{SV/h}$ ）を求めることができる。測定器の使用上の注意点として、使用前に動作が正常かどうか確認する事、精密機器のため丁寧に扱うこと、雨天時や汚染レベルの高い区域での測定では測定器をポリエチレンシートで被うことなどがある。今回はこれらの測定方法に比較的則ったデータを固定地点で観測したモニタリングポストのデータを用いる。

3. 土壌データ

蟹沢・相田（2013）¹⁰⁾によれば、このような地質と地形からなる基盤を持つ福島県の土地利用と土壌の関係は、おおむね次のFig.4のようである¹⁵⁾。まず、福島県の70%の面積は森林地帯が占め、会津地方に限ればさらに割合が高い。また、中通りの阿武隈山地とそれに接する浜通りの西側地域も森林地帯が多い。これら森林地帯の土壌は褐色森林土である。いっぽう、県内他地域の土壌に注目すると、花崗岩類の多い阿武隈山地の土壌は風化変質赤黄土である。また、火山の裾野には黒ぼく土が広く分布する。福島盆地や会津盆地には沖積層土壌が堆積する。これらに対して浜通り地域の丘陵地域では陸成未熟土や沖積層土壌が大部分を占めている。

これら土壌と農業生産との関係はほぼ次のようになる。まず会津や福島などの沖積盆地では稲作、黒ぼく土地域では果樹園芸が行われている。阿武隈山地ではかつて養蚕やタバコ生産も行われていたが、最近はほとんど消滅し、果樹・蔬菜栽培へと変化した（中村、1997）¹¹⁾。浜通りは稲作、果樹・蔬菜栽培などである。施肥に用いられる肥料には一般的にカリウムなども多く含まれるため、これらが影響を及ぼすかどうかとも検討が必要である。

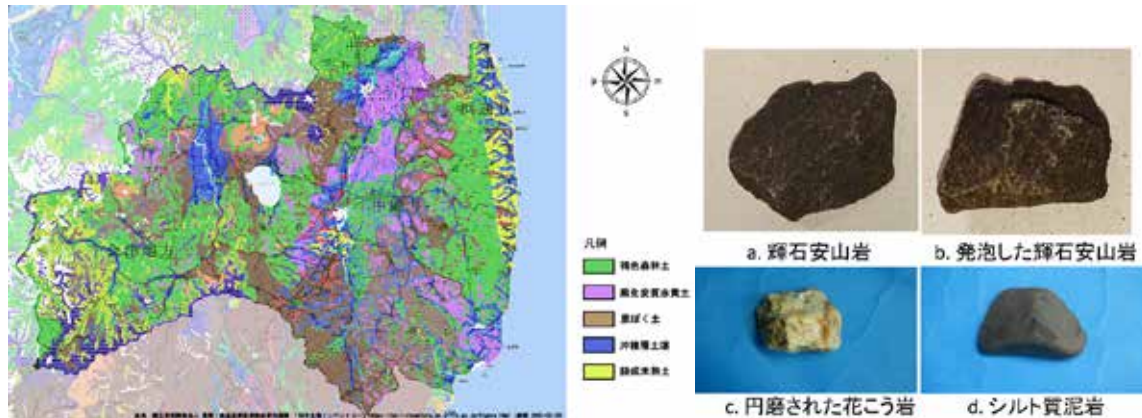


Fig.4 福島県の土壌¹⁰⁾に加筆および、福島市周辺の砂利などの表層沖積層より採取した岩石

※カリウム（K）中には、天然由来の放射性K-40が一定量含まれている。そのため、岩石中や土壌・植物などにも一定量天然由来の放射性カリウムが含まれる。

4. 地球化学データ

産業総合研究所の地球化学図をデータの解析に利用する。この際、注意点としては、試料採取密度が $10 \times 10 \text{ km}$ に1試料であること、また、一部の元素は、低値を与える可能性があること、大都市の市街地での試料採取を避けていること、値の変動は $1/2 \sim 2$ 倍程度あること、作図にあたって、離散的なデータ保管を表示しているため示された濃度値カテゴリー値における最大値・最小値は、実際の最大値・最小値とは異なることなどである。福島県付近の地球化学データベース¹²⁾を参考に、2008年の今村らの報告によれば、ウラン、カリウム、トリウムの濃度から地質の基盤情報から得られる自然放射能を試算できるため、それらのデータを用いて地質、土壌、空間線量などを比較検討する。

5. 地質学的に考えられる自然放射エネルギーについて

地質および、地質に含まれるカリウム、ウラン、トリウムからみられる自然放射エネルギーについて検討する。Fig.5は産業総合研究所の地球化学データベース¹²⁾よりマッピング抽出したデータである。ウラン、トリウムに関しては、地質学的にFig.3で示した花崗岩地帯もしくは、酸性岩地帯の分布に一致する。

カリウム分布は、地質学的な花崗岩地帯や酸性岩地帯と一致するとともに、カリウムが高いデータについては、高アルカリ玄武岩の分布する地域とも重なるため、新生代の火山岩類・火山砕屑物の分布域とも重なる。また、カリウムに関しては、森塚（2009）¹³⁾によれば、黒ぼく土（Fig.4）は、カリウムを $170 \sim 349 \text{ g/kg}$ と多く含む場合があり、赤色土の 133 g/kg より濃度が高い。農地では農作物の栽培のために、カリ肥料なども使われていることもあり、降雨などで広く沖積層に反映されと考えられる。

一方、Fig.6 aのようにCs-134は半減期2.06年であり、事故発生からは5半減期を過ぎ6半減期にかかろうとしているため、ほぼ検出限界に近い。現状分析できるのはCs-137となる。また、Cs-137は半減期30.17年なため25%程度しか物理的には減衰していない。従って福島第一原子力発電所の事故時の初期値Cs-134：Cs-137 = 1：1と仮定した場合の、この12年程の物理的減衰率をシミュレートするとFig.6のように減衰曲線を算出することができる。

ふくモニ⁷⁾に示されている福島県の空間線量（ $\mu \text{SV/h}$ ）が、福島市のみ未だ高くなっている背景には、一つには地質学的な基盤となる火山岩類（Fig.3）、また一つには土壌（Fig.4）のカリウム濃度が高いことからの自然放射能の影響がある。カリウムはアルカリ元素なので、降雨などにより溶け出し、沖積層へ流出吸着もしくは沈着されている可能性がある。

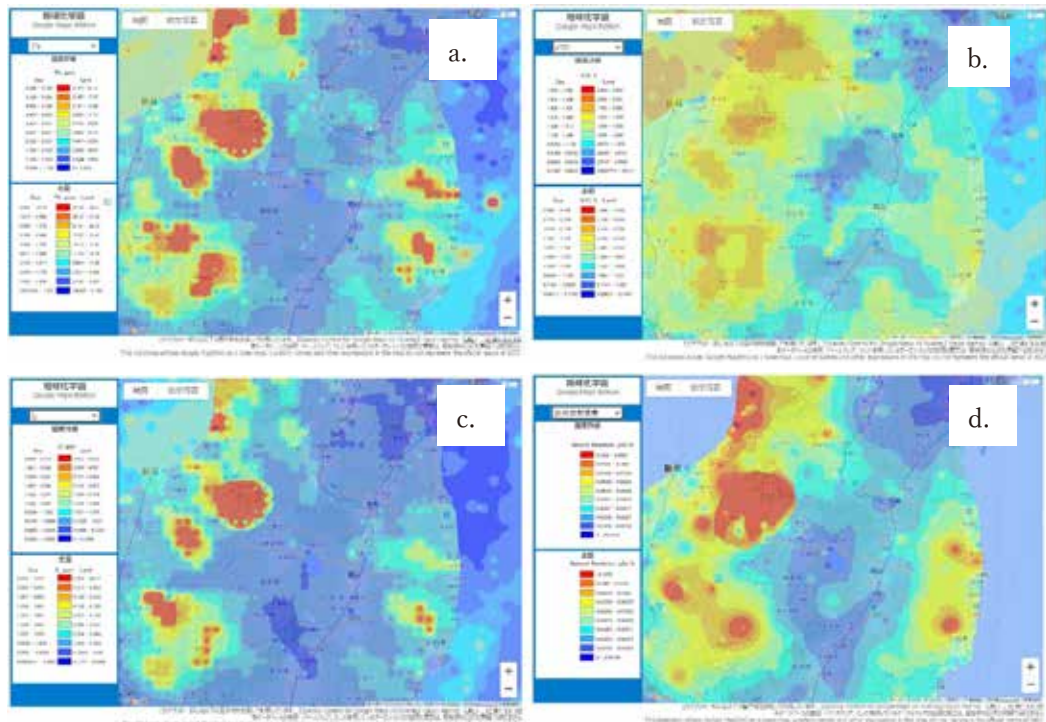


Fig.5 福島県周辺の地球化学図と自然放射能¹²⁾より抽出作成

a. Thの分布 b. K₂Oの分布 c. Uの分布 d. 自然放射能の分布

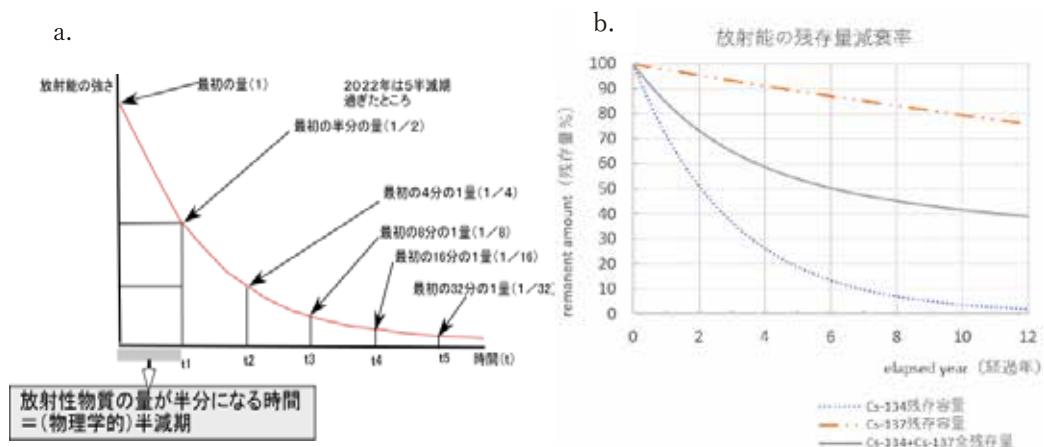


Fig.6 物理学的半減期と放射能の減衰率

a. 物理的半減期 b. 放射能の残存量のシミュレーション

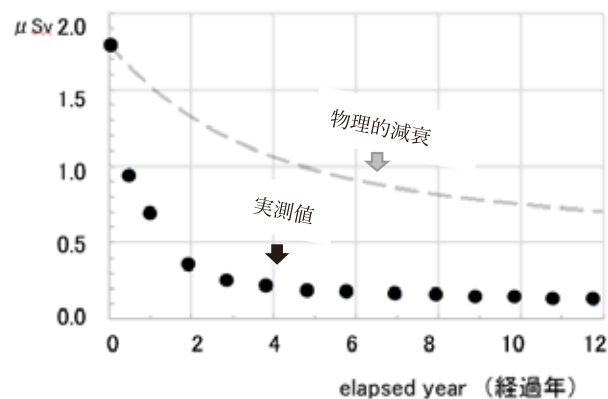


Fig.7 空間線量の物理的減衰の推定値と実測値

以下に、ふくモニ⁷⁾のデータとしての2011年3月の初期値からシミュレートした場合の推定される空間線量の物理的減衰と、実測値からのグラフを重ねたのが、Fig.7である。放射壊変による物理的減衰よりも空間線量実測値の減衰は速やかであることから、環境化学的拡散や擾乱の影響が大きいことが窺える。

空間線量の短期間の変動は、降雨のあとに、地面や土壌に雨水もしくは空気中の浮遊粉塵が沈着や吸着されるため、上昇する場合がある。管家ほか¹⁵⁾・佐藤ほか¹⁶⁾によれば、近年のモニタリングポストの空間線量の値については、降雨後に一時的に上昇する場合があったとしても、空間線量はその後元にもどっており、高いままになっていることはなかった。これにより、時系列データ上は降雨の影響は識別できるといえる。

6. ま と め

2011年の東北地方太平洋沖地震での福島第一原子力発電所の事故を受け、福島県の内外の各地域にモニタリングポストが増設された。この空間線量データによれば、原子炉放出起源の放射能が拡散や放射壊変による減衰で自然放射線量とほぼ同程度まで減少していることが確かめられた。特に福島市の火山性碎屑物や肥料の影響を受けた沖積層においては、それらに含まれるK、U、Thなどの影響で本来の自然放射能が若干高くなっていることが窺われた。半減期から推定される物理半減期よりも環境拡散などにより、自然放射能レベルまで下がっていることが、地域地質の天然由来の放射線量との差異からも確認された。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、環境科学に関するデータに関して桜の聖母短期大学の方々に機会を頂いたことに感謝の意を表す。また、放射線関連のデータベースや分析データの解析にお世話になった、海洋研究開発機構、福島工業高等専門学校の方々に感謝の意を表す。モニタリングポストのデータに関しては、原子力規制庁委託の日本分析センター「日本の環境放射能と放射線」のデータベースを参考にさせて頂いたことに感謝の意を表す。また、有益なコメントを頂いた査読者と、紀要委員長に深く感謝の意を表す。

引用文献：

- 1) 地質学会HP, <http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>, 2011
- 2) 今村ほか, 日本の地球化学図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2008
- 3) 放医研, <https://gbank.gsj.jp/geochemmap/setumei/radiation/setumei-radiation.htm>, 2005
- 4) 西日本新聞, 2019年8月、記事、<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/534436/>, 2019
- 5) JAEA, 原子力機構の研究開発成果2015, ONLINE ISSN:2188-1472, PRINT ISSN:2188-1464, 2015
- 6) 奥村雅彦, 計算科学による雲母粘土鉱物の放射性セシウム吸着現象研究, 地球化学, 55, 110-121, 2021
- 7) 福島県危機管理部放射線監視室監修, ふくモニ, 福島県環境放射線モニタリング広報誌, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/518539.pdf>, 2022
- 8) 国立環境研究所：福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の大気シミュレーション, <https://www.nies.go.jp/kanko/news/30/30-4/30-4-05.html>
- 9) 早川悠紀夫, 福島第一原発事故の放射能汚染地図, 2011年4月初版, 八訂版 2013年2月1日, <http://www.hayakawayukio.jp/pub/2013/0121A.pdf>, 2013
- 10) 蟹澤聰史, 相田優, 福島の地質, 東北地質調査業協会, 53, 3-26, 2013
- 11) 中村康子, 阿武隈山地の小村の集落における農業的土地利用の展開, 19, 33-41頁地域調査報告, 1997

- 12) 産総研地質図NAVI, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#8,37.328,140.711>
- 13) 森塚直樹, 日本の農耕地土壌のカリウムの形態, 80, 80-88日本土壤肥料学雑誌, 2009
- 14) 環境省, <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h28kisoshiryo/h28kiso-02-04-04.html>, 2016
- 15) 管家巧ほか, 福島県で採取した土壌試料の放射能と環境動態, 同位体化学会, 2019
- 16) Sato et al., Radioactivity and its environmental behavior in soil samples collected from Fukushima prefecture
JPGU2020, 2020