

京都府内環境試料中のストロンチウム-90濃度の経年変化について

吉田 ひとみ 近藤 博文 藤江 康弘

Behavior of Strontium-90 in Environmental Samples in Kyoto Prefecture

Hitomi YOSHIDA Hirohumi KONDOH Yasuhiro FUJIE

ストロンチウム90 (Sr-90) は放射性核種のひとつであり、過去の大気圏内核実験やチェルノブイリ原発事故により環境中に放出されてきた。また、2011年の福島第一原子力発電所事故の際にも環境中に放出された。今回はSr-90について長期変動の評価を行った。蛇口水及び土壌のSr-90の経年変化は減少する傾向にあった。土壌中の深度0～5 cmと5～20 cmにおけるSr-90の放射能比を求めたところ、1994年から2018年にかけてゆるやかな減少傾向が認められた。これは、表層に蓄積したSr-90が下層に拡散・浸透しているためと考えられた。よもぎ及び河川水のSr-90の経年変化も減少傾向が認められた。ほんだわら中のSr-90の経年変化も減少傾向を示した。ほんだわら中のカルシウム量が増加することにより、Sr-90の量が増加することが分かった。

キーワード：環境モニタリング、土壌、ほんだわら、福島第一原子力発電所事故

Keywords：Environmental monitoring, Soil, Gulfweed, Fukushima Daiichi nuclear power plant accident

はじめに

ストロンチウム90 (Sr-90) は放射性核種のひとつであり、過去の大気圏内核実験やチェルノブイリ原発事故により環境中に放出されてきた。近年では、福島第一原子力発電所 (F1-NPP) 事故により、Sr-90をはじめとする放射性核種が大気^{1,2)}、陸地^{3,4)} 及び海洋^{5,6)} など環境中に放出された。Sr-90は内部被ばくを評価する上で重要な核種のひとつであり、半減期が28.8年と長く、カルシウムと化学的な性状が類似していることから、食品や飲料水などを介して人体に取り込まれると骨や歯に蓄積することが知られている。しかし、その分析工程は煩雑なうえ多くの時間を必要とすることから報告例が少ない。

環境試料中に含まれる放射性核種を継続的に測定することは、事故等による放射性核種の環境への影響を評価するうえで有益と考えられる。

京都府では環境放射能水準調査 (以下水準調査という) 及び高浜原子力発電所と大飯原子力発電所の周辺調査 (以下周辺調査という) の一環としてSr-90の測定を継続的に実施しており、本報ではその結果を報告する。

材料と方法

京都府内で採取した環境試料を用いてSr-90を測定した。測定試料名、採取地点及び調査対象年を表1に示す。一般に土壌へ降下した放射性核種は表層から20 cm位までの部分にはほぼすべてが堆積し、雨水等により土壌中を表層から下層にゆっくりと移動することから⁷⁾、土壌試料は深度0～5 cmと5～20 cmの二層に分けて放射線濃度を測定した。

(令和3年1月26日受理)

測定データの一部は、原子力規制庁「環境放射線データベース」(<https://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>) (参照 2020年08月27日) から引用した。

測定方法は、放射能測定法シリーズNo.2「放射性ストロンチウム分析法」(文部科学省、原子力規制庁) に準じて行った。

表1. ストロンチウム90測定用試料の採取地点及び調査年

調査名	試料	採取地点	調査年
水準調査	蛇口水	京都市伏見区	1990～2019年
	土壌	京都市伏見区	1994～2018年
原子力発電所 周辺調査	河川水	舞鶴市朝来川	1994～2018年
	よもぎ	舞鶴市大山地区	1990～2018年
		舞鶴市吉坂地区	1990～2018年
	ほんだわら	舞鶴市毛島沖	1991～2018年

結果及び考察

1. 水準調査試料中のSr-90の経年変化

水準調査は全都道府県を対象として国の委託事業として実施されており、京都府においても実施している。測定試料として、研究所内の蛇口水 (水道水) 及び研究所周辺の土壌を用いて測定を行った。

蛇口水 (1990～2019年) 及び土壌 (1994～2019年) の測定結果を図1に示す。蛇口水中のSr-90は1990年から1995年にかけて3.5～4.7 mBq/Lであったのに対し、2015年から2019年

にかけては1.0~1.4mBq/LとSr-90の半減期(28.8年)にともなう減少がみられた。また、F1-NPP事故が発生した2011年以降にSr-90の上昇はなく、測定値の大きな変動はみられなかった。

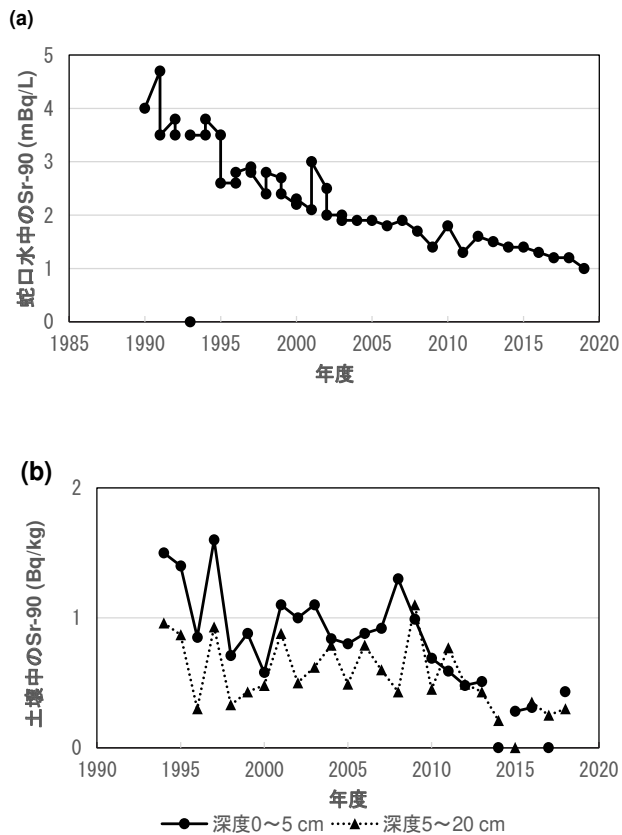


図1. 京都市内で採取した環境試料中のSr-90の経年変化。(a) 蛇口水(1990~2019年), (b) 土壌(1994~2019年)。検出下限値未満は0としてプロットした

土壌中のSr-90は、深度0~5cmでは1994年から1998年にかけて0.7~1.6Bq/kgであったのに対し、2014年から2018年は検出下限値未満~0.4Bq/kgであり減少傾向にあった。深度5~20cmについても1994年から1998年にかけて0.3~0.9Bq/kgであったのに対し、2014年から2018年は0.2~0.3Bq/kgであり、減少傾向にあった。また、F1-NPP事故が発生した2011年以降にSr-90の上昇はみられず、測定値の大きな変動はみられなかった。

深度0~5cmと5~20cmのSr-90の放射能比(0~5cm/5~20cm放射能比)を図2に示す。1994年から2018年にかけて0~5cm/5~20cm放射能比は緩やかに減少傾向を示した。これは、表層に蓄積したSr-90が経年的に下層に拡散・浸透しているためと考えられる。

以上のことから、京都市内の蛇口水及び土壌においてこれまでに検出されているSr-90は過去の大気圏内核実験等による影響が大きいと考えられる。

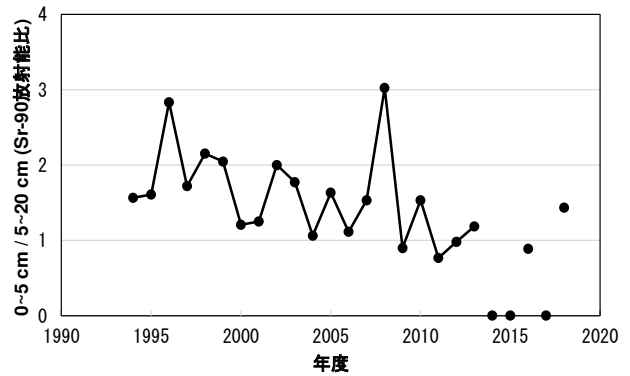


図2. 京都市内で採取した土壌中のSr-90の放射能比(深度0~5cm/5~20cm)の経年変化。深度0~5cmまたは5~20cmのSr-90が検出下限値未満の場合は0としてプロットした

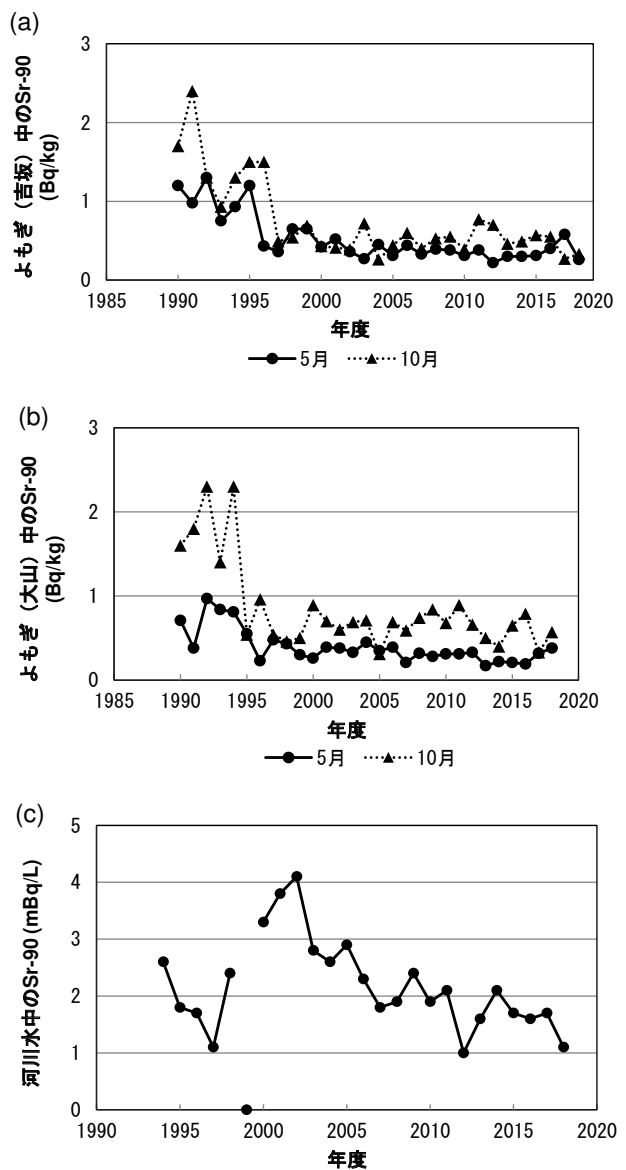


図3. 京都府北部で採取した環境試料中のSr-90の経年変化。(a) よもぎ(吉坂)(1990~2018年), (b) よもぎ(大山)(1990~2018年), (c) 河川水(1994~2018年)。検出下限値未満は0としてプロットした

2. 周辺調査試料中のSr-90の経年変化

京都府北部は高浜原子力発電所と大飯原子力発電所の30km圏内に含まれることから、京都府では周辺調査を実施している。今回、それらのうち河川水、よもぎ及びほんだわら中のSr-90の経年変化を検討した。

2-1. よもぎ及び河川水中のSr-90の経年変化

よもぎ(1990~2018年)及び河川水(1994~2018年)の測定結果を図3に示す。よもぎ中のSr-90は、1990年から1994年にかけて濃度上昇がみられたが、その後は半減期にともなった減少もしくは横ばい傾向を示した。また、藤波ら⁸⁾が報告しているとおり、転流の影響により春と比較し秋の方がSr-90は高くなる傾向がみられた。

河川水中のSr-90は1999年から2002年にかけて濃度上昇がみられたが、その後は半減期にともなった減少傾向を示した。よもぎ及び河川水ともにF1-NPP事故発生年である2011年以降にSr-90の大きな変動はみられなかった。また、高浜原子力発電所と大飯原子力発電所の影響と考えられる変動も認められなかった。

以上のことから、京都府北部のよもぎ及び河川水中のSr-90は過去の大気圏内核実験等による影響が大きいと考えられる。

2-2. ほんだわら中のSr-90の経年変化

ほんだわら(1993~2018年)の測定結果を図4に示す。

ほんだわら中のSr-90は、1993年から1997年にかけて濃度上昇がみられた。その後は低下傾向を示していたが、2011年と2012年だけは若干の上昇が認められた。しかし、1990年代の測定値を超える大きな濃度変動ではなかった。また、測定開始年1993年の測定値である0.12Bq/kgからSr-90の半減期である28.8年に伴って減少すると想定して計算すると、2011年に0.079Bq/kgとなり、2011年に検出されたSr-90の値(0.078Bq/kg)と同程度となった。

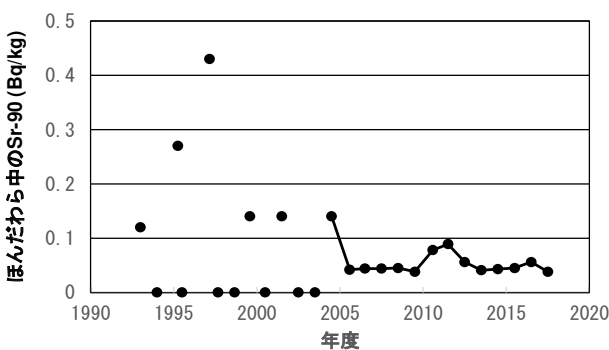


図4. 京都府北部で採取したほんだわら中のSr-90の経年変化。検出下限値未満は0としてプロットした

Sr-90はカルシウムと化学的性質が類似しており、同様の挙動を取ることが知られている。そこで、データが確認できた2007年から2019年のほんだわら試料中のSr-90、安定ストロンチウムと安定カルシウム濃度の経年変化をみたところ、2011年と2012年においてほんだわら試料中の安定カルシウム量が増加していた(図5)。

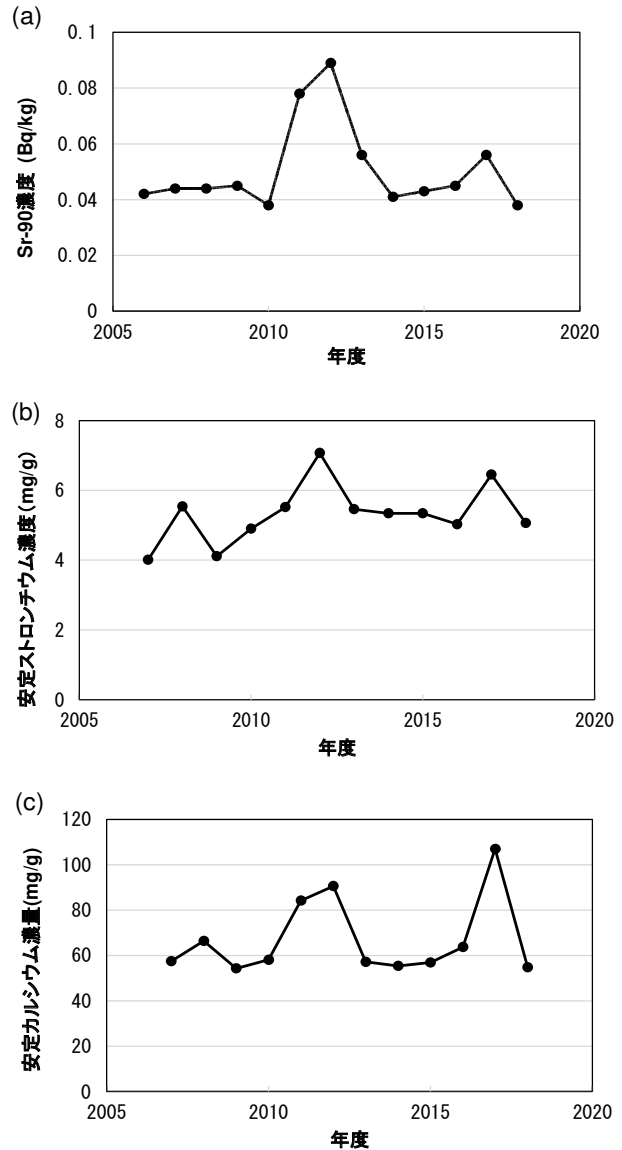


図5. 京都府北部で採取したほんだわら中のSr-90、安定カルシウム及び安定ストロンチウムの経年変動。(a) Sr-90, (b) 安定ストロンチウム, (c) 安定カルシウム

このことから、2011年と2012年にほんだわらのSr-90の濃度が上昇した理由として、ほんだわら試料中の安定カルシウムが増加し、それにとまない化学的な性状が類似している安定ストロンチウム及びSr-90の量が増加したものと考えられる。しかしながら、ほんだわら中の安定カルシウムが増加した原因については不明であった。

Sr-90は半減期が長いため、Sr-90の環境への影響を評価するには長期的なモニタリングが必要であり、引き続き調査を行う必要がある。

引用文献

- Steinhauser G. 2014. Fukushima's forgotten radionuclides: a review of the understudied radioactive emissions. Environ. Sci. Technol., 48,

- 4649–4663.
- 2) Momoshima N., Sugihara S., Ichikawa R., Yokoyama H. 2012. Atmospheric radionuclides transported to Fukuoka, Japan remote from the Fukushima Daiichi nuclear power complex following the nuclear accident. *J. Environ. Radioact.*, 111, 28–32.
 - 3) Konno M., Takagai Y. 2018. Determination and comparison of the strontium-90 concentrations in topsoil of Fukushima Prefecture before and after the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. *ACS Omega*, 3, 18028–18038.
 - 4) Rosenberg B.L., Ball J.E., Shozugawa K., Korschinek G., Hori M., Nanba K., Johnson T.E., Brandl A., Steinhauser G. 2017. Radionuclide pollution inside the Fukushima Daiichi exclusion zone, part 1: Depth profiles of radiocesium and strontium-90 in soil, *Applied Geochemistry*, 85, 201–208.
 - 5) Kavasi N., Sahoo S.K., Sorimachi A., Tokonami S., Aono T., Yoshida S. 2015. Measurement of ⁹⁰Sr in soil samples affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Nucl. Chem.*, 303, 2565–2570.
 - 6) Povinec P.P., Hirose K., Aoyama M. 2012. Radiostrontium in the western North Pacific: characteristics, behavior, and the Fukushima impact. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 10356–10363.
 - 7) 齊藤敬. 2011. 土壌における放射性物質の動態と計測. 分析, 7, 393–396.
 - 8) 藤波直人, 渡辺哲也, 都築英明, 伊吹勝蔵. 1996. ヨモギ中のストロンチウム-90の挙動. 保健物理, 31, 357–360.