

Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中放射性物質濃度データの解析

中村 公亮

厚生労働科学研究費補助金(食品の安全確保推進研究事業)
加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究
令和 2~4 年度 総合分担研究報告書

食品中放射性物質濃度データの解析

研究分担者 中村公亮 国立医薬品食品衛生研究所 食品部第五室長

研究要旨

近年、日本産の食品の輸出拡大が期待されている。しかしながら、2011 年に発生した福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の汚染に関する懸念から、日本産食品に対する輸出先国の規制が始まり、未だ完全な規制の撤廃には至っていない。撤廃に結び付けるためには、全国から収集される検査データを解析し、その傾向を読み解き科学的エビデンスを提示して、日本産の食品の安全性についての情報を発信し続けることが重要である。また、原子力災害対策本部が決定したガイドライン「検査計画、出荷制限等の品目・区域の設定・解除の考え方」に従って、地方自治体において検査計画に基づいたモニタリング検査が行われているところであるが、モニタリング検査結果の推移や新たな科学的知見の集積、出荷制限等の解除事例の状況等を見極めつつ、検査等を合理的かつ効率的に実施するためにガイドラインの随時見直しが必要である。そこで本分担研究では、厚生労働省ホームページで公開された食品中の放射性セシウム($^{134,137}\text{Cs}$)濃度の検査データ(以下、公開データと略す。)を解析し、得られた結果を考察した。令和 2 年度は、公開データから特に水産物について取り上げた。淡水魚については、年間約 1,900 件程度検査され、基準値の超過は継続的に報告されていたが、養殖魚は 2012 年の福島県産ドジョウ 1 件を最後に報告されていなかった。淡水魚における基準値を超過する検出率は、養殖魚で低く天然魚で高い傾向にあった。淡水域においては周辺環境に生息する生物を食することによる食物連鎖を通じた移行、海水域に関しては、底層に沈積した放射性物質の影響は低くなっている等の海外誌に近年掲載された学術論文の報告の内容と矛盾しない結果を示唆しており、近年の日本産の海産物、特に海水ならびに淡水の養殖魚の安全性は極めて高いことが推察された。令和 3 年度は、公開データの中から果実類ならびにそれらを加工した食品について取り上げた。果実類の多くは $^{134,137}\text{Cs}$ 未検出と報告されており、2017 年に採取されたクリ 1 件を最後に生鮮果実類には基準値を超えるような報告はなかった。一方で、あんぼ柿、干し柿等の一部の果実類の加工食品には、2021 年にも基準値超過の報告があった。このことから、生鮮果実類に関しては、引き続き検査数の削減対象ではあるが、少なくとも、地方自治体の検査計画の中で検査対象品目に挙げられている、あんぼ柿、干し柿等の果実類の乾燥加工食品については、モニタリングを継続していく必要性が示唆された。令和 4 年度は、公開データの中から食品カテゴリが「その他」に報告された食品について取り上げた。2012~2022 年度までの全データ 2,614,842 件の内、「その他」に分

類された食品で基準値を超過 (>100 Bq/kg)したものは、乾燥キノコ、干し柿、あんぼ柿などの乾燥させた加工食品の計 250 件であった。これらの加工食品は、加工の過程で $^{134,137}\text{Cs}$ が濃縮(令和 4 年度報告に 190~430 Bq/kg が報告)され、そのまま食するものが多く、このような食品のモニタリングを継続することは食の安全を確保していく上で重要と考えられた。

研究協力者:

千葉慎司 (国立医薬品食品衛生研究所)

木内隆 (国立医薬品食品衛生研究所)

A. 目的

平成 23 年の東京電力福島第一原子力発電所事故によって生じた食品中放射性物質の検査は、原子力災害対策本部が決定したガイドラインに従って、地方自治体において検査計画に基づいたモニタリング検査が行われている。当該ガイドラインは、モニタリング検査結果の推移や新たな科学的知見の集積、出荷制限等の解除事例の状況等も見極めつつ、検査等を合理的かつ効率的に実施するために随時見直しが行われていることから、今後のガイドライン改定に向けて、現況の解析は引き続き必要である。また、日本産食品の輸出拡大が期待される中で、放射性物質の汚染に関する懸念から、日本産食品に対する輸出先国の規制がなされ、未だ完全な撤廃には至っていないことから、国内外に向けての現状の情報発信が重要である。本研究では、厚生労働省ホームページで公開されている食品中の放射性セシウム($^{134,137}\text{Cs}$)濃度の測定データを解析し、全国の検査機関から報告される食品中の放射性セシウム検査データを毎年度ごとに集積し、データを解析することで、放射性セシウム濃度の経時的変化、食品群間の変動、加工品中の放射性物質濃度等についての情報を得る。その中で、地方自治体において

行われているモニタリング検査をより効果的・効率的に実施するための検査計画の検討を行うこと、栽培/飼養管理が困難な品目と可能な品目における放射性セシウムの検出率、基準値超過率についての情報も収集し、ガイドライン改定による検査結果への影響を調べることを目的とする。

B. 研究方法

1) 初年度(令和 2 年度)

I. データ解析の方法

1 データソース取得処理

1.1 データソース取得方法

全国の自治体等から厚生労働省に報告された食品中の Cs 濃度検査結果は、厚生労働省 Web サイト“Levels of Radioactive Materials in Foods Tested in Respective Prefectures”に掲載されている月別検査結果を参照し、Cs 濃度の集計表 Excel ファイルから取得した。データは、上記 Web ページより各月ごとに Excel ファイルのダウンロード URL のリンクから取得したが、今回はプログラミング言語「Python3」に加えて Web 解析用ライブラリ「Beautiful Soup4」や HTTP 通信・URL 操作用ライブラリ「urllib3」を使用した Web サイトの構造解析および URL リンク要

素を抽出(以下 Web スクレイピングと呼ぶ)することによって全データファイルのダウンロードを実行した。

1.2 データソース取得用コンピューター環境の整備

データ解析用のローカルコンピューターのハードウェア構成は、「CPU: Intel(R) Core(TM) i5-6200U @ 2.30GHz(2コア4スレッド キャッシュサイズ 3MB)」、「メインメモリ: 16.0GB」、「OS: Windows 10 Pro (64bit)」を使用した。プログラムの実行環境は OS に Linux 系 OS のなかでも汎用性と扱いやすさを考慮し「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を採用し、プログラミング言語には高い汎用性と柔軟性に加えて扱いやすい機能が豊富なインタプリタ型のスクリプト言語「Python3 (バージョン 3.7.6 Ubuntu 版)」を採用した。プログラムの実行は、Python 環境仮想化管理ツール「pyenv (バージョン 1.2.20-5-g1ec3c6f1)」を導入した上で、科学計算向け Python 用オープンソースディストリビューション「Anaconda3 (バージョン 2020.02)」で環境を構築し、Python プログラムを実行した。Python 動作環境は Web 動作式対話型科学計算向け統合開発環境「Jupyter Notebook (バージョン jupyter 1.0.0, jupyter-client 5.3.4, jupyter-core 4.6.1)」およびその後継拡張環境「JupyterLab-Server(バージョン jupyterlab 1.2.6, jupyterlab-server 1.0.6)」を構築した。プログラムの実行はローカルコンピューターの Web ブラウザ「Mozilla Firefox」から「Jupyter Lab」を稼働し、「Jupyter Notebook」形式で実行した。追加 Python ライブラリには Web スクレイピング用ライブラリ「Beautiful Soup4 (バージョン 4.8.2)」、HTTP 通信・

URL 操作ライブラリ「urllib3 (バージョン 1.25.8)」を使用した。

1.3 データソース取得プログラム

データソース取得処理は、先ず準備として BeautifulSoup4, urllib3 の各種ライブラリを Python 上でインポートし、続けて変数の初期化を行った。準備終了後、厚生労働省の Web サイトから urllib3 ライブラリを使用して該当 URL へ HTTP 接続・Web ページの HTML の内容を読み込み、所定の変数へ格納した。HTML の内容を格納した変数から BeautifulSoup4 ライブラリを使用して Web スクレイピングを実行し、抽出した Excel ファイルのダウンロード URL を所定の変数へ格納した。このダウンロード URL を格納した変数から urllib3 ライブラリを使用して Excel ファイルのダウンロード・所定のフォルダへの保存を行った。最後のファイルまでダウンロードが完了した後、処理を終了した。

2 データ統合処理

2.1 データ統合処理の方法

データ統合処理フェーズでは、データソース取得フェーズで取得したデータファイルを統合・連結した。データファイルは、月毎の Excel ファイルに分割されているため、解析の前処理として Python 言語および Pandas (二次元の配列を index(行)と column(列)を割り振る)ことで、Python で Excel データシートのように操作した。このように作成した各月のファイルをデータフレームとして読み込み、データを統合し、合理的にデータ管理が可能な構造を構築した。

2.2 データ統合用コンピューター環境の整備

データ統合ならびに解析に使用したサーバーコンピュータは、「CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v3 @ 2.40GHz(6 コア 12 スレッド キャッシュサイズ 15MB)」、「メインメモリ: 96GB」、「グラフィックボード: NVIDIA Corporation GM107GL [Quadro K620] (rev a2)」、「ストレージ: SSD 2,000GB」、「OS: Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」のハードウェア構成を使用した。ローカルコンピュータのハードウェア構成はデータソース取得フェーズのものを引き続き使用した。プログラムの実行環境は OS には汎用性と扱いやすさを考慮し、「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を、プログラミング言語には高い汎用性と柔軟性に加えて扱いやすい機能が豊富なインタプリタ型のスクリプト言語「Python3 (バージョン 3.7.6 Ubuntu 版)」を採用した。プログラムの実行は、Python 環境仮想化管理ツール「pyenv (バージョン 1.2.20-5-g1ec3c6f1)」を導入した上で、科学計算向け Python 用オープンソースディストリビューション「Anaconda3 (バージョン 2020.02)」で環境を構築し、Python プログラムを実行した。Python 動作環境は Web 動作対話型科学計算向け統合開発環境「Jupyter Notebook (バージョン jupyter 1.0.0, jupyter-client 5.3.4, jupyter-core 4.6.1)」およびその後継拡張環境「JupyterLab-Server (バージョン jupyterlab 1.2.6, jupyterlab-server 1.0.6)」を構築した。プログラムの実行は、ローカルコンピュータの Web ブラウザから「Jupyter Lab」を稼働し、「Jupyter Notebook」形式で実行した。追加 Python ライブラリには Excel データシートをデータフレームとして読み込みデータをインデックス(行)とカラム(列)による管理する

ことや、データフレームを CSV ファイルに出力するために Python 用データフレーム処理ライブラリ「Pandas (バージョン 1.1.3)」を導入して行った。

2.3 データ統合処理プログラム

データ統合処理プログラムは、先ず準備として Pandas の各種ライブラリをインポートし、続けて変数を初期化してから進めた。準備が済んだら各年初月の Excel ファイルを「pandas.read_excel」メソッドを使用して各年毎の変数にデータフレームとして読み込んだ。次の月の Excel ファイルは、「pandas.read_excel」メソッドを同様に使用してデータフレームとして読み込み、「pandas.append」メソッドを用いて年毎の変数へデータフレームを継ぎ足した。読み込んだデータのレコード数(行数)をカウントして各月の検体数として出力し、途中ファイルのない月があった場合、if 文による条件分岐処理を組み込むことでエラーを回避し、どの年月のファイルがないのかメッセージを出力表示した。以上の処理を最後の月まで for 文による繰り返し処理を組み込み実行し、さらに各年月の Excel ファイルの読み込みから最後の月まで for 文によって 2012 年から 2020 年まで繰り返し処理を実行、完了後一連の処理を終了した。

3 データ修正・前処理

3.1 データ修正・前処理の方法

データ修正・前処理フェーズでは、データ統合フェーズで各年毎に連結したデータの修正・前処理を行った。

3.2 データ修正・前処理用コンピュータ環

環境の整備

ハードウェア環境は 2 データ統合処理の際に使用した構成をそのまま採用した。プログラムの実行環境は OS には汎用性と扱いやすさを考慮し、「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を、プログラミング言語には高い汎用性と柔軟性に加えて扱いやすい機能が豊富なインタープリタ型のスクリプト言語「Python3 (バージョン 3.7.6 Ubuntu 版)」を採用した。プログラムの実行は、Python 環境仮想化管理ツール「pyenv (バージョン 1.2.20-5-g1ec3c6f1)」を導入した上で、科学計算向け Python 用オープンソースディストリビューション「Anaconda3 (バージョン 2020.02)」で環境を構築し、Python プログラムを実行した。Python 動作環境は Web 動作対話型科学計算向け統合開発環境「Jupyter Notebook (バージョン jupyter 1.0.0, jupyter-client 5.3.4, jupyter-core 4.6.1)」およびその後継拡張環境「JupyterLab-Server (バージョン jupyterlab 1.2.6, jupyterlab-server 1.0.6)」を構築した。プログラムの実行はローカルコンピュータの Web ブラウザ「Mozilla Firefox」から「Jupyter Lab」を稼働し、「Jupyter Notebook」形式で実行した。追加 Python ライブラリには Excel データシートをデータフレームとして読み込みデータをインデックス(行)とカラム(列)による管理や、データフレームを CSV ファイルに出力するために Python 向けデータフレーム処理ライブラリ「Pandas (バージョン 1.1.3)」を導入した。

3.3 データ修正・前処理プログラム

データ修正・前処理は、2 データ統合処理で生成したデータフレームを続けて使用した。また以下のメソッドおよび属性を使用した。

空白行など不要要素の削除する際に「drop」メソッドおよび「dropna」メソッドを使用した。必要なカラムを抽出する際に「loc」属性および「iloc」属性を使用した。数値型カラム内の文字列の削除や、誤表記などの文字列の置換する際に「replace」メソッドを使用した。また文字列を置換する際は「regex」引数を使用することで正規表現による文字列のパターンマッチングと完全一致および部分一致を組み合わせて特定の文字列の修正処理を行った。各検体を食品分類に分ける際などに「where」や「merge」といったメソッドを組み合わせて使用した。「Sampling Date」や「Results Obtained Date」といった文字列フォーマットとして認識された年月日項目を日付フォーマットへ変換する際に「pandas.to_datetime」メソッドを使用した。また「Sampling Date」や「Results Obtained Date」「Press Release Date」といった日付データはサンプリングの時期やサンプリング担当者によって入力された書式が大きく異なるため、極力統一した書式に置き換えを行った。文字列として認識された数値項目は「pandas.to_numeric」メソッドを使用して数値データへ変換した。空白欄など欠損した箇所は「pandas.fillna」メソッドを使用してデータを補完した。前処理によって整形したデータフレームは「pandas.pivot_table」メソッドを使用して整合性の確認を行った。前処理の完了後、「pandas.to_csv」メソッドによって CSV ファイルへ出力した。

4 データ集計

4.1 データ集計の方法

集計フェーズでは、前処理フェーズで年毎に処理後 CSV ファイルへ出力したデータ

を全て連結させて集計・解析を行った。全体の集計は、検査全体の検体数・流通品および非流通品・食品カテゴリ・確定数値および不確定数値の経年推移を集計した。また採取日(購入日)「**Sampling Date**」と結果判明日「**Results Obtained Date**」の差を計算することで、各検体の「**Sampling Date**」から「**Results Obtained Date**」までに要した日数などを算出し、データの整合性や解析不能データなどを集計・確認した。詳細集計として、食品カテゴリごとの基準値超過検体数・基準値超過検体のリストアップ・流通品および非流通品の検査数と基準値超過数の経年推移・基準値超過検体の食品分類の割合およびその経年変化・食品分類ごとの基準値超過品目の割合とその経年推移・主要な都道府県の食品分類ごとの基準値超過件数などを集計・解析を行った。 ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計の基準値超過における評価項目である『**exceed action levels**』は Cs 基準値超過の評価基準が時期によって異なるため、『食品カテゴリ』から「飲料水」且つ「Cs total」値が 10 を超過した検体または、「牛乳・乳児用食品」且つ「Cs total」値が 50 を超過した検体または、「畜産物」または「農産物」または「水産物」または「野生鳥獣肉」または「その他」且つ「Cs total」値が 100 を超過した検体を『**Exceed**』項目を追加し集計した。

各検体の食品カテゴリについて明確にするため、「畜産物」「水産物」「農産物」「野生鳥獣肉」「その他」を「一般食品」、「牛乳・乳児用食品」と「飲料水」の 3 つのカテゴリに分類し、各検体の情報について「食品カテゴリ_2」の項目を追記した。食品分類の基準は、「月報作成ルール 201016.xlsx」ファイルの「食品分類」シートを参考に、データフレーム

に「食品分類」項目を各検体の追加属性として付け加え、不要データ削除後、再集計を行った。また都道府県を地域区分に分類し各検体の属性として付け加えた。地域区分の基準は、「総務省 | 政策統括官(統計基準担当) | 地域別表章に関するガイドライン」に記述されている「別紙 地域ブロック区分の主な類型」より「類型 I」を参考に、データフレームに「地域区分」項目を追加情報として加えた。

また、本研究に限り、基準値超過件数は一般食品は 100 Bq/kg 以上、牛乳・乳児用食品は 50 Bq/kg 以上、飲料水は 10 Bq/kg 以上と定義し、プログラムを用いて抽出ならびに集計を行った。

4.2 データ集計用コンピューター環境の整備

プログラムの実行環境は OS には扱いやすさを考慮して「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を採用し、プログラミング言語には高速且つ柔軟な計算処理能力に加えて扱いやすさを考慮して数学・統計解析向けプログラミング言語「R 言語 (R version 4.0.3 [2020-10-10])」を採用した。環境は構築の簡便さと再現性を考慮してコンテナ型仮想環境管理プラットフォーム「**Docker**」を導入した。**Docker** コンテナは **Docker Hub** から **RStudio** 向けイメージ「**rocker/rstudio**」を採用、これをベースにコンテナを構築した。R 言語実行環境は「**Docker**」上で「**rocker/rstudio**」のコンテナから **Web** 動作式 R 言語向け統合開発環境「**RStudio Server (Version 1.3.1093)**」を構築した。プログラムの実行はローカルコンピューターの **Web** ブラウザ「**Mozilla Firefox**」から「**RStudio Server**」を稼働し、「**R Notebook**」形式で実行した。追加パッケージには、デ

ータフレーム高速計算処理用パッケージ「dplyr(バージョン 1.0.2)」、データ整形用パッケージ「tidyr(バージョン 1.1.2)」、日付処理用パッケージ「lubridate(バージョン 1.7.9)」、文字列処理用パッケージ「stringr(バージョン 1.4.0)」、高速且つ柔軟なテーブル読み込みパッケージ「readr(バージョン 1.4.0)」を導入した。

4.3 データ集計プログラム

データ集計フェーズでは、まず下準備として RStudio 上の変数を初期化し、作業ディレクトリの確認および設定、「dplyr」「tidyr」「ggplot2」「lubridate」「stringr」「knitr」「readr」「extrafont」の各種パッケージの読み込みを行った。下準備完了後、データ修正・前処理フェーズで整形・出力した CSV ファイルを「readr」パッケージで各年毎に読み込み、rbind 関数で連結した。Cs 濃度などの数値フォーマットのデータが文字列フォーマットとして認識されることがあるため「as.numeric」関数を使用して型変換を行った。その他『都道府県』『流通品/非流通品』『食品カテゴリ』『食品カテゴリ 2』『食品分類』『Inspection instrument』『地域区分』『exceed action levels』のカテゴリ変数の項目を「as.factor」関数を使用して要素の因子化を行った。データ連結・データ型変換・要素の因子化などの作業が完了した状態から、「subset」関数および「filter」関数に正規表現を組み合わせたデータの抽出、「group_by」関数による要素のグループ化、「summarise」「spread」「count」「xtabs」といった R 関数に加えて、Excel ピボットテーブルなどを一部組み合わせてクロス集計を行った。

5 解析・可視化

5.1 解析・可視化の方法

解析・可視化フェーズでは、集計フェーズで行った集計結果を元にデータを解析、グラフへ出力・可視化した。

5.2 解析・可視化コンピューター環境の整備

プログラムの実行環境は OS には扱いやすさを考慮して「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を採用し、プログラミング言語には高速且つ柔軟な計算処理能力に加えて扱いやすさを考慮して「R 言語(R version 4.0.3 [2020-10-10])」を採用した。環境は構築の簡便さと再現性を考慮して「Docker」を導入した。Docker イメージは Docker Hub から「rocker/rstudio」を採用した。R 言語実行環境は「Docker」上で「rocker/rstudio」のコンテナから「RStudio Server (Version 1.3.1093)」を構築し、「R Notebook」上で実行した。追加パッケージには、データフレーム高速計算処理用パッケージ「dplyr(バージョン 1.0.2)」、データ整形用パッケージ「tidyr(バージョン 1.1.2)」、グラフ描画用パッケージ「ggplot2(バージョン 2 3.3.2)」、テーブル処理用パッケージ「knitr(バージョン 1.30)」、日本語 TrueType フォント対応用パッケージ「extrafont(バージョン 0.17)」を導入した。

5.3 解析・可視化プログラム

解析・可視化は、データ集計フェーズで計算した集計結果から解析・可視化を行った。「ggplot2」パッケージを使用して 2012 年から 2020 年までの「Results Obtained Date」と「Cs total」から「geom_point」関数を使用して散布図を作成した。Cs 濃度基準値超過件数の分布は「geom_histogram」関数からヒスト

グラムを作成した。検出した Cs 濃度の検出値の分布は「geom_violin」関数からバイオリンプロットを年毎に作成した。Cs 濃度の基準値超過件数は年・流通品および非流通品・食品分類・品目などに分け「bar_plot」を極座標表示で出力することで円グラフを作成した。

2) 第二年度(令和3年度)

1. データソースの取得

全国の自治体等から厚生労働省に報告された食品中の^{134,137}Cs濃度検査結果は、厚生労働省 Web サイト“東日本大震災関連情報”で2012年4月から2022年3月までに公表された“月別の検査結果”の Excel ファイルから入手した。

2. データの集計

取得したデータは、CSV ファイルへ出力し集計した。データの集計は、検査全体の検体数・流通品および非流通品・食品カテゴリ・確定数値および不確定数値の経年推移を対象に行った。「Sampling Date」と「Results Obtained Date」の差を計算することで、各検体の「Sampling Date」から「Results Obtained Date」までに要した日数などを算出し、データの整合性や解析不能データなどを集計・確認した。詳細な集計として、食品カテゴリごとの基準値超過検体数・基準値超過検体のリストアップ・流通品および非流通品の検査数と基準値超過数の経年推移・基準値超過検体の食品分類の割合およびその経年変化・食品分類ごとの基準値超過品目の割合とその経年推移・主要な都道府県の食品分類ごとの基準値超過件数などを集計・解析を行った。¹³⁴Cs と¹³⁷Cs を合計した値『Cesium total』の基準値超過における評価項目である『exceed action levels』は Cesium 基準値超過の評

価基準が時期によって異なるため、『食品カテゴリ』から「飲料水」且つ「Cesium total」値が 10 Bq/kg を超過した検体または、「牛乳・乳児用食品」且つ「Cesium total」値が 50 Bq/kg を超過した検体または、「畜産物」または「農産物」または「水産物」または「野生鳥獣肉」または「その他」且つ「Cesium total」値が 100 Bq/kg を超過した検体を『Exceed』項目を追加し集計した。

各検体の食品カテゴリについて明確にするため、「畜産物」「水産物」「農産物」「野生鳥獣肉」「その他」を含む「一般食品」、「牛乳・乳児用食品」と「飲料水」の3種類に分類した。食品分類の基準は、「月報作成ルール201016.xlsx」ファイルの「食品分類」シートを参考に、データフレームに「食品分類」項目を各検体の追加属性として付け加え、不要データ削除後、再集計を行った。また都道府県を地域区分に分類し各検体の属性として付け加えた。地域区分の基準は、「総務省 | 政策統括官(統計基準担当) | 地域別表章に関するガイドライン」に記述されている「別紙 地域ブロック区分の主な類型」より「類型 I」を参考に、データフレームに「地域区分」項目を追加情報として加えた。

放射性セシウムの検出の定義は、¹³⁴Cs と¹³⁷Cs の濃度の和が 25 Bq/kg 超であるものとした。また、基準値超過件数は一般食品で 100 Bq/kg 超、牛乳・乳児用食品で 50 Bq/kg 超、飲料水で 10 Bq/kg 超と定義し、プログラムを用いて機械的に抽出ならびに集計した。集計は、データフレームに付け加えた「食品分類」項目から『果実類(種実類含む)』のデータを抽出し、さらに「品目名」項目のうち『リンゴ』『ナシ』『カキ』『クリ』『カキ』『ユズ』『モモ』『ウメ』のデータを抽出して行った。ここから「都道府県」項目のうち『全ての都道府県』および『福島県』『栃木県』『宮城

県』『青森県』『千葉県』『山形県』『群馬県』『茨城県』『山梨県』『静岡県』『徳島県』を抽出、「検査数」「検出数」「基準値超過数」および「検出率」「基準値超過率」の集計データを作成した。集計は、Rを用いて行った。

3) 最終年度(令和4年度)

1. データソースの取得

全国の自治体等から厚生労働省に報告された食品中の^{134,137}Cs濃度検査結果は、厚生労働省 Web サイト“東日本大震災関連情報”で2012年4月から2023年3月までに公表された“月別の検査結果”のExcelファイルから入手した。

2. データ解析の方法

取得したデータは、プログラミング言語Pythonによってデータの前処理を行った後、CSVファイルへ出力し集計・解析した。

データの集計は、検査全体の検体数・流通品および非流通品・食品カテゴリ・確定数値および不確定数値の経年推移を対象に行った。「Sampling Date」と「Results Obtained Date」の差を計算することで、各検体の「Sampling Date」から「Results Obtained Date」までに要した日数などを算出し、データの整合性や解析不能データなどを集計・確認した。詳細な集計として、食品カテゴリごとの基準値超過検体数・基準値超過検体のリストアップ・流通品および非流通品の検査数と基準値超過数の経年推移・基準値超過検体の食品分類の割合およびその経年変化・食品分類ごとの基準値超過品目の割合とその経年推移・主要な都道府県の食品分類ごとの基準値超過件数などを集計・解析を行った。¹³⁴Csと¹³⁷Csを合計した値『Cesium total』の基準値超過における評価項目である『exceed action levels』はCesium基準値超

過の評価基準が時期によって異なるため、『食品カテゴリ』から「飲料水」且つ「Cesium total」値が10 Bq/kgを超過した検体または、「牛乳・乳児用食品」且つ「Cesium total」値が50 Bq/kgを超過した検体または、「畜産物」または「農産物」または「水産物」または「野生鳥獣肉」または「その他」且つ「Cesium total」値が100 Bq/kgを超過した検体を『Exceed』項目を追加し集計した。

各検体の食品カテゴリについて明確にするため、「畜産物」「水産物」「農産物」「野生鳥獣肉」「その他」を含む「一般食品」、「牛乳・乳児用食品」と「飲料水」の3種類に分類した。食品分類の基準は、「月報作成ルール201016.xlsx」ファイルの「食品分類」シートを参考に、データフレームに「食品分類」項目を各検体の追加属性として付け加え、不要データ削除後、再集計を行った。また都道府県を地域区分に分類し各検体の属性として付け加えた。地域区分の基準は、「総務省 | 政策統括官(統計基準担当) | 地域別表章に関するガイドライン」に記述されている「別紙 地域ブロック区分の主な類型」より「類型 I」を参考に、データフレームに「地域区分」項目を追加情報として加えた。

放射性セシウムの検出は、¹³⁴Csと¹³⁷Csの濃度の和が25 Bq/kg超であるものとして定義した。また、基準値超過件数は一般食品で100 Bq/kg超、牛乳・乳児用食品で50 Bq/kg超、飲料水で10 Bq/kg超と定義し、解析はオープンソースの統計解析ソフトウェアR言語を用いて機械的に抽出ならびに集計・解析を行った。

データソースのExcelファイルにおいて「食品カテゴリ」項目は、「農産物」「畜産物」「水産物」「牛乳・乳児用食品」「野生鳥獣肉」「飲料水」「その他」の7カテゴリに分類されている平成24年度から令和4年度まで全デ

ータ合計 2,614,842 件のうち、「その他」カテゴリに含まれる 74,999 件の食品についてデータを抽出した。サンプル毎の報告年度は、「採取日(購入日)」「結果判明日」「厚労省公表日」を参照した。「採取日(購入日)」を優先し、その記載のないサンプルについては「結果判明日」、それでも記載のないサンプルは「厚労省公表日」を参照した。報告年度から年度毎の報告数を合算し、それらの放射性セシウム検出率・基準値超過率を算出した。都道府県別の解析は、「産地」項目の「都道府県」項目から報告数・放射性セシウム検出率・基準値超過率を算出した。算出された結果の確認は、「食品カテゴリ」をグルーピングし、各カテゴリに含まれる食品分類件数・品目件数・サンプル数合計・カテゴリごとのサンプル数の割合をクロス集計することで行った。

C. 研究結果及び考察

令和 2 年度:

厚労省ホームページで公開されている食品検体の $^{134,137}\text{Cs}$ 濃度に関するデータ(2012 年 4 月～2020 年 8 月、計 2478048 検体)を解析したところ、Ge 半導体測定機器で検査し基準値 100 Bq/kg を超過した「一般食品」は 5455 件、基準値 10 Bq/kg を超過した「飲料水」は 13 件が含まれていた。「牛乳・乳児用食品」の基準値 50 Bq/kg を超過した報告は含まれていなかった。「飲料水」に関しては、基準値超えは 2012 年中に報告されたものであった。また、本研究の集計結果からも流通品の基準値超過率が低いことから、流通前の検査により、高濃度に放射性セシウムを含む食品が効果的に流通から排除され、我が国の監視体制が機能していることが改めて示された。

基準値を超えて報告のあった「一般食品」の中の水産物に焦点を絞って解析を試み、国内の水産物の放射性セシウムの検査について改善すべき方向性を検討したところ、基準値超過した海産物の報告は 2015 年の 4 検体を最後に報告はなかった。これは、海に流出した放射性セシウムが希釈され、遠海魚においては、底生魚に比べ放射性物質の蓄積量は事故後に急激に減少し、近年は、海産物(底層)においても希釈により汚染物の影響が減少している報告を支持する結果であった。しかしながら、2016 年以降も年間 11,953～17,133 件の海産物の検査報告がなされていた。検査数に関しては、改善する余地が残されていると考えられた。

淡水の水産物の基準値超過が報告された場所について考察した結果、これまでに基準値超過の報告のあった 9 県(栃木、福島、茨城、岩手、宮城、群馬、千葉、埼玉、神奈川)の内、2019 年には福島県と群馬県からのみ報告がなされていた。しかしながら、これら 2 県以外に、過去に出荷制限を指示された自治体及びその隣接自治体から産出された水産物の放射性物質の検査結果が 15 県から報告されていた。

淡水の養殖以外の水産物は、継続的な出荷制限措置のため、重点的に検査を継続すべきである一方で、海水の養殖以外の水産物は、基準値超過の検体は稀であることから、近年、検査報告数は減少傾向にあるものの、検査コストも考慮し、リスクに見合った検査数の削減も可能であることが示唆された。

令和 3 年度:

公開データの中から、果実類の $^{134,137}\text{Cs}$

濃度の検査データを抽出し、抽出したデータを経時的に解析した。解析データを基に、検査された果実類の食品の種類、検体の採取場所、^{134,137}Cs の検出数、基準値超過数ならびに検出率、基準値超過率について解析した。近年に報告された生鮮果実に関するデータの多くは、^{134,137}Cs 未検出であった。2020年1月～12月、2021年1月～12月ならびに2022年1月～3月に採取された^{134,137}Cs が検出された生鮮果実は、それぞれ2種類(クリ1件、ギンナン1件)、4種類(クリ2件、ユズ3件、カキ2件、ナツハゼ1件)、0種類(0件)であった。基準値を超過した生鮮果実類の報告はない一方で、基準値を超過した果実類の加工食品は、カキとウメを原材料にしたもの(干し柿75件[報告された最終採取日2021年9月20日]、あんぼ柿39件[報告された最終採取日2021年9月15日]、梅干し3件[報告された最終採取日2013年1月31日]、梅の漬物1件[報告された最終採取日2013年5月14日])であった。^{134,137}Cs が検出され続けている生鮮果実類の加工食品の加工の方法によっては、加工後の食品に^{134,137}Cs が濃縮され、基準値超過となる可能性は考えられる。このような生鮮果実類ならびにそれらを加工した食品を含めモニタリングを継続する必要があるのではないかとと思われる。

公開データの中で報告数1千件を超えた果実類は、9品目(リンゴ、ナシ、カキ、ブドウ、ウメ、モモ、クリ、ユズ、ブルーベリー)であった。その内、基準値超過した報告は、ユズ、クリ、ミカン、ウメ、ブルーベリーの5品目であった。基準値超過した生鮮果実は、2017年9月に採取された緊急時モニタリングの結果の報告(福島県産非流通のクリ)以降なかった。2020年～2022年に報告された^{134,137}Cs が検出された生鮮果実はクリ、ギンナン、ユズ、カ

キ、ナツハゼであった。^{134,137}Cs の汚染に関する実態調査を行い、十分な安全性が担保されれば、近年基準値の超過の報告のない生鮮果実(例えばウメ)の検査数の削減は可能ではないかと思われる。

東京電力福島第一原子力発電所事故1年目に除染作業の一環として実施されたカキ樹体の高圧洗浄処理は、樹皮表面の放射線量や葉中及び果実中の放射性Cs濃度を低下させ、その低減効果は処理数年後も持続することが報告されている。また、表土剥土等による放射性Cs除去の有効性についてもこれまでに学術論文等で報告されている。果実類は、数年以上栽培した草本植物または木本植物から食用として食べられるものと定義されており、農場の放射性物質の除染が科学的に確認され、適切に栽培管理されている果樹から生産される果実類については、新たな放射性物質の沈着の恐れがない限り放射性物質が検出される可能性は低いのではないかとと思われる。

令和4年度:

2012年4月から2023年3月までに厚労省に全国から報告された放射性セシウム検査データから、食品カテゴリ「その他」の情報を抽出し解析を行った。その結果、「その他」項目には多種多様な食品を対象とした検査結果が含まれており、全国的に検査報告数は減少傾向にあった。放射性セシウムの濃度として基準値100Bq/kgを超過し報告された「その他」食品は、柿とシイタケを乾燥または粉末にさせた加工食品であった。100Bq/kgを超過した水産物は、2012年に報告された天然の淡水魚を加工した「クチボソ(モツゴ)から揚げ」に限られた。

「その他」項目の加工方法について見て

みると、乾燥・粉砕で基準値を超えたものが多い。特に、除染が行き届いていない場所で収穫された柿、アシタバ、オヤマボクチ、シイタケ、トチ、マイタケ、モツゴ、ヤーコン、桑などを加工した食品に、基準値を超過し報告されやすい傾向にあることが示唆された。干し柿などの乾燥させた食品については、そのまま喫食するため、このような食品については、食の安全を確保するため、引き続き調査は必要と考えられた。

「その他」に含まれる食品については、報告された情報の質について見極める必要がある。報告された情報には、多くの場合、産地、加工工程(例えば、非可食部のヘタ、皮、表皮等からの深度の除去、洗浄の方法、調理加工の方法など)に関する詳細は、不明であることが多いなど、雑多なデータを含んでいることから、データの統計解析は不可能と判断された。

D. 結論

日本における^{134,137}Csの水質汚染は、近年は魚に蓄積するほど濃度は高くない。淡水域においては周辺環境に生息する生物を食することによる食物連鎖を通じた移行、海水域に関しては、底層に沈積した放射性物質の影響は低くなっていることが報告されている。本研究からも海産物、特に養殖魚の安全性は極めて高いことが示唆された。

2020年1月～2022年3月に採取された生鮮果実類の中で^{134,137}Csが検出されたものは、ギンナン、クリ、ユズ、カキ、ナツハゼであった。基準値超過した生鮮果実類の報告はない一方で、基準値を超過した果実類の加工食品(干し柿、あんぼ柿)は、近年においても報告されている。公開データは、放射性物質の汚染の実態を直接結び付けるための科

学的な情報は乏しいため、本研究結果のみから合理的かつ効率的な検査方法への見直しについて結論を導き出すのは難しいが、生鮮果実類に関しては、引き続き検査数の削減対象ではあるが、少なくとも、地方自治体の検査計画の中で検査対象品目に挙げられている、あんぼ柿、干し柿等の果実類の乾燥加工食品については、モニタリングを継続していく必要性が示唆された。

公開データのうち、食品カテゴリ「その他」で報告されている食品は、多種多様なものが含まれていた。農産物、水産物等の生鮮以外の加工食品の多くは「その他」として報告されており、乾燥キノコや干し柿、あんぼ柿などの乾燥した果物等に基準値を超えるものが、近年においても報告されていた。加工の過程で^{134,137}Csが濃縮され、そのまま食するものも報告されており、このような食品のモニタリングを継続することは食の安全を確保していく上で重要と考えられた。今後のデータ活用につなげるためには、「その他」として報告される情報の収集の方法にも、継続的に指針を示す必要がある。

E. 研究発表

1. 論文発表

Nakamura, K., Chiba, S., Kiuchi, T., Nabeshi, H., Tsutsumi, T., Akiyama, H., Hachisuka, A.. Comprehensive analysis of a decade of cumulative radiocesium testing data for foodstuffs throughout Japan after the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, PLOS ONE, 17, e0274070, 2022

2. 学会発表

1. 中村公亮、千葉慎司、秋本智、蜂須賀暁

子、穠山浩:2019 年産日本産食品を対象とした放射性核種(セシウム、ストロンチウム、プルトニウム)の濃度測定と諸外国が設定したその基準値との比較、日本薬学会 第 141 年会、2021 年 3 月 26 日(金)~29 日(月)、広島、オンライン開催

2. 千葉慎司、中村公亮、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穠山浩:食品中の放射性セシウムに関する公開検査データに基づく日本産水産物の現状について、日本食品化学学会 第 27 回 総会・学術大会、2021 年 6 月 10 日(木)~6 月 11 日(金)、川崎市

3. 千葉慎司、中村公亮、木内隆、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穠山浩:果実とそれらを加工した食品に関する公開放射性セシウム検査データの経時的変化、日本食品化学学会 第 28 回 総会・学術大会、2022 年 5 月 19 日(木)~20 日(金)、東京

F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

