

Tinkiti Toyama Memorial Award
for Food and Environmental Sciences

遠山椿吉記念
第5回
食と環境の科学賞

授賞式・受賞記念講演会・レセプション
プログラム

平成29年2月7日(火)
於 ホテル メトロポリタンエドモント

一般財団法人 東京顕微鏡院
医療法人社団 ころとからだの元氣プラザ

遠山椿吉記念 第5回 食と環境の科学賞

授賞式 式次第

平成29年2月7日(火)
ホテル メトロポリタンエドモント

◎ 授賞式 (本館2階 波光)

午後5時30分

開 式 一般財団法人東京顕微鏡院 副理事長、公益事業担当理事
医療法人社団こころとからだの元氣プラザ 理事 高橋 利之

選考委員長講評・

受賞者紹介

国際医療福祉大学大学院 教授 渡邊 治雄
(国立感染症研究所 名誉所員 (前所長))

表 彰

選考委員紹介

祝 辞

一般財団法人東京顕微鏡院 および
医療法人社団こころとからだの元氣プラザ 理事長 山田 匡通

来賓祝辞

日本衛生学会 理事長 小泉 昭夫
内閣府食品安全委員会 委員長 佐藤 洋

受賞者挨拶

加藤 昌志
(名古屋大学大学院 医学系研究科 環境労働衛生学 教授)
原田 浩二
(京都大学大学院 医学研究科 環境衛生学分野 准教授)

閉 式

◎ 受賞記念講演会 (本館2階 波光)

午後6時20分

座 長：一般財団法人東京顕微鏡院 理事、
食と環境の科学センター 名誉所長 伊藤 武

講 演

加藤 昌志
原田 浩二

閉 会

◎ 受賞記念レセプション (本館2階 薫風)

午後7時40分

開 会

挨拶 一般財団法人東京顕微鏡院 食と環境の科学センター 所長 安田和男

乾 杯 一般財団法人東京顕微鏡院 理事 酒井 悟

(懇 親)

閉 会

(午後8時40分)

ごあいさつ

みなさま、一般財団法人東京顕微鏡院および、当財団の保健医療部門をルーツとする医療法人社団こころとからだの元氣プラザ両法人を代表し、お祝いのご挨拶を申し上げます。

このたび、グローバルな視点から開発途上国の飲用井戸水の重金属汚染に着眼され、現状解明と浄化剤の開発・技術移転・普及に関するご功績が高く評価され、加藤昌志先生が「遠山椿吉記念 第5回 食と環境の科学賞」を受賞されました。今後、日本の飲用水を介した安全性への貢献も期待されております。また、50歳未満の研究者を対象とした遠山椿吉記念 山田和江賞には、原田浩二先生が選ばれました。福島県の被災地にて実施した地産食品・大気汚染モニタリング、地域住民の放射線被ばく評価、被ばく線量の中長期推計と発がんリスク評価は極めて有意義であり、消費者に対するリスクコミュニケーションへの多大な貢献が評価され、今後の研究成果に期待するものです。お二人の先生方に、こころより、お祝い申し上げます。

さて、伝染病が最大の脅威とされていた明治時代、遠山椿吉博士は公衆衛生の研究者として人が着目しなかった飲料水の水質に着目して行政にも強く関わり、初代東京市衛生試験所長として安全な水道水を市民に届け、多くの業績を残しました。「水道水質試験方法」の統一を主唱して「上水試験方法統一のための協議会」を開催したのが今日の日本水道協会の始まりです。また、白米中心の食生活であった当時、毎年約1万人以上もの死者を出す「脚気」は社会的な疾患の一つでした。国内の殆どの研究者が伝染病説を支持し、脚気菌探しに精力が注がれていたなか、博士は広範な疫学調査や動物実験による栄養試験成績など、長年の研究からこの考えを否定し、脚気の原因を「米糠中の特主成分の欠乏」と提唱して米糠から治療薬「うりひん」を抽出し、その薬を治療へと応用しました。

このたびの「第5回 食と環境の科学賞」は、一世紀以上のときを経て、健康ないのちを目指して邁進する、今日の研究者と、その優れた功績に光をあてたものと思います。

遠山椿吉賞は、当財団創業者で医学博士、遠山椿吉の公衆衛生向上と予防医療の分野における業績を記念し、その生誕150年、没後80年である平成20年度に創設した顕彰制度です。その生き方を尊重し、『公衆衛生向上をはかる創造性』、臨床現場での『予防医療の実践』、『これからの人の育成』につながることを、本賞における本質的なポイントと考えており、日本の公衆衛生において、人びとの危険を除き、いのちを守るために、先駆的かつグローバルな視点で優れた業績をあげた個人または研究グループを顕彰するものと位置づけています。

当財団並びに共通のルーツを持つ医療法人は、平成28年4月に創立125周年を迎え、今後とも医事衛生の進歩を図り、公衆衛生の向上に資するよう取り組んでまいり所存です。このたびの授賞にあたり、加藤昌志先生、原田浩二先生のますますのご活躍と、わが国の公衆衛生、予防医療分野の発展と、皆様のご健康、お幸せを心より祈念し、結びの言葉とさせていただきます。

平成29年 2月7日

一般財団法人東京顕微鏡院
医療法人社団 こころとからだの元氣プラザ

理事長 山田 匡通

遠山椿吉記念 第5回 食と環境の科学賞



受賞者

加藤 昌志 (かとう まさし)

(名古屋大学大学院 医学系研究科 環境労働衛生学 教授)

テーマ名

「オーダーメイドで飲用水の安全性を評価できる
技術の開発と実践」

■ 背景

21世紀は、「水の時代」と言われ、地球温暖化による降雨量の格差の拡大は、水に関する紛争に拍車をかけている。こうした状況のもと、開発途上国を中心に井戸水の飲用水としての利用価値はますます高まっている。一方、バングラデシュ等のアジア地域には、数千万人を超えるとも推測される慢性ヒ素中毒患者が発生し、さらに、患者から多数の癌患者が発生している。また、健康リスクとなる濃度のヒ素を含んだ飲用水を飲まざるをえないヒトがアジアで2億人以上にのぼる*との試算もあり、本問題は、アフリカでの飲用井戸水の分析が進むにつれて、さらに広がると想定される。ヒ素に加えて、飲用水の基準値等が制定されているバリウム・マンガン・鉄等の有害元素飲用について、健康被害が報告されており、飲用水に含まれる有害元素汚染は地球規模の環境問題となっている。

*Sun et al. *J Health Popul Nutr* 2006

■ 調査・研究のねらい

1) フィールドワーク調査

飲用井戸水汚染地域を地域・有害元素の種類別に特定する調査(公衆衛生学研究)が不可欠である。

2) 元素の健康リスクの再評価

動物・細胞を用いた最先端の分子生物学研究の導入により、元素の健康リスクを、メカニズムを含めて詳細に評価できる一方、ヒトとの種差を埋めることはできない。健康リスク評価技術を向上できれば、元素の健康リスクをより正確に評価できる。

3) オーダーメイド健康リスク評価

アジアの飲用井戸水の有害元素の健康リスクは単独曝露でしか評価されていない。対象地域の飲用井戸水の汚染状況に合わせ、オーダーメイドで健康リスクを評価できる技術が不可欠となる。

4) 多元素吸着性浄化剤の開発

オーダーメイドの健康リスク評価により、特定される地域ごとで異なる浄化すべき複数の有害元素を過不足なく浄化することが望ましい。

■ 調査・研究の成果

1) フィールドワーク調査

受賞者らは、アジア各地のフィールドワークで採取した飲用井戸水を対象として、LC-ICP-MS等の最先端分析装置を用いた微量元素分析を進めることにより、新しい地域の新しい有害元素汚染を次々と報告している。

2) 元素の健康リスクの再評価

受賞者らは、疫学研究と実験研究におけるそれぞれの長所短所に基づき、より正確で、簡便かつ実践的な健康リスク評価技術の開発を進めている。

3) オーダーメイド健康リスク評価

バングラデシュでは、他のアジア地域の飲用井戸水ヒ素汚染地域に比較して極めて癌患者の発症率が高い。受賞者らは、バングラデシュの癌多発地域の飲用井戸水には、ヒ素だけでなくバリウムや鉄の濃度が高いことに着目した。そこで、癌多発地域の飲用井戸水およびヒト検体(毛髪・爪・尿)において、平均的に含まれる濃度の「ヒ素とバリウム」および「ヒ素と鉄」が複合曝露されることにより、発癌毒性が相乗的に亢進することを示した。以上のように、地域の特徴に応じたオーダーメイドの健康リスク評価法を提案するとともに、リスク評価を実践した。さらに、癌多発地域における慢性ヒ素中毒患者の尿中にはPlacental Growth Factor(PIGF)が統計学的に有意に高いことを示した。さらに、PIGFがヒ素誘発癌に中心的に作用することをメタロチオネインと関連づけながら実験的に証明し、尿中PIGFが慢性ヒ素中毒患者の発癌予測マーカーになる可能性を提案した。一方、日本人を対象とし、メタロチオネインの遺伝子変異が種々の疾患に与える影響を疫学的に解析する研究にも参加した。

4) 多機能性浄化剤の開発

アジアの開発途上国の飲用井戸水は、複数の元素に汚染されているため、単独元素のみに有効な浄化剤は実用性が低い。受賞者らは、アジアの飲用井戸水に含まれる3価と5価のヒ素・鉄・バリウムをすべて吸着できるだけでなく、極めて安価に現地でも生産可能な浄化剤を開発した。

◇ 授賞対象業績の概要説明

【独創性】 フィールドワーク調査により飲用井戸水に含まれる複数の有害元素を解明し、地域の特徴を勘案して「オーダーメイドで飲用井戸水の健康リスクを評価」し、独自に開発した浄化剤(特許5857362号)で除染する公衆衛生学研究を実践している。

【有効性】 5価ヒ素・3価ヒ素・バリウム・鉄を同時に吸着できる浄化剤を開発した。

【経済性】 家族4人が20リットル/日の井戸水を飲用すると仮定した場合に、ほぼ最高濃度に汚染されたヒ素・バリウム・鉄を浄化するのにかかる原価はく0.1円/家族/日と試算される。極めて安価な本浄化剤は、開発途上国の支援に適している。

【貢献度】 本浄化剤は、世界各地の飲用井戸水の安全性の向上を介し、公衆衛生の向上に貢献できる。

【将来性】 アジアには、受賞者等の研究室に浄化剤に興味を持ち協力を伝えてくれた政府機関もあり、実用化・普及が期待できる。さらに、日本における元素を介した健康被害の予防への貢献も期待される。

略歴：福井医科大学医学部医学科卒業('88年)、名古屋大学大学院医学研究科修了、医学博士(名古屋大学)('95年)。名古屋大学医学部免疫学講座助手('95年)、同大学大学院医学研究科微生物・免疫学講座助教授('00年)、ダートマス大学医学部Visiting Professor('00年)、金沢大学大学院医学系研究科環境社会医学講座環境生態医学(公衆衛生学)助教授('03年)、中部大学生命健康科学研究科教授(衛生・公衆衛生学担当)('04年)、同大学生命健康科学部生命医科学科教授(環境衛生学担当)('06年)を経て、2013年1月より現職。 ボランティア団体：大学国際保健ボランティア代表('04年~現在)。

学会等：日本衛生学会(理事)、日本産業衛生学会(東海地方会理事)、日本色素細胞学会(評議員)、加齢皮膚医学研究会(幹事)、日本アレルギー学会(元代議員)、日本耳鼻咽喉科学会

受賞歴等：第5回花王研究奨励賞 医学・生物学分野('03年度)、日本衛生学会奨励賞('05年度)、ロート賞(加齢皮膚医学研究会)('08年度)、武見奨励賞(第24回)('14年度)、三井物産環境基金10周年記念 研究助成成果表彰('15年度)

遠山椿吉記念 第5回 食と環境の科学賞 山田和江賞



受賞者

原田 浩二 (はらだ こうじ)

(京都大学大学院 医学研究科 環境衛生学分野 准教授)

テーマ名

「福島第一原子力発電所事故による
食品・環境からの放射線被ばくのリスク評価」

■ 背景

2011年3月11日に東北地方で発生した地震と津波によって福島第一原子力発電所に事故が起こり、放射性ヨウ素、セシウムなど多量の放射性核種が日本北部および太平洋に放出された。事故の直後に原子力発電所の20km圏内の住民に避難指示が出されたが、その圏外には人々が生活していた。

福島県の居住地の土壌におけるセシウム137汚染量は早くに報告されているが、汚染した食品摂取および大気中に再浮遊する粉じんの吸入による内部被ばく量、また外部被ばくとそのリスク評価が必要であった。2011年7月より、財団法人東京顕微鏡院などからの支援を受けて調査を行ってきた。

■ 調査・研究のねらい

住民の被ばく量の評価にあたり、個々人の被ばくの実態を知ることが目的として、個々の食品のスクリーニングだけでは不十分であった。1日の食事全体で摂取する放射性セシウムを評価するため、陰膳法により調査を行い、精密測定を実施した。

また比較として大気粉じんの吸入による被ばく、汚染土壌からの外部被ばくを評価し、被ばく全体の内訳を明らかにした。

最終的に、福島原発近隣において住民の長期被ばく量の予測と影響評価を行った。

■ 調査・研究の成果

2011年7月における調査では、市場の食材から作成された陰膳試料に含まれる放射性セシウムは、1日あたり平均1.1ベクレルで年間の内部被ばくは6.4マイクロシーベルトと推定された。食材ごとの分析でも支持される結果を得た。避難地域を除いて大気粉じんからの被ばくは年間3マイクロシーベルトを下回り、内部被ばくはいずれも大きくなかった。さらに市販食材ではなく、地元の食材も使った一般家庭での陰膳調査を2011年12月に行い、この場合でも1日の摂取量は中央値で4ベクレルであることを示した。

さらに2012年8月、9月に内部被ばく、外部被ばくを避難地域近隣で調査し、2012年の年間総被ばく量は川内村で0.89mSv、相馬市で2.51mSv、南相馬市では1.51mSvであることを示した。年間総被ばく量の長期予測では、放射性セシウムの減衰により、年間の平均被ばく量は、平常時の自然放射線や医療被ばく以外の被ばく限度である年間1ミリシーベルトを超えることはほとんどないと予測された。

また、2012年以降の生涯被ばく線量から推計される平均的な発がんリスクは最大でも1.061%であり、生活習慣によるがんの追加発症リスクよりも小さい結果となった。

◇ 授賞対象業績の概要説明

特に独創性、将来性、有効性、経済性、貢献度等について

原子力発電所事故に伴う放射線被ばくという経験はチェルノブイリ原子力発電所事故に大きく依拠してきた。しかしながら、福島第一原子力発電所事故への対応にあたり、日本の実情をもとに被ばくに与える要因を明らかにすることが必要であった。実際の住民における個人モニタリングから得られる情報により、安全性が担保されていることを示した点で大きく貢献した。

また手法において陰膳法を採用し、公衆一般に実感しうる方法でリスクコミュニケーションを行えた点で価値があると考えられる。

本調査は被災地域の復興支援でもあり、地域住民の長期被曝レベルの予測も行い、将来の見通しを提示した点でも行政的に重要と考えられる。

略歴：京都大学薬学部卒業（'02年）、同大学大学院医学研究科修士課程修了（'04年）、同医学研究科博士後期課程単位取得・研究指導認定（'07年）、博士（社会健康医学）（京都大学）（'07年）。日本学術振興会特別研究員（'05年）、京都大学大学院医学研究科助教（環境衛生学分野）（'07年）、同大学大学院医学研究科講師（環境衛生学分野）（'07年）、2009年4月より現職。

免許等：薬剤師名簿登録（'02年）、第一種放射線取扱主任者試験合格（'03年）

学会等：日本衛生学会（評議員：'09年～現在）、日本産業衛生学会、日本薬学会、日本環境化学会、日本衛生学会 編集委員会委員（'09～'12年）、日本産業衛生学会 編集委員会委員（'11年～現在）、日本産業衛生学会 許容濃度等委員会起案委員（'11年～現在）、経済産業省産業構造審議会臨時委員・産業環境対策小委員会（'14年～現在）。

受賞歴等：第22回日本衛生学会奨励賞（'08年）「難分解性有機フッ素化合物の環境・生物モニタリングおよび毒性研究」

■ 東京顕微鏡院および、こころとからだの元氣プラザの歴史と公益事業 ■

3つの世紀にわたる歩み

1891(明治24)年に創立された東京顕微鏡院の歴史は、公衆衛生の向上によって命を救いたいと願う、遠山椿吉の熱い『人間愛』から始まりました。創業以来、東京顕微鏡院は政府などからの助成を一切受けることなく、自主的な経済活動によって公衆衛生の向上や学会誌発行、予防医療・健康診断など先見的な事業を展開すると同時に、伝染病予防に対する普及啓発など様々な形で社会に貢献してきました。1927(昭和2)年、財団設立を果たした翌年椿吉は他界しますが、脚気の無料巡回診療、小笠原健康な村づくり事業、先駆的なシンポジウム・セミナーの開催など、時代に則した公益事業活動は続き、その「スピリット」は、東京顕微鏡院の保健医療部門を統合・拡充し2003(平成15)年に設立された医療法人社団こころとからだの元氣プラザにおいても、時代を超えて今に受け継がれています。私たちの百二十五年の歩みは、「すべての人びとのいのちと環境のために」取り組んできた歴史であるといえます。

遠山椿吉の功績: 遠山椿吉は、ロベルト・コッホ博士がツベルクリンを発表した翌1891(明治24)年、顕微鏡による肺病早期診断の必要性を痛感し、1台の顕微鏡から東京顕微鏡院を立ち上げました。椿吉は臨床検査、飲料水の検査、顕微鏡技術者養成、顕微鏡検定、学会誌発行など事業を展開するとともに、当時最大の脅威であった伝染病予防のため一般大衆への啓発活動に努めたのです。また、1903(明治36)年東京市衛生試験所初代所長を兼任し、細菌学者として行政に深くかかわり、東京にいち早く安全な水道水の供給を実現して、日本の公衆衛生の発展に寄与しました。当時、全国レベルの「水道水質試験方法」統一を主唱していた遠山椿吉(東京市衛生試験所所長)が、翌1904(明治37)年「上水試験方法統一のための協議会」を開催したのが、現在の社団法人日本水道協会の始まりです。さらに、欧州先進国の予防医療の概念を紹介して1907(明治40)年には健康診査を提唱、実践し、研究者としては、当時毎年数千名を超える死者もあった脚気病原因の研究と治療薬開発を遂げました。36年間かけて事業基盤を築いた後、東京顕微鏡院を財団法人と成した翌年他界しますが、その創業の精神は今日に受け継がれています。



遠山 椿吉(とおやま ちんきち) 1857.10.1~1928.10.1 医学博士・細菌学者

遠山椿吉は、1857(安政4)年山形県に生まれ、東京大学において別課医学を修め、山形県医学校で教頭を務めた後、再び上京し、東京医科大学撰科で衛生学と細菌学を研究し、帝国医科大学国家医学科を卒業しました。1891(明治24)年東京顕微鏡院を設立し、二千余名に及ぶ医療技術者の養成、医学検査の実践普及、細菌学や脚気の研究、学会誌発行、健康診査、衛生思想普及活動などを推進。そのかたわら、東京慈恵医院医学校講師、東京市衛生試験所所長などの職を兼ね、公衆衛生の発展に寄与しました。医事衛生分野における多数の著書がありますが、最晩年には、「さちのために」「人生の意義と道徳の淵源」など思想書を著し、華道や朝顔作りなど多彩な趣味を持ち、和歌に数多くの作を遺しています。

◆ 遠山椿吉賞について

本賞は、創業者遠山椿吉の公衆衛生向上と予防医療の分野における業績を記念し、一般財団法人東京顕微鏡院および医療法人社団こころとからだの元氣プラザが、日本の公衆衛生において、人びとの危険を除き、命を守るために、先駆的かつグローバルな視点で優れた業績をあげた個人または研究グループに対し、賞状、記念品および副賞として100万円を贈呈するものです。創業者生誕150年没後80年を記念して、平成20年度に創設されました。賞は、「遠山椿吉記念 食と環境の科学賞」と、「遠山椿吉記念 健康予防医療賞」の2部門あり、隔年で選考顕彰いたします。

◆ 遠山椿吉記念 山田和江賞について

50歳未満の応募者(年齢は応募時点)を対象として、平成26年に亡くなられた故山田和江名誉理事長・医師の50余年の功績を記念し平成27年度に創設されました。この賞は、優秀な研究成果をあげており、これからの可能性が期待できる個人または研究グループに対し、研究の更なる発展を奨励することを目的として、賞状、記念品および副賞として50万円を贈呈するものです。本賞は、「健康予防医療賞」「食と環境の科学賞」2部門で選考顕彰いたします。

◆ 遠山椿吉記念 食と環境の科学賞

公衆衛生の領域において、ひとびとの危険を除き、命を守るために、先駆的かつグローバルな視点で優秀な業績をあげた個人または研究グループを表彰します。平成28年度は、食品の安全、食品衛生、食品の機能、食品媒介の感染症・疾患、生活環境衛生を重点課題としました。

◎次回、「遠山椿吉記念 第6回 食と環境の科学賞」の応募期間は、平成30年4月1日より6月30日です。奮ってご応募ください。

◆ 遠山椿吉記念 健康予防医療賞

予防医療の領域において、ひとびとの危険を除き、命を守るために、先駆的かつグローバルな視点で優秀な業績をあげた個人または研究グループを表彰します。病を早期に発見し、発見したものを治療へつなげるという予防医療の基本目標について、地道に社会への貢献を追求する研究者を顕彰する賞と位置づけています。

◎「遠山椿吉記念 第5回 健康予防医療賞」の応募期間は、平成29年4月1日より6月30日です。

* 遠山椿吉賞に関する詳細は、当法人ホームページをご覧ください。 <http://www.kenko-kenbi.or.jp/>

〈問い合わせ先〉

〒102-8288 東京都千代田区九段南4-8-32

一般財団法人東京顕微鏡院 公益事業室 「遠山椿吉賞運営事務局」宛

Tel.03-5210-6651 Fax.03-5210-6671

授賞式

「遠山椿吉記念 第5回 食と環境の科学賞」の授賞式・記念講演会・レセプションは、2017（平成29）年2月7日（火）にホテルメトロポリタンエドモント（東京・飯田橋）にて開催されました。授賞式には、選考委員の先生方を始め、研究者、報道関係者ほか当法人関係者など、およそ100名の参加者が祝福に集まりました。



山田匡通理事長は、まず、受賞された先生方を祝し、遠山椿吉博士の志、本賞ならびに山田和江賞の趣旨を述べ、ご列席の方々とともに、本日この場に至る創業126年の経緯を短く振り返りました。

続いて、加藤氏のご研究について、「グローバルな視点から開発途上国の飲用井戸水の重金属汚染に着眼され、現状解明と浄化剤の開発・技術移転・普及に関するご功績が高く評価された」と述べ、深い敬意と祝辞を述べました。原田氏のご研究については、「福島県の被災地にて実施した地産食品・大気汚染モニタリング、地域住民の放射線被ばく評価、被ばく線量の中長期推計と発がんリスク評価は極めて有意義」と、感銘の意を表し、消費者に対するリスクコミュニケーションへの多大な貢献が評価されたことや、今後の研究成果に期待を寄せました。また、19の非常に優秀な応募業績の中から選ばれた価値に触れ、一般に知ることの少ない、公衆衛生向上にまい進される研究者のご貢献に、光を当てることのできる喜びを語り、創業者である遠山椿吉博士に感謝を捧げました。「われわれとしても、今後とも貢献できるよう努力を積み重ねていきたい」と述べ、「加藤先生、原田先生のますますのご活躍と、わが国の公衆衛生、予防医療分野の発展、皆さまのご健康、お幸せを心より祈念しお祝いの言葉とさせていただきます」と結びました。



当法人の山田匡通理事長より加藤昌志氏（左）に遠山椿吉賞を授与



原田浩二氏（左）に山田和江賞を授与

加藤昌志先生 受賞コメント

私は飲用水に焦点を当てた研究に取り組んでいます。日本では、遠山椿吉先生のご尽力、ご功績のおかげで、飲用水が人の健康に影響を与えるということは、ほとんどありません。しかし、開発途上国では、少し事情が異なります。WHO の健康ガイドライン値を超えるヒ素を含んだ水を飲用せざるを得ない人が億単位で存在すると試算した報告もあり、飲用水は人の健康に影響を与える大問題となっています。実際に、バングラデシュでは、飲用井戸水のヒ素汚染が原因で、多くの慢性ヒ素中毒患者やがん患者が発生していると考えられています。

われわれは、慢性ヒ素中毒患者の中にがんを発症しやすい人（ハイリスク群）と、発症しにくい人がいることに着目し、ハイリスク群を特定できる可能性のあるバイオマーカーの候補を探索しました。さらに、発がん毒性が高いにもかかわらず、従来の方法では除去に苦慮していた3価ヒ素を吸着できる安価な浄化材を開発しました。しかし、現時点では、開発に成功したのみで、普及には至っていません。ですから、このたびの表彰は、「まだまだ研究は道半ばではあるが、これからも頑張ってください」という激励であると解釈しています。

研究成果の普及に向けた取り組みは、行政や企業関係者を含めた国内外の多種多様な分野からのご協力が不可欠となります。これからも国内外の各分野の専門家の皆様からご指導いただけることを楽しみにしています。われわれの研究に興味を持たれた方がいらっしゃれば、忌憚のないご意見をいただくことができれば幸いです。



オーダーメイドで飲用水の安全性を評価できる技術の開発と実践

名古屋大学大学院 医学系研究科
環境労働衛生学 教授
加藤 昌志

はじめに

本日は、飲用水の安全性をテーマにわれわれが進めてきた研究の一部について、第1に飲用井戸水のヒ素汚染などが問題となっている地域で実施したフィールドワーク調査、第2に飲用井戸水で問題となる元素（ヒ素など）について健康リスクの再評価、第3に飲用水の安全性に関するオーダーメイドのリスク評価技術の開発、第4に多機能性浄化材の開発、第5にわれわれの研究の成果が日本に貢献できる可能性、という5つの項目で説明します。

1. フィールドワーク調査の概要

はじめにフィールドワーク調査の概要について説明します。飲用井戸水のヒ素汚染による慢性ヒ素中毒の患者数は、世界のエイズウイルス感染者数を超える規模とも推測されており、中毒患者から爆発的な勢いでがんを発症しているという報告もあります。このため、ヒ素は発がん物質として認定されています。われわれは慢性ヒ素中毒患者におけるがんの発症率が高いバングラデシュなどのアジア地域を

中心にフィールドワーク研究を展開しています。

バングラデシュとベトナムにおいて井戸水の元素濃度を調べた文献によると、ヒ素だけでなくバリウムも含まれていることがわかります（写真1はベトナムの井戸です）。さらに、われわれがバングラデシュで「がん多発地域（がん患者が多く発生している地域）」と「対照地域（がん患者があまり発生が少ない地域）」でヒ素の濃度を調べたところ、がん多発地域の飲用井戸水では、ヒ素だけでなく、鉄やバリウムも高い傾向があることがわかりました（表1）。

次に、飲用井戸水ヒ素汚染地域の住民における尿や爪、毛髪から検出される元素の濃度の相関性を調べたところ、井戸水のヒ素およびバリウムの濃度は、住民の尿・爪・毛髪との濃度と相関関係があることがわかりました。この結果は、尿・爪・毛髪

表1 バングラデシュのがん多発地域と非多発地域における飲用井戸水の元素測定
(測定法：ICP-MS)

バングラデシュ	がん多発地域	非がん多発地域
ヒ素 ($\mu\text{g}/\ell$)	261 ± 119 ̇	4 ± 2
鉄 ($\mu\text{g}/\ell$)	1934 ± 598 ̇	351 ± 167
バリウム ($\mu\text{g}/\ell$)	142 ± 36 ̇	64 ± 17
マンガン ($\mu\text{g}/\ell$)	34 ± 7	34 ± 27



写真1 ベトナムの井戸

におけるヒ素およびバリウムの濃度は、飲用井戸水の濃度の影響を受ける可能性があることを示しています。

フィールドワーク調査の結論として、バングラデシュおよびベトナムでのフィールドワーク調査は、飲用井戸水は、ヒ素だけでなくバリウムや鉄などの元素にも汚染されており、健康に影響を与える可能性があることがわかりました。

2. 元素の健康リスク再評価

1) バリウムの発がん毒性への影響

次に、*in vitro* と *in vivo* で元素の健康リスクに関する再評価を行いました。バリウムを短期曝露した際の発がん毒性について *in vitro* で調べたところ、飲用井戸水に含まれるレベルのバリウム曝露により、非がん細胞の角化細胞・線維芽細胞・メラノサイトの形質転換が促進されることがわかりました。一方、バリウムの扁平上皮癌・メラノーマなどのすでにがん化した細胞に対する Progression への影響は極めて限定的であることがわかりました。これは、バリウム曝露により非がん細胞のがん化が促進される可能性を示しています。

ただし、これらは *in vitro* での実験結果なので、今後はバリウムの発がんへの影響において、動物を対象とした実験研究およびヒトを対象とした疫学研究を用いて調べたいと考えています。

2) バリウムの聴力障害への影響

マウスの聴力については聴性脳幹反応 (ABR) という方法を用いることで、ヒトと同じように、何キロヘルツの周波数について、何デシベルまで聞こえるかという「聴力閾値」を測定することが可能です。われわれは WHO の健康ガイドラインの上限値の濃度のバリウム ($700 \mu\text{g}/\ell$) と、その 10 倍の濃度のバリウム ($7,000 \mu\text{g}/\ell$) を 2 ヶ月間マウスに飲ませた後、聴力を調べました。700 $\mu\text{g}/\ell$ のバリウムに曝露されたマウスでは、バリウムに曝露されていないマウスに比べて聴力が低下し、7,000 $\mu\text{g}/\ell$ のバリウムに曝露されたマウスでは、さらに聴

力が低下しました。これらの結果はバリウム飲用曝露によって聴力障害が誘発される可能性を示しています。

次に、聴力障害が発生する機構についても調べました。内耳における「有毛細胞」「ラセン神経節」「血管条」のいずれかに障害があると、聴力が低下することが知られています。バリウムを 2 ヶ月間飲用させたマウスでは、有毛細胞、ラセン神経節細胞、血管条のいずれもが障害されることがわかりました。これらの結果は、バリウムがかなり強力な内耳毒性を持っている可能性を示しています。

さらに、われわれはバングラデシュの飲用井戸水のヒ素汚染地域の住民を対象として、疫学調査を実施しました。体重・性別・年齢などの交絡因子を入れた多変量解析の結果、爪や毛髪に含まれるバリウム濃度と 8 kHz および 12 kHz の高音域の聴力に、統計学的に有意な相関関係を認めました。これらの結果は、バリウム曝露がヒトの聴力（特に高音域）に影響を与える可能性を示しています。

以上のように、われわれはバリウムの毒性を示してきましたが、最後に、われわれが動物実験に使用したバリウムは塩化バリウムであり、健康診断などで使用される硫酸バリウムとは異なることを申し添えます。われわれは硫酸バリウムを用いた研究をした経験はありませんが、硫酸バリウムのバリウムはほとんどイオン化しないので、動物実験において塩化バリウムで見られたような毒性はないものと推測しています。

3) ヒ素と鉄の複合曝露による発がん毒性への影響

ヒ素と鉄の複合曝露による発がん毒性への影響について *in vitro* で調べました。人の爪で観察し得る割合のヒ素と鉄（ヒ素：鉄 = 1：10）を、非がん細胞 (HaCaT 細胞) に曝露させたところ、相乗的に発がん毒性が亢進 (Colony formation assay によるコロニー数の増加) しました。さらに、発がんに関係すると考えられている c-SRC および ERK のリン酸化レベルも、ヒ素と鉄の複合曝露により相乗的に亢進する可能性がありました。これらの結果は、ヒ素と鉄の複合曝露が、発がん関連シグナルを活性化させ、足場非依存性増殖を亢進させることにより、

発がんを促進する可能性を示しています。

一方、これらは、あくまでも細胞レベルでの結果です。今後、動物を用いた実験研究やヒトを対象とする疫学研究で、ヒ素と鉄の複合曝露が個体に与える影響を調べる必要があると考えています。

3. オーダーメイドのリスク評価

バングラデシュでは、各家庭に井戸があることはまれで、通常、井戸を共用しています。このように同じ井戸水を飲用しているにもかかわらず、がんの発症には個体差がある可能性が指摘されています。もし、将来がんを発症する患者を予測できるようなバイオマーカーを開発できれば、がんのハイリスク群を特定し、患者の現状に合わせたオーダーメイド方式で、がんの予防や早期発見・早期治療を実践できるのではないかと考えました。

われわれはがん多発地域の住民では、尿中のヒ素濃度だけでなく、尿中の胎盤成長因子（PIGF：Placental Growth Factor）の濃度も高いことを見つけました。一方、*in vitro*の実験では、ヒ素曝露によって非がん細胞のPIGFの発現・分泌が、がん細胞に近いレベルにまで上昇することがわかってきました。また、PIGFの発現抑制により、ヒ素を介した形質転換が抑制される可能性があります。これらの結果から、われわれはPIGFがバングラデシュの慢性ヒ素中毒患者からがんを発症しやすいような患者群（ハイリスク群）を特定できるバイオマーカーの候補となり得るのではないかと考えています。

今後、尿中PIGFレベルを、慢性ヒ素中毒患者における発がん予防、がんの早期発見・早期治療に役立てるオーダーメイドリスク評価技術まで高め、実用化できるように研究を進めたいと考えています。もし、本バイオマーカーが飲用井戸水ヒ素汚染地域の住民だけでなく、日本人の発がんの予測にも有効であれば、有用性はさらに高まる可能性があると考えています。

4. 多機能性浄化材の開発

先に示したように、バングラデシュやベトナムの井戸水は、ヒ素・鉄・バリウムなどの有害元素が高濃度に含まれる場合があります。また、われわれは、培養細胞のレベルではありますが、ヒ素・鉄・バリウムががん化に関係している可能性があることを示しています。そこで、われわれは井戸水からヒ素・鉄・バリウムの3元素を除去できる浄化材の開発に挑戦しました（写真2）。開発された浄化材（特許5857362号）の特徴を以下に示します。

【品質】ヒ素・鉄・バリウムについて、現在または過去に提示されたWHOのガイドライン値の10分の1以下まで浄化できます。さらに、従来の方では浄化が難しかった、毒性が高い3価ヒ素も浄化できます。

【時間】従来は浄化に一晚を要したといった報告もありましたが、われわれが開発した浄化材は60秒以内にWHOのガイドライン値以下まで浄化可能です。短時間に浄化できるということは非常に重要な特徴であると考えます。

【効率】理論上は1gの浄化材で、がん多発地帯の井戸水を50ℓ以上浄化できると考えています。

【コスト】理論上は1円かからない程度のコストで、浄化剤1gを作製できます。低コストであることは、途上国の支援に極めて有効であると考えます。

【持続性】途上国内で製造可能なので、持続可能な支援ができます。

なお、本システムについては、現在、普及に向け



写真2 開発中の浄化システム

て技術移転の準備を進めているところです。

5. 震災復興への貢献の可能性

東日本大震災からの復興に貢献することは、われわれ衛生学者にとって重要な使命の一つであるように思います。そこで、最後に、「日本に対する貢献」に焦点を当てて、われわれの最近の研究成果を報告します。

東日本大震災後の被災地では大量のガレキが発生しており、環境省は、岩手・宮城・福島の3県だけで、約2,500万トンものガレキが発生したと報告しています。ガレキの約75%が木材であるとの報告もありますので、実に1,875万トンもの木材系ガレキが震災後に発生したと推測されます。ですから、ガレキ処理は木材系廃棄物処理であると言っても過言ではないかもしれません。

一方、CCA（クロム・銅・ヒ素化合物系木材防腐剤）処理木材は、防腐・防蟻を目的としてCCA [6価クロム（Cr）・銅（Cu）・5価ヒ素（As）]を木材内部に加圧注入処理したもので、建築資材などに利用されてきました。欧米では、CCA処理木材を介した元素曝露による健康リスクが懸念され、使用が禁止されています。日本では、CCA処理木材は1965-1996年頃まで生産されており、2030～40年頃に向けて、少しずつ建築廃材としてのCCA処理木材が

増加する予定でした。しかし、今回の震災により、とてつもなく大量のCCA処理木材を一気に処理する必要に迫られました。本木材系ガレキ処理の最大の問題点の一つは、本来分別して処理されるべき「高濃度元素を含んだCCA処理木材」を、分離せずに処理しなければならない状況に陥ったことです。

東日本大震災後の被災地で、われわれが実施したフィールド調査により、木材系ガレキには確かにCCA処理木材が含まれていることが示されました。これは、CCA処理木材を含む木材系ガレキの焼却により、毒性の高いCr・Asが大気中に拡散し、健康リスクとなる可能性があることを示しています。われわれは将来発生するかもしれない震災に備えて、木材系ガレキの焼却により発生するCr・Cu・Asを、大気中に拡散させない技術を開発することが必要であるかもしれないと考えています。

6. 最後に

衛生学分野の研究は、「疫学を含むフィールドワーク研究」と「分子生物学研究を基礎とした実験研究」に大別できます。われわれもフィールドワーク研究を実施することにより、環境と健康に関する種々の問題点を見つけ出しています。実際に、多変量解析を用いた疫学研究は、環境がヒトの健康に与える影響を調べるうえで、極めて強力なツールになります。しかし、ヒトを対象とする研究では、倫理的問題などもあり、環境が疾患を誘発する機構（メカニズム）を詳細に解析することは容易ではありません。一方、細胞や動物を用いて実施される実験研究は、環境が疾患を誘発する分子機構を解明することが可能であり、バイオマーカーや予防技術の開発につながります。しかし、実験研究で開発された成果をヒトで実用化しようとする、やはり、ヒトを対象としたフィールドワーク研究が必要となります（図1）。

このように考えると、リアルタイム

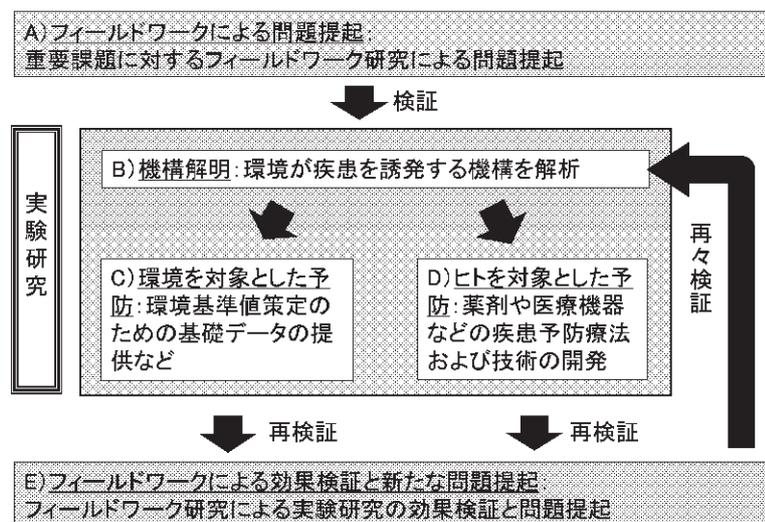


図1 フィールドワーク研究と実験研究を融合した衛生学

で「疫学を含むフィールドワーク研究」と「分子生物学研究を基礎とした実験研究」のやりとりができることにより、研究期間を短縮して有効な衛生学研究成果をうみだすことができる可能性があります。ですから、「フィールドワーク研究」と「実験研究」の両方に精通し、包括的に衛生学を推進できる人材の育成にも積極的に携わっていきたいと考えています。

謝辞

遠山椿吉記念 第5回 食と環境の科学賞を付与いただきまして誠にありがとうございました。大変光栄なことで、深く感謝申し上げます。ただ、本発表で述べさせていただきましたように、われわれの研究は、未だ道半ばでありますので、本賞を励みとし、さらに精進してまいります。

最後になりましたが、本研究は到底私一人でできるものではありません。いつも私を支えてくれている名古屋大学大学院の環境労働衛生学教室の皆様、いつも献身的に協力していただいている国内外の共同研究者の皆様に、改めて厚く御礼申し上げます。

原田浩二先生 受賞コメント

このたびの受賞した研究テーマは、東日本大地震にともなう東京電力福島第一原子力発電所事故における地域住民の放射線被ばくの調査です。2011年当時、私は化学物質による環境汚染、リスク評価に関する研究に取り組んでいました。本研究に関しては、本日、来賓としてご列席されている日本衛生学会理事長の小泉昭夫先生が「この問題に取り組むことは、衛生学の社会的使命の一つである」と調査プロジェクトを立ち上げられ、私も関わってきました。改めて申し上げるまでもありませんが、この一連の研究では、たくさんの共同研究者、地域の方々の協力をいただきました。そのような中、このたび山田和江賞をいただけたことは、多くの若手研究者にとって励みとなることでもあり、とてもありがたく存じます。

2011年7月にプロジェクトチームとして福島県に入り、試料のサンプリングを行い、大学に帰って試料処理、測定を行いました。このとき、思っていたよりずっと放射性物質濃度が低い平均値であることに驚きました。原発事故といえばチェルノブイリ事故での経験をもとに語られることが多かったわけですが、このたびの調査を通じて、福島県の状況を定量的なデータとして、多くの人に伝えていくことができたと考えています。それらはWHO報告書、UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）報告書にも引用されました。検査や測定は、ややもすればルーティンワークとして見られることもありますが、正しく数字にして信頼性を確保すること、また継続的なモニタリングの中から異常がないか突き止めることは、地道な日々の積み重ねのうえにあります。このような仕事を顕彰する「遠山椿吉賞」の理念に敬意を表します。



福島第一原子力発電所事故による 食品・環境からの放射線被ばくのリスク評価

京都大学 医学研究科 環境衛生学分野
准教授
原田 浩二

放射線被ばくの評価を行いました（評価の核種は、セシウム 134 とセシウム 137）。

はじめに

2011年に福島第一原子力発電所（以下、福島原発）の事故が起きて以来、放射線被ばくへの健康へのリスクは全国的な関心事となりました。事故の発生後、福島原発から20km圏内の警戒区域と計画的避難区域を定め、住民は避難することになりました。その一方で、20km圏外の緊急時避難準備区域などでは、自主的な避難を選ばずに、とどまり続けていた人たちもいます。われわれは、そういった方に対して、「どれくらいの放射線を浴びているのか?」「食品・環境からどれくらいの放射性物質を摂取しているのか?」といった情報をどのように伝えるべきか、ということを考えてきました。

1) 原発事故直後の内部被ばくに関する評価：経口摂取（食事、牛乳、野菜）の調査（2011年7月調査）

住民が食事からどれくらいの放射性物質を摂取しているかを把握するための調査を行いました。住民がより身近に感じられるデータを得るためには、実際の食事を試料として提供してもらえばよいのですが、事故から間もない時期でそういうわけにもいきません。そこで、食事サンプルについては、原発の周囲（約20～70km）にあるスーパーマーケットで55日分の食事と飲料水を構成するように食材を購入しました。また、市販の販売所で、福島県産の野菜と牛乳も購入しました。対照試料（コントロール）については、京都府宇治市で19人から19日分の食

1. 原発周辺における予備的内部被ばく評価

原発事故の後、政府は「汚染された食品を流通させない」という考え方で「1kg当たり500Bq（ベクレル）」という暫定基準を設定しました。一方で、一般の方にとっては「500Bqを超えていなければ大丈夫なのか?」「500Bqを下回っている食品は摂取しているのではないか?」という不安も持っていました。そういった不安を払しょくするためにも、大学の研究者としては「現状を数値で伝える」ということを目的とした調査や研究を行ってきました。

まずは原発周辺での成人の内部被ばくを評価する目的で、2011年7月2～8日に食事と大気中の放

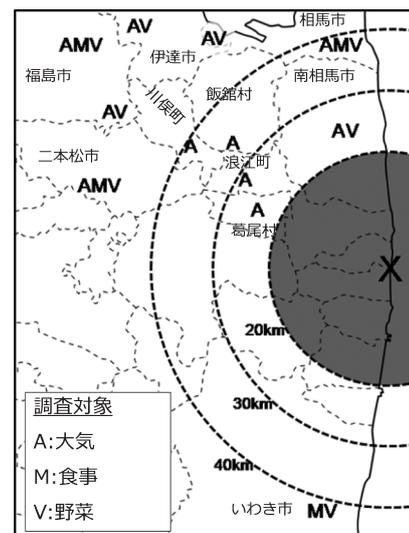


図1 食品のサンプリング地点

事、間食および飲料水（陰膳）を収集するとともに、同市内で牛乳と野菜も購入しました（宇治市は、原発から遠く離れているので、放射能の影響をほとんど受けていないと考えられます）。

食事の収集は、図1の地図上で「M」と書かれている箇所で行いました（原発から30～50kmの箇所が多いです）。試料は凍結乾燥し、かつ通常の食品モニタリングより測定時間を長くすることで、低濃度まで評価できるようにしました。セシウム134、セシウム137の濃度は、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定しました。

結果は表1に示すように、福島県内で収集した試料（55セット）のうち、36セットから放射性セシウムが検出されました（京都府で収集した対照試料では19セット中1セットで検出）。経口摂取量の中央値は、セシウム134が0.2 Bq/day（36サンプル）、セシウム137が0.3 Bq/day（35サンプル）で

した。セシウム134とセシウム137を合計しても0.5 Bq/dayですから、当時の食品中の暫定基準値（500 Bq/kg）の1,000分の1程度の摂取量であることがわかりました。いわき市、相馬市、二本松市、福島市でも同様の調査を実施しましたが、地域による大きな差は見られませんでした。

では、そうした食事を毎日摂取すると仮定して、年間どれくらいの放射線被ばくをしましょうか。それを表した数値が表1の「預託実効線量」で、福島県全体では中央値で年間3.0μSv（マイクロシーベルト）、最高値で年間83.1μSvでした。当時の食品での基準は、年間で5 mSv（ミリシーベルト）を超えないように設定されていましたから、この中央値は、当時の基準値の1,000分の1程度ということになります。なお、こうした結果を読む際に注意してほしいのですが、同じ食品、同じメニューを毎日食べ続けるということは普通はあり得ません。

表1 福島県内における放射性セシウムの経口摂取量

調査地点	試料数	摂取量 (Bq/日)		預託実効線量 (μSv/年)	
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs		
福島県合計	55	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	36 (65.5) 0.2 (ND-7.2)	35 (63.6) 0.3 (ND-7.0)	3.0 (ND-83.1)
いわき市	10	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	9 (90.0) 0.4 (ND-2.5)	9 (90.0) 0.7 (ND-1.6)	6.5 (ND-24.7)
相馬市	10	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	7 (70.0) 0.6 (ND-7.2)	8 (80.0) 0.9 (ND-7.0)	8.2 (ND-83.1)
二本松市	10	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	5 (50.0) 0.1 (ND-0.9)	4 (40.0) ND (ND-0.9)	1.7 (ND-10.4)
福島市	25	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	15 (60.0) 0.1 (ND-0.8)	14 (28.0) 0.2 (ND-1.3)	1.3 (ND-11.3)
宇治市	19	検出数 (%) 最大値	1 (5.3) 0.4	1 (5.3) 0.5	- 5.3

ND：検出限界以下（0.2Bq/kg）
預託実効線量は¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計

表2 福島県で流通する牛乳中の放射線セシウム濃度

調査地点	試料数		放射能 (Bq/kg)		
			¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計
福島県合計	21	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	20 (95.2) 1.8 (ND-4.9)	19 (90.5) 1.9 (ND-5.5)	- 4.1 (ND-10.1)
いわき市	3	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	3 (100.0) 0.9 (0.6-1.2)	3 (100) 1.2 (1.1-1.3)	2.0 (1.9-2.3)
相馬市	6	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	6 (100.0) 3.1 (1.4-3.8)	6 (100.0) 3.1 (1.9-4.4)	- 6.1 (3.3-8.2)
二本松市	3	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	3 (100.0) 0.2 (0.2-1.3)	2 (66.7) ND (ND-1.1)	- 0.2 (0.2-2.4)
福島市	9	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	8 (88.9) 3.4 (ND-4.9)	8 (88.9) 3.9 (ND-5.5)	- 7.3 (0.2-10.1)
宇治市	3	検出数 (%) 中央値 (最小値-最大値)	1 (33.3) ND (ND-0.7)	1 (33.3) ND (ND-0.7)	- ND (ND-1.4)

表3 福島県で流通する野菜中の放射線セシウム濃度（一部抜粋）

野菜・果物	試料重量 (g)	放射能 (Bq/kg)			
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計	
宇治市	ホウレンソウ	1249	検出せず	検出せず	検出せず
	コマツナ	3044	検出せず	検出せず	検出せず
福島県 (43 試料)					
伊達市	コマツナ	1828	2.6	2.2	4.8
	ホウレンソウ	1677	0.2	0.3	0.5
	ツルナ	1097	29.9	32.7	62.6
	ツルムラサキ	826	2.1	3.1	5.2
	キュウリ	1643	3.4	4.5	7.9
川俣町	ネギ	1770	3.3	2.8	6.1
	ミズナ	504	5.9	7.7	13.7
	シイタケ	1012	140.4	164.2	304.6
	ツルムラサキ	503	4.4	3	7.4
	キュウリ	1007	1.3	1.6	2.8
	ブロッコリー	831	6.4	6.6	12.9
	ニラ	704	7.2	4.5	11.7
福島市	あんぼ柿	332	1.8	1.7	3.5
	ネギ	1455	5.7	6.6	12.3
	ニラ	436	1.9	2	3.9
	キュウリ	493	3.9	3.9	6.8

ですから、「非常に過大に見積もった場合でも年間 83.1 μSv の摂取量」と考えてもらえばよいでしょう。

牛乳中に含まれる放射性セシウム濃度の一例を表 2 に示します。福島県全体では、牛乳では中央値 4.1 Bq/kg（地域別にみても 5 Bq/kg 前後）でした。ちなみに、こういった数値は通常のスクリーニング検査では出てこないような低い値です。

野菜中に含まれる放射性セシウム濃度の一例を表 3 に示します。新しく設定された基準値（牛乳：50 Bq/kg、野菜類：100 Bq/kg）を超えたものは市販のシイタケだけで、それ以外の野菜についてはおおむね 10 Bq/kg 程度でした。シイタケでは放射性セシウムが濃縮されるといわれており、実際に高い測定値になりました。ただし、先ほど述べたのと同様に、「シイタケだけを何 kg も食べる」という食べ方は普通はしないでしょ

う。

2) 原発事故直後の外部被ばくに関する評価：吸入摂取（大気粉塵）の調査（2011 年 7 月調査）

空気に関しては、エアサンプラーを持ち歩いて、大気中の粉塵を石英繊維フィルター上に捕集しました。地上 1.5 m の高さで 50 m³ 以上を捕集したところ、1 m³ 当たり数 mBq（ミリベクレル）の放射性物質しか検出されませんでした（表 4）。大気粉塵の吸入による預託実効線量は、9 地点で年間 3 μSv 以下と推定され、「大気からの被ばくがそれほど多くない」という結果になりました。

なお、当時すでに避難区域となっていた場所については、飯館村では 14.7 μSv、浪江町では 76.9 μSv、葛尾村では 27.7 μSv となり、いずれも

比較的高い線量でした。

3) 研究の限界

ただし、この研究には 2 つの限界がありました。第 1 に、自給自足するライフスタイルの住民には適応できないという点です。今回の結果はスーパーマーケットなどで流通している食品を測定したもの

表 4 大気中の放射性セシウムの経気摂取量推定

調査地点	調査日	大気中放射能 (m Bq/m ³)		預託実効線量 ^a (μSv/年)
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
福島市	2011/7/2 (晴)	1.9	3	1.1
伊達市	2011/7/3 (曇)	7.9	6.4	3
福島市	2011/7/3 (曇)	4.7	1.5	1.1
福島市	2011/7/4 (雨)	1.6	1.5	0.6
相馬市	2011/7/5 (晴)	0.6	0.2	0.1
南相馬市	2011/7/5 (晴)	0.7	1.1	0.4
相馬市	2011/7/5 (晴)	1.1	2.3	0.8
福島市	2011/7/5 (晴)	2.9	3.4	1.4
二本松市	2011/7/6 (晴)	0.6	0.6	0.3
二本松市	2011/7/6 (晴)	4.2	7.3	2.7
川俣町	2011/7/6 (曇)	6.3	6.1	2.7
福島市	2011/7/6 (曇)	5.3	7.6	2.9
福島市	2011/7/7 (曇)	1.9	2.5	1
飯館村	2011/7/7 (曇)	24.6	38.9	14.7
浪江町	2011/7/7 (曇)	148.2	194.2	76.9
葛尾村	2011/7/7 (曇)	65	64	27.7

a) 成人の 1 日標準呼吸量を 20m³ として、大気粉塵中すべてのセシウムを吸入していると仮定している。

であり、自家菜園で農産物を栽培している場合などには対応していません。また、すべての食事試料を30km圏外での購入に限定せざるを得ませんでした。第2に、大気サンプルの数と季節が限られていました。今回のサンプリングは、少数の限られた地域に限定したものであり、かつ再浮遊が比較的少ないと考えられる梅雨のシーズンに行われたものでした。

ただし、これらの限界については、すでにほとんどが解消されています（詳細は後述します）。

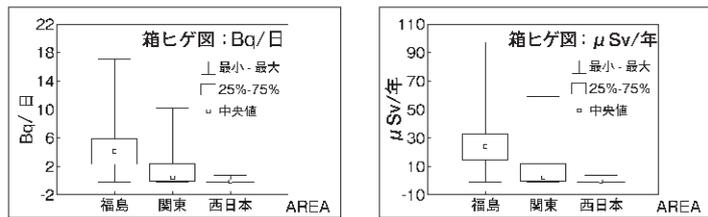
2. 福島県内での食事調査

上記の研究により、食事は「一応安全」と考えることができました。しかし、上記の調査では、市販の調理総菜を試料としたため、「一般家庭の食事で、どれだけの放射性物質が含まれているのか？」という調査は実施できていませんでした。そこで、地元の食材を使った、一般家庭で食べられている1日の食事に含まれている放射性セシウムの濃度を調査することにしました。

1) 内部被ばくに関する評価: 経口摂取（食事、飲料）に関する調査（2011年12月）

調査Hは2011年12月4日で、食料の収集は福島県内で26人、関東で16人、西日本で11人を対象に実施しました（陰膳方式）。結果（中央値）は図2に示すように、福島県で4.0 Bq/day、関東で0.4 Bq/day、それ以外の地域（西日本）では検出されませんでした。年間の被ばく量に換算すると、福島県で23.2 μ Sv、関東で2.2 μ Svとなり、食品の新基準の年間限度量を1 mSvとすると、それを超える量ではなかったことになります。

表4で示したように、大気からの内部被ばくは20 km圏内で預託実効線量が最も高かったのは浪江町（76.9 μ Sv）でした。また、水や食品から摂取した最大量は2011年7月調査では83.1 μ Sv、12月調査



	中央値 (Bq/日)	最大 - 最小	中央値 (μ Sv/年)	最大 - 最小
福島	4	17.3-ND	23.2	98.9-ND
関東	0.4	10.4-ND	2.2	59.7-ND
それ以外	ND	0.6-ND	ND	3.6-ND

ND: 検出下限以下

図2 食事中セシウム ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) による放射線量の比較

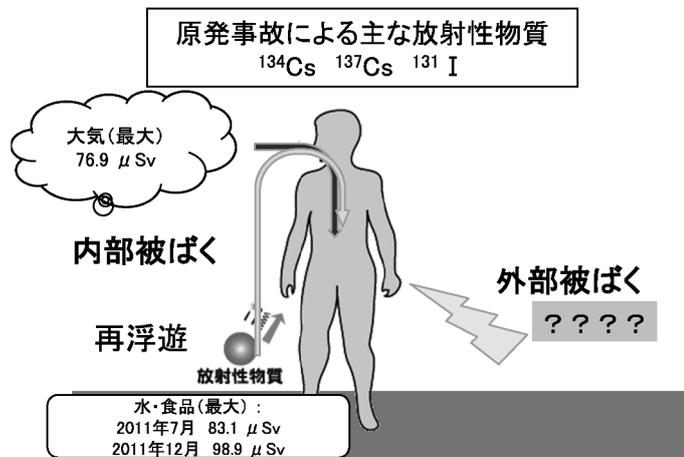


図3 放射性セシウムの内部被ばくのまとめ（2011年調査）

では98.9 μ Svでした。以上の結果から、「内部被ばくで年間1 mSv（平常時の自然放射線や医療被ばく以外の被ばくの限度値）を超えることはない」と考えられました。

3. 避難地域に隣接する地域での被ばく評価

1) 外部被ばくに関する評価（2012年8～9月）

外部被ばくに関する調査も必要です（図3）、2012年8～9月に川内村、相馬市玉野地区、相馬市玉野地区において個人被ばくの調査を実施しました（図4）。調査を実施したのは、川内村の緊急時避難準備区域指定が解除され、徐々に帰村が始まっている時期でした。

調査は、川内村の388人、相馬市玉野地区の182

世帯・461人、南相馬市原町地区の地域婦人会30人を対象に、光刺激ルミネセンス線量計を配布して行いました（写真1のようなバッジを着けてもらいました）。川内村の帰村者は666人でしたので、帰村者の半数以上に協力してもらえたこととなります。

結果は表5に示したとおりです。2ヶ月間の被ばく線量の平均値は、川内村で0.17 mSv、相馬市玉野地区で0.46 mSv、南相馬市原町地区で0.28 mSvでした。これは2ヶ月間の数値なので、それぞれの数値を6倍すると年間の被ばく線量に相当すると考えられます。

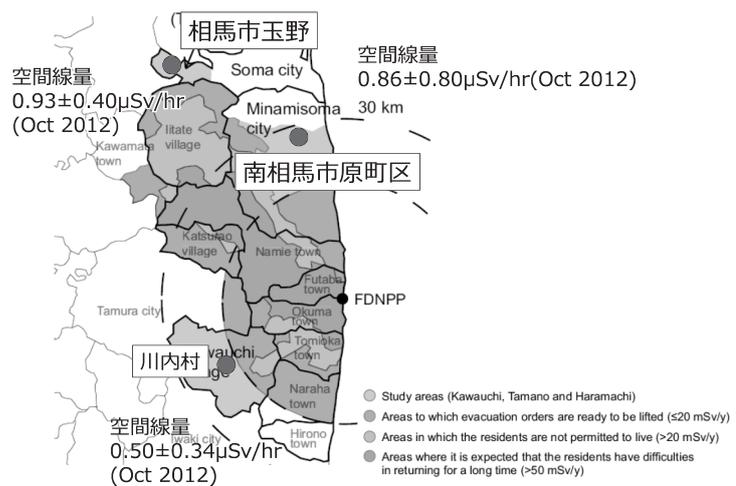


図4 外部被ばくに関する調査を実施した地域

2) 内部被ばくに関する評価：経口摂取（食事、飲料）の調査（2012年8月）

2012年8月、成人1人当たりの1日量の食事（飲料を含む）からの放射性セシウムの曝露量を陰膳方式で調査しました。調査は、川内村で82人、相馬市玉野地区で19人、南相馬市原町区で30人を対象に実施しました。

結果は表6に示すとおりでした。セシウム137は半数以上で検出され、中央値は0.52～0.86 Bq/dayでした。また、セシウム134の比率は0.6で、半減期（2年）に従って減少していました。野菜の摂取量が多い玉野地区では比較的高い曝露量となりました。ちなみに、川内村と玉野地区は山間地域で農家や自家菜園が多い地域です。



写真1 個人被ばく調査で使用したバッジ

表5 外部被ばくの概要

		深部線量当量* (10mm depth, mSv) 2012年8～9月
川内村	範囲（中央値）	0.04～1.2 (0.14)
	平均±SD	0.17±0.10
相馬市玉野地区	範囲（中央値）	0.17～1.1 (0.44)
	平均±SD	0.46±0.18
南相馬市原町区	範囲（中央値）	0.14～0.40 (0.26)
	平均±SD	0.28±0.07

SD：標準偏差

*自然放射線は差し引いている

表6 放射性セシウムの経口摂取

3) 内部被ばくに関する評価：吸入摂取（大気粉塵）の調査（2012年8～9月）

川内村、相馬市玉野地区、南相馬市原町区に写真2のような器材を設置して、大

気粉塵の放射性物質を1週間単位で観測しました。

その結果、各地域の最大値でも、川内村で1.28 mBq/m³、相馬市で0.75 mBq/m³、南相馬市で1.68

mBq/m³となり、年間実効線量では川内村で0.32 μSv、相馬市で0.2 μSv、南相馬市で0.32 μSvとなりました。2011年7月の調査時と比べて、さらに



写真2 大気粉塵の調査

10分の1程度に減少していることがわかりました。最大値でも $1\mu\text{Sv}$ を下回っており、先ほどの内部被ばく（食事や飲料）や外部被ばくの数値と比較しても、非常に少ない量であるといえます。

図5の左側が3地域における外部被ばく、経口摂取、吸入摂取の割合ですが、99.5%以上を外部被ばくが占めていることがわかります。そこで、上端の1%の部分のみを拡大すると、図5の右側ようになります。大気粉塵による吸入摂取がきわめて少ないことがわかります。

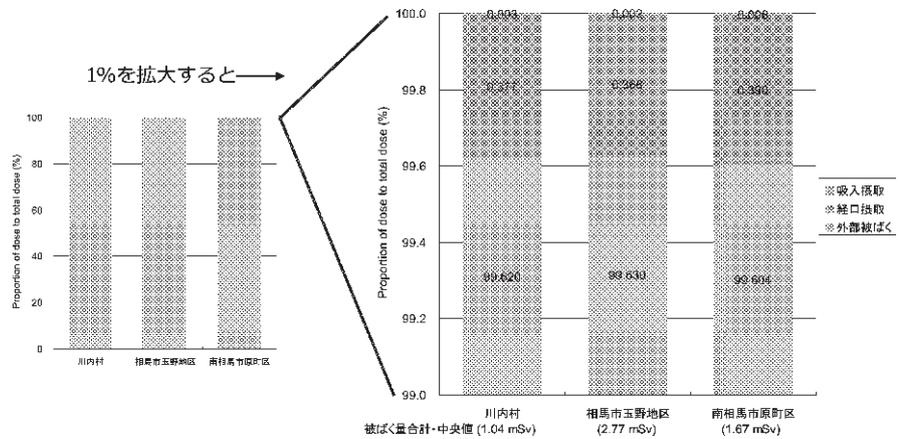


図5 経路別の被ばく量（中央値）の比較

4. 今後の被ばく線量の予測

1) 年間の総被ばく線量の長期予測

住民の関心事として、「今後、外部被ばくがどうなるか？」という点が挙げられます。図6は原発事故後の年間被ばく線量について、長期的な予測を行った結果です。放射性セシウム（セシウム134、セシウム137）は物理的半減期の影響で、10年後には現在の3分の1

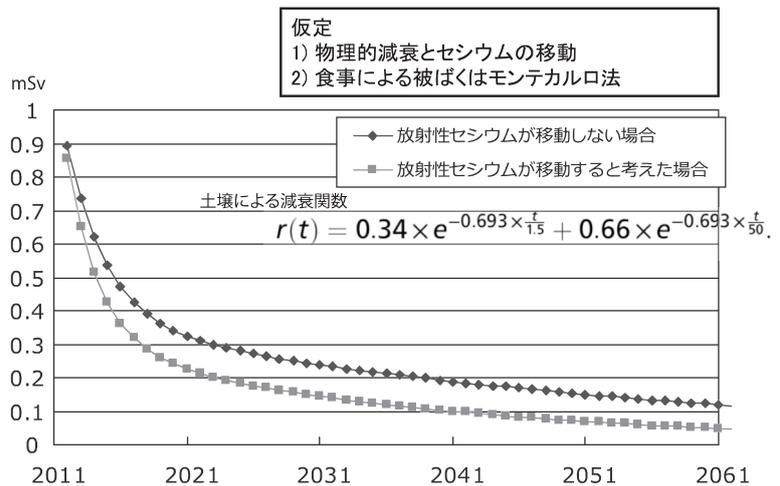


図6 年間被ばく線量の長期予測 (mSv/年)

程度まで減衰し、その後も緩やかに減少を続けます（図6の「放射能セシウムが移動しない場合」のグラフを参照）。さらに、放射性物質は地面に浸透することで、放射線が人体に届きにくくなる（放射線

が土壌に遮られる)と考えられています。

そうした効果も合わせて考えると、図6の「放射性セシウムが移動すると考えた場合」のグラフのように、10年後には5分の1程度に減少すると予測されます。

なお、こうした予測をもとに、2012年に帰村した1歳児が90歳までに受ける生涯被ばく量を予測したところ、川内村の平均値は16 mSv(放射線が土壌に遮られると考えた場合は9.4 mSv)でした。

年間の総被ばく線量(外部被ばく、食事および大気粉塵による内部被ばくの合計)を予測した結果を表7に示しました。放射性セシウムの物理的半減期や、(放射性セシウムが)土壌に移動することを考慮に入れると、2020年頃には、3地域の年間の平均被ばく量は、平常時の自然放射線や医療被ばく以外の被ばく限度である年間1 mSvを超えることはほとんどないと予測されました。

2) 被ばくによるがん発症のリスク

広島、長崎の原爆被ばく者の追跡調査によって、放射線が発がんのリスクを高めると考えられています。そこで、福島第一原発の事故が健康に及ぼすリスクについて検討しました。

図7のグレーの部分には、日本人男性が1~89歳までに固形がんを発症する割合を示しています。1歳で川内村に帰村して、89歳まで生きたと仮定した場合、放射性セシウムの生涯被ばく線量は15.1

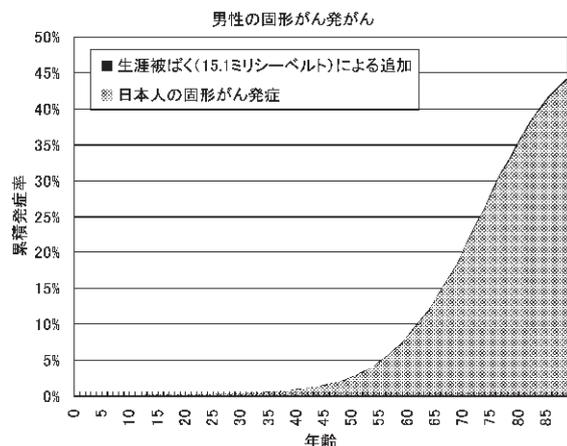


図7 発がんに関するリスク評価

表7 年間被ばく線量の長期予測

	平均年間総被ばく線量※ (mSv)		
	2012年	2022年	2062年
川内村	0.89	0.31	0.12
相馬市玉野地区	2.51	0.87	0.33
南相馬市原町区	1.51	0.53	0.2

※外部被ばく、食事および大気粉じんによる内部被ばくの合計

mSvと算出されます(土壌に移動する分を考慮せず、物理的半減期のみを考慮して予測)。図7の黒色の部分は、この帰村者が、被ばくの影響でがんを発症する割合がどれくらい追加されるかを示したものです。被ばくの影響によってがんを発症する確率(追加発症率)は、0.25%ほど高まると予測されました。これは、肥満、運動不足、塩分過剰、野菜不足などの生活習慣によってがんを発症する追加割合と比べて、十分に低い値です。

なお、図7は男性の固形がんの場合ですが、その他の疾病に関する「放射線に生涯で被ばくした場合の追加発症率」は、女性の固形がんでは0.37%、女性の乳がんでは0.1%、男性の白血病で0.01%、女性の白血病で0.008%となっています。

5. 今後の課題

以上の結果を総括すると、現状では「通常の生活であれば、放射線の被ばくによる健康リスクは低い」と考えられます。今後の放射性物質の減衰を考えると、10年後には年間被ばく線量の平均はおおむね1 mSv以下となると予測されます。

ただし、引き続き注意深い確認を続けることは必要です。とくに、①キノコなど食物の汚染、②森林への立ち入り、③汚染地域への立ち入りなどについては十分な注意が必要です。その上で、年間の放射線量が1 mSvを十分に下回っていることを確認できれば、住民の方々も安心感を得られるのではないかと考えています。

以上、われわれの調査や研究の概要を紹介しましたが、的確な考察するには不確かな要素が含まれていることも事実です。例えば、2011年の被ばく線量は、あまりデータとして含まれていません(ただし、そのために2012年以降の長期的な見通しを誤

ることではないと考えています)。

また、川内村、相馬市および南相馬市の3地域で調査を行いました。その他の地域の被ばく線量についてのデータは今回含めていませんでした。ただし、先ほど述べたように、被ばく経路の99%以上は外部被ばくですから、最も被ばく線量が高いと考えられる地域で収集したデータは、福島県全域に適用できると考えています。サンプルサイズも多いとはいえませんが、平均的な状況を知るには十分であると考えています。

今後については、除染や土壌への浸透の効果、屋外作業者の被ばく状況、放射性セシウム摂取の日間変動、外部被ばくの季節変動(降雪、屋内滞在などの影響)などの調査も進める必要があると考えています。

謝辞

本研究は2011年の財団法人東京顕微鏡院からの助成によって始まりました。また、本研究は、小泉昭夫教授をはじめ、さまざまな方のご協力ならびにご指導によって実施することができました。厚く御礼を申し上げます。