

大阪府立大学地域連携研究機構
放射線研究センター

平成 22 年度
放射線施設共同利用報告書

平成 24 年 1 月

*Radiation Research Center
Research Organization
for University-Community Collaborations
Osaka Prefecture University*

1. はじめに

地域連携研究機構・放射線研究センター長 奥田修一

このたびの本学の組織改編に伴い、旧産学官連携機構の諸機能を受け継ぎ地域貢献の役割を強化した地域連携研究機構が、今年度新たに発足しました。現在の放射線研究センターは、旧先端科学イノベーションセンターの教員組織が再編されたもので、施設や活動を受け継いでいます。

当センターには、コバルト60ガンマ線源や電子線加速器による放射線照射利用施設、非密封放射性同位元素を取り扱う放射化学実験施設、実験動物施設、大規模なクリーンルーム施設などがあります。これら学内共同利用施設は、学外の研究者、技術者や民間企業などにも広く利用されています。

今年の3月11日に起きた東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故は、当センターの活動に大きく影響しました。教職員は、講演、セミナーなどの知識普及活動、各方面からの相談、技術指導、放射線計測などに最大の努力を傾注しています。半減期30年の放射性同位元素セシウム137による汚染で、長期にわたってこの状況が続くと予想されます。

科学技術の広範で学際的な分野である量子放射線工学についての教育を行うため、当センター教員が担当する大学院工学研究科「量子放射線系専攻」を、平成25年度に新たに設置する計画です。本学の特徴である放射線関連施設を活用した実践的な教育を行い、放射線や量子ビームに関連する科学技術、産業や医療などの分野で活躍し、また原子力安全に貢献できる人材を育成します。

この報告書は、平成22年度の放射線研究センターおよびクリーンルーム施設における共同利用の成果を、関連する情報と共にとりまとめたものです。内容は、物理、化学、生物、医学など科学技術の様々な分野にわたります。改組に伴って取りまとめが遅れたため、今年度の成果も加えました。

皆様には、この報告書を是非ご覧いただきますとともに、新たに発足した放射線研究センターの活動にたいして、ご理解、ご支援いただきますようお願い申し上げます。

平成23年12月

目 次

ページ

1. はじめに

放射線研究センター長 奥田修一

2. 平成22年度共同利用研究報告

- 1) ライナックおよびコッククロフト・ウォルトン電子加速器の現状・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
(府大地域連携)谷口良一、小嶋崇夫、岡喬、奥田修一
- 2) コバルト 60 施設照射利用の現状・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
(府大地域連携)小嶋崇夫、谷口良一、奥田修一
- 3) ガンマ線照射による多孔質材へのナノ微粒子の同時還元担持・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
(府大院工)岡本晃彦、永田光一郎、岩瀬彰宏、堀史説
- 4) ZrCuAl バルク金属ガラスの構造緩和過程における自由体積変化の合金組成依存性・・・・・・・・ 4
(府大院工)石井顕人、峯野慎也、小野寺直利、岩瀬彰宏、堀史説
(東北大金研)横山嘉彦、今野豊彦
- 5) 放射線照射還元法による Au-Pd ナノ微粒子の構造制御・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
(府大院工)堀史説、山本正明、岡本晃彦、田口昇、岩瀬彰宏
- 6) $Zr_{60}Cu_{30}Al_{10}$ バルク金属ガラスの構造緩和過程における局所構造変化・・・・・・・・ 7
(阪府大院工)峯野慎也、石井顕人、小野寺直利、岩瀬彰宏、堀史説
(東北大金研)横山嘉彦
- 7) 電子線照射した ZrCuAl バルク金属ガラスにおける自由体積変化の組成依存性・・・・・・・・ 9
(府大院工)小野寺直利、石井顕人、峯野慎也、岩瀬彰宏、堀史説
(東北大金研)横山嘉彦 (京大炉)佐藤紘一、XuQiu、義家敏正
- 8) RADIATION DEGRADATION AND DAMAGE COEFFICIENTS OF InGaP/GaAs/Ge
TRIPLE-JUNCTION SOLAR CELL BY LOW-ENERGY ELECTRONS OF THE
COCKCROFT-WALTON ACCELERATOR AT OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY・・・・・・・・ 11
(宇宙航空研究開発機構)今泉充、川北史朗、島崎一紀、森岡千晴
(府大地域連携)奥田修一、小嶋崇夫、岡喬
- 9) 冷却型 CCD 画像素子の放射線損傷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
(府大地域連携)谷口良一、奥田修一 (京大炉)岡本賢一
(近畿大)小川喜弘 (電子科学研)辻本忠
- 10) イオンミリング法を用いた超電導複合構造 d ドットの作製・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
(府大地域連携)川又修一、河村裕一
(府大院工)山下剛、石田武和、加藤勝 (府大21世紀科学研究機構)四谷任

11)	タイプII量子井戸ナノ構造を用いた高性能赤外光検出器の試作	14
	(府大地域連携)河村裕一 (住友電気工業)三浦宏平、猪口正博	
12)	高強度 THz 半サイクル光による過渡現象の研究	15
	(府大地域連携)奥田修一、小松大悟、谷口良一、小嶋崇夫 (Kangwon National Univ.) S. Nam	
13)	腐食電位センサー構造材 YSZ の放射線照射効果	16
	(府大院工)中野耕介、岩瀬彰宏 (府大地域連携)小嶋崇夫	
14)	液体窒素のオゾン爆発現象の研究	18
	(府大地域連携)谷口良一、伊藤憲男、小嶋崇夫、奥田修一	
15)	水トリ一発生に伴う微弱放射線の計測	19
	(府大地域連携)谷口良一 (中部電力株)熊澤孝夫	
16)	浄水器における放射性よう素の除去特性に関する研究	20
	(府大地域連携)森利明 (株ウォーターエージェンシー)久保典亮、六代稔	
17)	高エネルギーX線照射による高感度アスベスト検出	21
	(府大地域連携)谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一	
18)	IP の長時間露光法の検討	22
	(府大地域連携)谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一	
19)	福島第一原発事故以降に大阪府立大で観測した放射性エアロゾルの放射能濃度変化	23
	(府大地域連携)伊藤憲男	
20)	可搬型核種分析装置の開発	24
	(府大地域連携)谷口良一、小嶋崇夫 (株原子力エンジニアリング)新谷浩文、岡本景次	
21)	3-ニトロベンズアントロンおよびシスプラチン DNA 付加体が引き起こす損傷乗り越え DNA 合成の突然変異解析	25
	(府大地域連携)藤川芳宏、東垣由夏、川西優喜、八木孝司 (阪大)倉岡功 (神奈川工大)高村岳樹	
22)	低線量 γ 線照射に対する DNA 二重鎖切断確率の線形依存性 単一 DNA 分子測定手法の活用	26
	(京大院理)下林俊典、吉川研一 (立命大)吉川祐子 (府大地域連携)森利明	
23)	長鎖DNAの直接観察法を用いた放射線によるDNA二重鎖切断に関する研究	27
	(府大地域連携)森利明 (立命大)吉川祐子 (国立遺伝研)前島一博 (京大院理)吉川研一	
24)	セレギリン塩酸塩ならびに関連物質のモノアミントランスポーターへの親和性および 再取り込み阻害活性	28
	(エフピー株)高畑和恵、卜部和則、西村哲也、片山未佳、奥田直子、新野智香 (府大院理)川西優喜、八木孝司	
25)	セレギリン塩酸塩ならびに関連物質のMAO阻害活性	29

	(エフピー株)ト部和則、高畑和恵、西村哲也、片山未佳、奥田直子、新野智香 (府大院理)川西優喜、八木孝司	
26)	EDC 架橋を繰り返したコラーゲンゲルの研究	30
	(府大院理)清水公亮、森英樹、原正之	
27)	コラーゲンゲルの圧縮による力学的補強	31
	(府大院理)石橋暢浩、森英樹、原正之	
28)	ブタ毛より分離精製したケラチンの研究	32
	(府大院理)尾崎由季、齊藤雄介、森英樹、原正之	
29)	マウス神経幹細胞における選択的染色体分配機構の解析	33
	(府大院理)堀口亮、白石一乗、児玉靖司	
30)	放射線適応応答時の骨髄細胞における遺伝子発現	34
	(府大院理)岡島藤也、白石一乗、児玉靖司	
31)	テロメア短縮したヒト染色体の染色体移入法による安定性解析	35
	(府大院理)鈴木香那、白石一乗、児玉靖司	
32)	水頭症マウスの原因遺伝子 <i>Ccdc85C</i> の大脳皮質発生における役割	36
	(府大院理)森展子 (府大院生命)田中夏樹、桑村充、山手丈至	
33)	放射線による食道がん細胞選択的な殺傷効果に関する研究	37
	(府大高等教育)田中良晴 (大阪物療大・阪府大)李強 (大阪物療大)三羽信比古	
34)	マウス放射線誘発リンパ種における4番染色体 LOH 領域の解析	38
	(府大院理)森展子、岡田圭樹	
35)	<i>Cronobacter sakazakii</i> に対する放射線殺菌効果	39
	(府大地域連携)藤井夏日、古田雅一	
36)	<i>Bacillus</i> 属細菌芽胞の発芽過程・増殖挙動に及ぼす放射線効果	41
	(府大地域連携)向原岳、古田雅一 (シスメックス株)小田康雅、坂田孝 (タイテック株)上村貴之	
37)	パプリカ抽出成分が殺菌ストレスを与えた <i>Bacillus</i> 属細菌に及ぼす影響	43
	(府大地域連携)阪井俊夫、古田雅一	
38)	分裂酵母 <i>Schizosaccharomyces pombe</i> における酸化ストレス応答	45
	(府大院理)中谷由衣、古田雅一 (府大院生命)岸田正夫	
39)	シロイヌナズナ青色光受容体 phot1 の LOV2-キナーゼペプチドの変異導入解析	46
	(府大院理)嘉祥寺谷幸子、岡島公司、徳富哲	
40)	オーキシン極性移動制御物質の探索 (II)	48
	ー天然型オーキシン極性移動制御物質スクリーニングー	
	(府大院理)上田純一 (府大高等教育)宮本健助	
41)	「平成 23 年度第 28 回記念みんなのくらしと放射線展」活動報告	49
	(府大地域連携)奥田修一 (「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会)委員	

3.	平成22年度共同利用報告会プログラム	51
4.	特別講演	
	福島県川俣町における環境放射線調査など (近畿大)山西弘城	53
	福島県飯舘村を旅して思ったこと (府大院理)八木孝司	55
5.	大阪府立大学 21 世紀科学研究所「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告 (府大地域連携)奥田修一	61
6.	公立大学法人大阪府立大学 地域連携研究機構・放射線研究センターにおける施設の利用	62

ライナックおよびコッククロフト・ウオルトン電子加速器の現状

大阪府立大地域連携研究機構 谷口良一*、小嶋崇夫、岡 喬、奥田修一

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

[現状]

18MeV 電子ライナックの 2010 年の運転時間は 133 時間であった。前年の 211 時間よりも減少している。

図 1 に年間運転時間の、この 25 年間の推移を示す。

2010 年の修理時間は 27 時間であった。一方、600keV コッククロフト・ウオルトン電子線加速器の運転時間は 294 時間であった。これは前年の 309 時間と同程度であり、順調に稼動していると言える。

[メンテナンス]

1)SF6 系の改修：RF 導波管の内部には、絶縁のため SF6 ガスを充填している。設置当初はフロン 11 を充填していたものであるが、環境問題の影響で当該ガスが製造中止になったことから、約 10 年前より SF6 に変更している。フロンの場合、絶縁特性の問題があることから加圧が必要であったが、SF6 の場合、加圧する必要はない。ただし加圧することでガスの純度を保障

することができることから、今回、最低限度の加圧 (0.1 気圧程度) で使用可能となるように、ガス圧モニタおよびインターロック系を改修した。これによってガス漏れ問題が大幅に改善した。

2)サイラトロンの交換：約 10 年程度使用したサイラトロン (ITT、Ku-74B) が耐圧不良となった。予備品が払底したことから名産研から譲渡された東芝製の 7390 サイラトロンに交換した。これは現時点でも正常に作動している。

3)コッククロフト送信管の交換：コッククロフトの発振器の最終出力段の手前の増幅器として約 30 年間使用してきた大出力 3 極管 (東芝、5T21) が故障した。これは中波の放送局で使用されていたものであるが、20 年以上前から製造中止となっており入手に多大な労力を要した。

[研究テーマ]

表 1 に 2010 年にライナック等を利用した主要なテーマを示す。

主な研究題目は、微弱電子ビームの測定法の研究、ウラン等の高感度分析、電子線ラジオグラフィの研究、衛星用太陽電池の耐放射線性の研究などであった。

[本研究に関する研究発表]

- 1) 「大阪府立大学の多目的電子・イオン加速器の現状」, 奥田修一, 谷口良一, 小嶋崇夫, 岡喬, 宮丸広幸, 第 7 回日本加速器学会年会・第 35 回リニアック技術研究会 (2010.8.4-6, 姫路) .

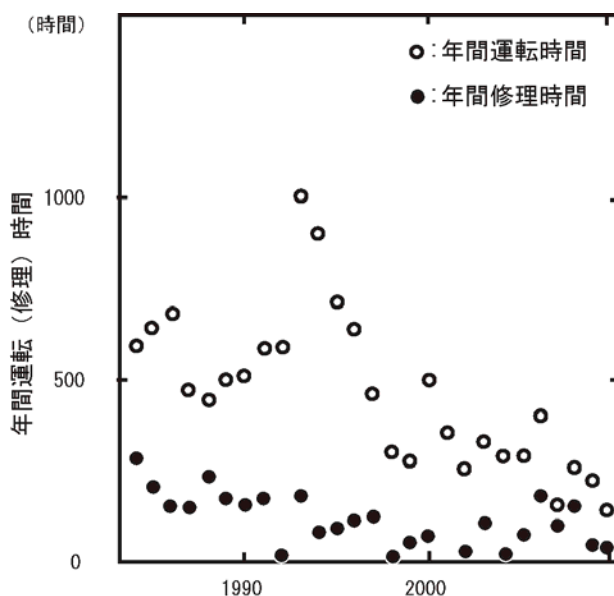


図 1 年間運転時間の推移

表 1 2010 年の主な実験テーマ

ラジオグラフィ
微弱電子ビームの取り出しと利用
金属材料、半導体の照射
ウラン・トリウムの高感度分析
フィルム線量計の校正
アスベストの高感度分析
人工衛星搭載太陽電池の照射試験

コバルト 60 施設照射利用の現状

阪府大産学官 小嶋崇夫*、谷口良一、奥田修一

(*本報告に関する連絡先：電話（内線）4213、メール kojima@riast.osakafu-u.ac.jp)

【学内利用の状況】

平成 22 年 1 月～12 月の各照射室の利用時間は、第 1 照射室 6 時間、第 2 照射室 108 時間 30 分、第 3 照射室 9 時間 01 分、第 4 照射室 0 時間、照射プール 1,131 時間 38 分であり、合計 644 件 1,255 時間 09 分であった。その場計測や温度制御を必要としない照射がほとんどで第 2 照射室と照射プールの利用が多い傾向に変化はない。

【学外利用の状況】

平成 22 年 1 月～12 月の依頼件数は計 157 件、照射手数料は計 5,899,600 円であった。各照射室の利用時間は、第 1 照射室 388 時間 01 分、第 2 照射室 155 時間 13 分、第 3 照射室 23 時間 16 分、第 4 照射室 51 時間 08 分、照射プール 240 時間 04 分であった。主な利用目的は放射線検出器の特性試験、ケーブル類、カメラ、センサなどの耐放射線試験、放射線照射による物質改質などであった。

学外利用では照射室や照射プールから計装ケーブルを引き出して照射室外でモニタリングを行う照射中その場計測による利用が多いのが特徴である。また、大容量・長尺の試験体の照射依頼にも対応している。

【施設の状況】

平成 15 年 8 月を最後に線源が補充されていないため、平成 22 年度末の線源強度は補充当時のほぼ 1/3 になっている。そのため長時間・大線量照射の需要の多い第 4 照射室を使用した 10 kGy/h 近傍の高線量率照射場が提供できなくなった。また、第 2 照射室を使用した数 kGy/h での照射は被照射試験体を線源に接近させた状態でのみ可能である。試験管やバイアル瓶程度の大きさの試料では顕著な影響が見られないが、利用希望の多い一辺が 20～30cm を超えるハウジングを有する機器や梱包された試料などでは(1)被照射試験体内部の線量率分布を考慮する必要がある、(2)高線量率での照射が難しい、等の問題が生じている。

利用者に提供する線量率の範囲などの照射条件や照射設備・機器の維持管理等、中期的な計画が必要となっている。

ガンマ線照射による多孔質材へのナノ微粒子の同時還元担持

大阪府大院工マテリアル工学分野 岡本晃彦、田口昇、永田光一郎、岩瀬彰宏、堀史説*

(*本研究に関する連絡先：電話 072-254-9812 E-mail ; horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

[諸言]超音波やガンマ線のような照射場を用いて金属イオン水溶液中のイオンの還元反応を制御することによって貴金属ナノ微粒子の作製が可能である。これまでにガンマ線照射還元法において、ドデシル硫酸ナトリウム (SDS) やポリエチレングリコールモノステアレート(PEG-MS) を界面活性剤に用いることで粒径が単分散で均一な金の微粒子の合成が可能であると報告してきた。しかし、これらのナノ微粒子も実際の使用に際しては担体への担持が必要であり、従来の手法では微粒子作成、微粒子の回収、担体粒子への担持、焼成といった複数プロセスが必要である。そこで比表面積の大きいバルクポーラス材料へ微粒子の還元と同時に担持することが可能であれば、回収のプロセスを大幅に簡単に行うことができる。照射還元溶液中への均一反応場に、ポーラス材のようなナノ構造体が含まれることで不均一反応場が生じ、その不均一反応場がナノ微粒子の生成にどのような影響を及ぼすのか、また、照射還元法がバルクポーラス材への担持に適用可能であるか、などの点について検討した。照射還元法を用いて様々な構造を有する多元系ナノ微粒子を制御して作製するとともに、従来のマイクロ粒子ではなくポーラス材料を担体として還元溶液に混合することで、ポーラス内でのナノ微粒子の合成と担持を同時還元プロセスへの応用を試みた。

[実験]担体のポーラス材は機械的・化学的にも安定で、簡便な化学気相法により合成した SiC を用いた。照射還元溶液はそれぞれ単体の Au^{3+} 、 Pd^{2+} および Au^{3+} と Pd^{2+} イオンの混合水溶液に界面活性剤 PEG-MS を 0.4 mM 添加したものを、溶液中におよそ 10mmx10mmx1mm 程度にカットした SiC を浸漬し、照射に供した。照射は ^{60}Co 線源からの放射ガンマ線を線量率 14.5 kGy/h、総線量 15 kGy となるように室温にて大気中で照射した。ガンマ線照射後の各試料について走査型電子顕微鏡(SEM)観察を行った。また同様の実験を超音波照射によっても行った。

[結果及び考察] SiC を浸漬せずに照射した場合と同程度のサイズおよび形状の微粒子がいずれの溶液においても観察された。Pd 単体では非常に小さな微粒子が SiC 表面上にのみ観られた。Au と AuPd の各試料の場合は SiC 表面には多数の微粒子が観察され、さらに断面 (SiC 内部) に僅かに微粒子が観られ、表面からの深さ約 30 μm のところまでナノ微粒子の生成が確認され、浸漬照射によって微粒子のポーラス内での生成が確認できた。ガンマ線照射では超音波とは異なり、細孔内で反射される事無くポーラスの外と同じ条件で SiC 内部でも還元を起こすため、より SiC の内部でも還元種の生成および貴金属錯体イオンの還元が起こったと考えられる。そのため、この方法では浸漬するポーラス材と溶液の濡れ性や、ポーラス内部までイオンをより多く浸透させることが課題となることがわかった。

ZrCuAl バルク金属ガラスの構造緩和過程における 自由体積変化の合金組成依存性

大阪府大院工 石井顕人、峯野慎也、小野寺直利、岩瀬彰宏、堀史説*
東北大金研 横山嘉彦、今野豊彦

(*本研究に関する連絡先：電話(内線) 072-254-9812(5658)、E-mail; horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

【研究背景】 近年、Zr 系の金属ガラスは構造緩和により脆化することが報告されているが、亜共晶組成においては耐構造緩和脆化が報告されている。しかしながら、この詳細なメカニズムの説明は成されていない。我々はこれまで金属ガラスの物性に影響する因子として考えられている自由体積を陽電子消滅法により評価し、共晶系において自由体積はガラス転移点(T_g)以下での構造緩和において密度変化に対応して減少することを示してきた。本件ではこれまでの手法を複数の亜共晶系に適用する事で、構造緩和前後の自由体積変化の合金組成依存性を考察した。

【研究内容】 傾角鋳造法により 3 種類の $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$ ($x=50$ (共晶), 55, 60, 65) バルク金属ガラス ($\phi 8 \times 50$ mm) を作製し、X 線回折(XRD)、密度測定(アルキメデス法)、陽電子消滅寿命測定、同時計数ドップラー拡がり(CDB)測定を行った。焼鈍温度はガラス転移点 $T_g - 30$ K であり、5h 焼鈍後同様の測定を行いその変化を評価した。

【結果】 4 種類の $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$ ($x=50$ (共晶), 55, 60, 65) バルク金属ガラスの構造緩和後の陽電子寿命値変化を図に示す。ここで、陽電子寿命値変化は自由体積サイズの変化に対応する。この変化は共晶系が最も大きく、この変化は密度の上昇と良い対応を示している。一方で、Zr の割合が増加するとその変化量は減少し、Zr60%以上の組成において、その変化は殆ど見られなくなった。しかしながら、密度変化は Zr60%以上の合金についても増加することが確認されていることから、Zr60%以上では、陽電子が見ている自由体積の変化以外の緩和機構が存在し、それらが密度変化に寄与していると考えられる。この結果は、亜共晶系バルク金属ガラスの緩和過程が単一の機構ではなく複数緩和機構であることを示すとともに、本材料の構造が、完全にランダムなアモルファスではなく、原子レベルで局所的に偏りがある構造であることを示唆している。陽電子のドップラー拡がり測定による自由体積周囲の評価においても、自由体積周囲に Zr が偏在し、 $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$ ($x=60, 65$) 金属ガラスについて、その傾向が顕著であることから、自由体積周囲の構造が緩和過程の機構と関係している事などが分かった。

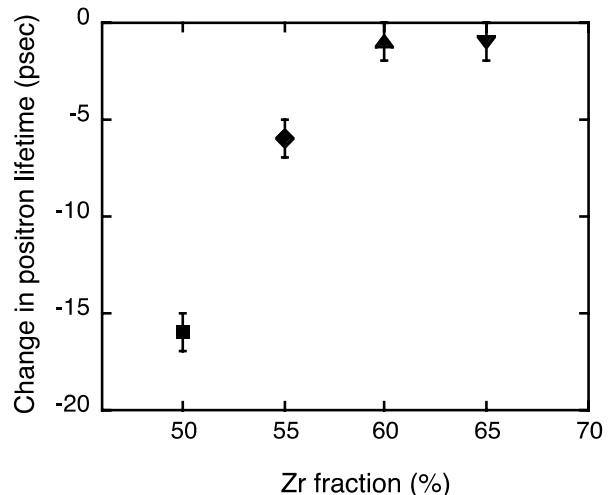


図. $Zr_xCu_{90-x}Al_{10}$ ($x=50, 55, 60, 65$) バルク金属ガラスの緩和後の陽電子寿命変化

本研究に関する研究発表

国内学会発表

1. 石井顕人、峯野慎也、岩瀬彰宏、横山嘉彦、今野豊彦、堀史説「Zr 基バルク金属ガラスが有する局所構造の組成依存性」, 日本物理学会秋季大会 2010 年 9 月、大阪府立大学
2. 石井顕人、峯野慎也、岩瀬彰宏、横山嘉彦、今野豊彦、堀史説 「Zr-Cu-Al バルク金属ガラス中の局所構造の合金組成依存性」 日本金属学会秋大会 2010 年 9 月、北海道大学

国際会議発表

1. A Ishii, S Mineno, A Iwase, Y Yokoyama, T J. Konno and F Hori, "Relaxation behavior of Zr-Cu-Al ternary bulk glassy alloy studied by using positron annihilation techniques", The 7th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM) 2-6 August 2010
2. A.Ishii, S.Mineno, A.Iwase, Y.Yokoyama, T.J. Konno and F.Hori, "Effects of chemical composition on the structural relaxation in ternary Zr-Cu-Al bulk glassy alloys studied by EXAFS and positron annihilation techniques" 2010 MRS Fall Meeting November 29-December 3, 2010

発表論文

1. Relaxation Behavior of Zr-Cu-Al Ternary Bulk Glassy Alloy Studied by using Positron Annihilation Techniques, A.Ishii, S.Mineno, A.Iwase, Y.Yokoyama, T.J. Konno and F.Hori, Materials Science Forum Vols. 654-656 (2010) pp 1070-1073
2. Free volume in Zr-based bulk glassy alloys studied by positron annihilation techniques, A.Ishii, A.Iwase, Y.Yokoyama, T.J.Konno, Y.Kawasuso, A.Yabuuchi, M.Maekawa, and F.Hori, Journal of Physics: Conf. Series 225 (2010) 012020
3. Effect of thermal annealing on the local structure in ZrCuAl bulk metallic glass, A.Ishii, A.Iwase, Y.Fukumoto, Y.Yokoyama, T.J.Konno, F.Hori, J. of Alloys and Compounds 504S (2010) S230-S233
4. Free volume change in Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ glassy alloy by the annealing studied by positron annihilation spectroscopy, A.Ishii, F.Hori, Y.Fukumoto, A.Iwase, Y.Yokoyama, T.J.Konno J. of Phys.: Conf .Ser.265, 012013 (2011).

放射線照射還元法による Au-Pd ナノ微粒子の構造制御

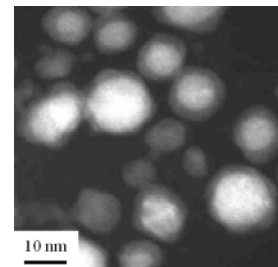
大阪府大院工 堀史説*, 山本正明、岡本晃彦、田口昇、岩瀬彰宏、

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）072-254-9812(5658)、E-mail: horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

【研究背景】物質のサイズが小さくなり、ナノサイズのオーダーになるとバルク体の時には見られなかった性質が発現することが知られている。それ以外にもナノ材料は、構成原子数に対して比表面積がバルク体に比べ極めて大きく、反応効率の面等から、触媒材料から電子材料まで幅広い応用が期待されている。本研究室ではこれまでに超音波還元法を用いて、本来全率固溶である Au-Pd 二元系微粒子について Au がコア、Pd が Au を覆う二層分離構造(コアシェル構造)の構造制御に成功し、構造の詳細について報告してきた[3]。しかし、超音波還元法は構造制御が容易である反面、反応プロセスの不明瞭さや生産性に問題があるという様な短所も備えている。これらの点で□線を用いた照射還元法による微粒子合成法は制御パラメータも多く、大量合成も可能である。本研究では、□線の照射線量を一定にし、線量率をパラメータとして Au-Pd 二元系微粒子の合成を試み、その構造と特性について評価した。また、線量と線量率を固定し、Au イオンと Pd イオンの濃度比をパラメータとして微粒子合成を行い、同様の評価を行った。

【研究内容】イオン交換水に Au³⁺(テトラクロロ金(III)酸ナトリウム二水和物)と Pd²⁺(塩化パラジウム(II)ナトリウム三水和物)を各 0.5 mM ずつ、界面活性剤として PEG-MS を 0.4 mM 含む溶液 20 ml をそれぞれ調製し、室温で□線照射を行った。照射線量 10 kGy で、線量率は 1.5, 3.0, 5.0, 7.5, 17.7 kGy/h で照射を行った。照射後の溶液に対して吸光度測定(UV/vis)を行い、同時に電顕用試料を作製し透過型電子顕微鏡(TEM)、走査型透過電子顕微鏡(STEM)、エネルギー分散型 X 線分光分析(EDS)等により評価を行った。また、Au, Pd イオン総濃度 1.0 mM とし、Au と Pd イオン濃度比を 1:9, 3:7, 5:5, 7:3, 9:1 に調整した各溶液に線量率 7.5 kGy/h で 10 kGy まで照射し、上記と同様の評価を行った。

【結果と考察】線量率依存性：いずれの照射においても球状のナノサイズ微粒子が生成するが、7.5 kGy/h を境に、それ以下で観察された Au プラズモンピークがこの線量率以上では観察されなかった。また、これらの電顕観察の結果から、高線量率ではコアシェル構造微粒子が生成しており、低線量率では一部はコアシェル微粒子が生成しているものの、大半は金とパラジウムが別々に単体粒子として存在していることがわかった。



イオン濃度比依存性

電顕観察の結果、濃度比に依存して生成粒子の粒径が変化し、金濃度が低いほど粒径が小さくなることがわかった。また、生成粒子は粒径が小さいほど単分散できれいなコアシェル構造を有しているが、金濃度が増加するにつれ表面パラジウム層が薄くなり球状粒子以外にも多角形粒子や、一部合金もしくは金単体とみられる粒子も観察された。

本研究に関する研究発表

学会発表

- 「 γ 線照射還元による Au-Pd コアシェルナノ微粒子の合成」山本正明、田口昇、秋田知樹、田中真悟、岩瀬彰宏、堀史説、ナノ学会（5月13-15、愛知）
- 「超音波・放射線照射場で創成した金属ナノ複合粒子とその特性」堀史説、日本金属学会 2010 年秋期大会（9月、北海道）
- 「 γ 線照射還元法による Au-Pd 二元系ナノ微粒子の構造制御」山本正明、田口昇、岡本晃彦、岩瀬彰宏、秋田知樹、田中真悟、堀史説、日本金属学会 2010 年秋期大会（9月、北海道）
- 「 γ 線照射還元により生成した Au-Pd 二元系ナノ微粒子の構造評価」岡本晃彦、山本正明、田口昇、岩瀬彰宏、田中真悟、秋田知樹、堀史説、日本物理学会秋季大会(2010年9月大阪)
- “First-principles calculations of C₂H₄ adsorption on Pd surface stacked on fcc-Au”, N.Taguchi, S.Tanaka, T.Akita,

M.Kohyama and F.Hori, The 7th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing, August 2010, Australia

6. “C₂H₄ adsorption on Pd surface stacked on Au (100)”, N.Taguchi, S.Tanaka, T.Akita, M.Kohyama and F.Hori, The First-Principle Electronic Structure Workshop 2010 OpenMX/QMAS workshop 2010, March, Tokyo, Japan

7. “Synthesis of Au-Pd Core-Shell Nanoparticles under γ -ray Irradiation Field”, M.Yamamoto, A.Okamoto, N.Taguchi, A.Iwase, F.Hori, T.Akita, S.Tanaka, 20th MRS-Japan Academic Symposium, Dec. 20-22, (2010) Yokohama JAPAN

発表論文

1. “First-Principles Calculations of C₂H₄ Adsorption on Pd Surface Stacked on Fcc-Au”, N.Taguchi, S.Tanaka, T.Akita, M.Kohyama and F.Hori, *Materials Science Forum* Vols. 654-656 (2010) pp 1666-1669

Zr₆₀Cu₃₀Al₁₀ バルク金属ガラスの構造緩和過程における局所構造変化

阪府大院工、峯野慎也、石井顕人、小野寺直利、岩瀬彰宏、堀史説*

東北大金研、横山嘉彦

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）072-254-9812(5658)、E-mail: horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】 亜共晶系である Zr₆₀Cu₃₀Al₁₀ バルク金属ガラスは構造緩和において共晶系である Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ バルク金属ガラスと異なり、脆化しにくいという報告がある[1]。しかし脆化機構の違いの要因と考えられている内部構造の詳細な評価はされていない。そこで、構造緩和過程においてこれら2種類の金属ガラスの内部構造に注目し、金属ガラスの種々の特性との関連があると考えられている自由体積の構造緩和過程での変化を陽電子消滅法により測定し比較検討した。さらに構造緩和過程における EXAFS(X線吸収端微細構造)を測定し、構造緩和過程における Zr 基バルク金属ガラスの局所構造変化について考察した。

【実験方法】 試料は傾角鋳造法でロッド状の Zr₆₀Cu₃₀Al₁₀ バルク金属ガラス(φ 8mm×50mm)と Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ バルク金属ガラス(φ 8mm×60mm)を作製し、厚さ約0.4mmに切り出した。この試料を示差走査熱量測定によりガラス転移点および結晶化温度の測定を行い、それぞれのガラス転移温度以下での等温焼鈍を真空中にて行った。各温度についてX線回折、陽電子消滅寿命測定、同時計数ドップラー拡がり(CDB)測定で評価した。またEXAFSはそれぞれの系の未焼鈍試料及び7200 s焼鈍後の試料を、KEK(高エネルギー加速器研究機構)-BL27BにおいてZrおよびCuのK吸収端を利用して透過法および蛍光法にて測定を行った。

【結果】 亜共晶である Zr₆₀Cu₃₀Al₁₀ ではガラス転移温度以下の構造緩和過程において、密度が上昇するにも関わらず、陽電子寿命測定による自由体積サイズはほとんど変化しなかった。これは、共晶系 Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ での陽電子の変化と密度との相関[2]とは異なる結果である。陽電子寿命値は 100at.ppm 以上の濃度範囲では明確な変化が現れないことから、可能性としては Zr₆₀Cu₃₀Al₁₀ では全体的な自由体積サイズの減少ではなく一部の自由体積が消滅したと考えられる。また緩和前の CDB 測定結果から、自由体積周囲は合金組成より Zr 原子の比率が高く、その比率は約 80% であった。緩和過程ではこの比率に大きな変化はなく、緩和過程において自由体積周囲の原子の大きな再配置が行われないことがわかった。Zr-K 吸収端を用いた EXAFS 動径構造関数から、共晶、亜共晶いずれの合金系においても構造緩和による大きな変化は観測されず、Zr-Zr 結合に大きな変化が見られず、これは CDB 測定の結果とも一致している。これらの結果から熱的構造緩和によって Zr 濃度の偏った自由体積周囲は変化しにくいと考えられる。一方、緩和後の Cu-K 吸収端を用いた EXAFS 動径構造関数は、それぞれの系で第一ピークの強度が増加した。この結果から、緩和によって自由体積とは異なる領域で Cu 原子が移動や再配置などの変化をしやすいことが示唆される。以上の結果から、Zr₆₀Cu₃₀Al₁₀ と Zr₅₀Cu₄₀Al₁₀ は自由体積以外での領域では緩和過程において同様の傾向の変化を示すが、自由体積周囲でのみ違いが現れると考えられる。

[1] Y. Yokoyama, T. Yamasaki, P. K. Liaw, A. Inoue, *Acta Materialia* 56 (2008) 6097-6108

[2] A. Ishii, F. Hori, A. Iwase, et al, *Materials Transactions*. 49(2008)1975-1978

電子線照射した ZrCuAl バルク金属ガラスにおける自由体積変化の組成依存性

大府大院工 小野寺直利、石井顕人、峯野慎也、岩瀬彰宏、堀史説*

東北大金研 横山嘉彦

京大原子炉 佐藤紘一、XuQiu、義家敏正

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）5658、メール horif@mtr.osakafu-u.ac.jp)

【研究背景】

バルク金属ガラスは熱力学的に準安定状態であるため、熱などのエネルギーを与えることによって、他のガラスにも見られるように緩和や結晶化を起こすことが知られている。この過程にともない金属ガラスの様々な物性が変化することが報告されており[1]、とりわけ自由体積変化との相関も指摘されている[2, 3]。我々はエネルギー付与方法の一つとして、局所的な領域へのエネルギー付与ができ、入射エネルギー・照射量等の多くの制御パラメータを有する粒子線照射、およびその変化として自由体積の局所領域の変化に着目した。本研究では、特に局所原子構造に由来した安定性を持つと考えられている Zr 基の共晶系バルク金属ガラスに対し電子線照射による効果とその照射効果の組成依存性について自由体積変化の挙動から評価を行った結果を報告する。

【実験方法】

試料は傾角鋳造法により作製した3種類の組成の異なる ZrCuAl 3元系バルク金属ガラス $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ 、 $Zr_{55}Cu_{35}Al_{10}$ 、 $Zr_{60}Cu_{30}Al_{10}$ の棒状試料(～10 cm×8 mm □)を 0.5 mm 程度のディスク状に切出した。これらの試料に対し室温で 10 MeV (京都大学原子炉実験所)の電子線照射を行なった。照射量は $2 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} / \text{cm}^2$ である。照射前後の各試料について、X線回折測定、陽電子寿命測定及び同時計数ドップラー拡がり測定を行った。

【結果と考察】

X線回折ではどの組成においても電子線照射による結晶化は起こっていないことが確認できた。図1に照射量に対する電子線照射後の陽電子寿命値変化を示す。組成の異なる $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ および $Zr_{55}Cu_{35}Al_{10}$ への電子線照射によって照射量の増加に伴い陽電子寿命値が増加する傾向が確認できた。また $Zr_{60}Cu_{30}Al_{10}$ の結果との比較から陽電子寿命値変化の傾向は組成による Zr 濃度の違いによって異なり、 $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ では増加したのに対し $Zr_{60}Cu_{30}Al_{10}$ ではほとんど変化しなかった。これらの結果から、電子線照射によって局所的な原子の弾き出し損傷が起こり、陽電子から見た自由体積サイズの増加あるいは新たな自由体積が導入されたものと考えられる。焼鈍による構造緩和では、特に $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ において陽電子寿命値が -16 psec 程度減少するという報告があり[4]、今回の照射では構造緩和とは異なる現象が起きていると思われる。

一方、 $Zr_{60}Cu_{30}Al_{10}$ では電子線照射だけでなく構造緩和でも陽電子寿命値はほとんど変化しないことがわかっている[5]。このよう

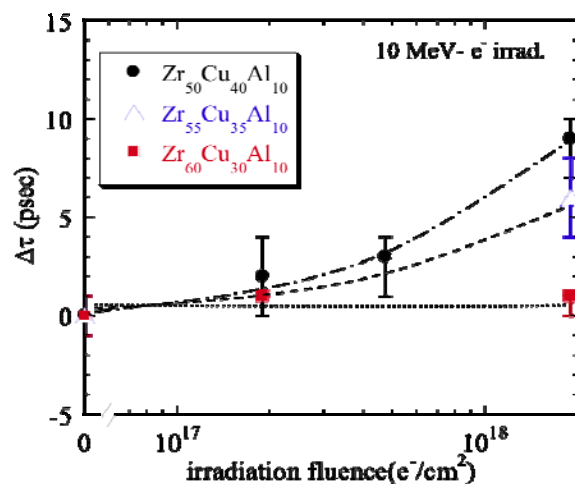


Fig. 1 電子線照射した各組成の ZrCuAl バルク金属ガラスにおける陽電子寿命変化

な陽電子から見た自由体積変化の傾向の違いは、各組成での自由体積周囲で異なる局所構造を有していることが考えられる。

参考文献

- [1] Y. Yokoyama, et al., Mater.Trans. 46 (12) (2005) 2755-2761
- [2] A. Ishii, et al., Mater.Trans. 49 (9) (2008) 1975-1978
- [3] F. Hori, et al., J.Alloys&Compounds. 434-435 (2007) 207-210
- [4] A. Ishii, et al., J. Phys. Conf. Ser. 225 (2010) 012020
- [5] A. Ishii, et al., 2011 MRS proceedings (accepted)

本研究に関する発表

学会発表

1. “A study of defects in electron- and ion-irradiated ZrCuAl bulk glassy alloy using positron annihilation techniques”, F.Hori, N.Onodera, Y.Fukumoto, A.Ishii, A.Iwase, A.Kawasuso, A.Yabuuchi, M.Maekawa, Y.Yokoyama, 12th International Workshop on Slow Positron Beam North Queensland, Australia, August, 2010
2. 「高エネルギー粒子線照射したバルク金属ガラスの自由体積と硬さ」,堀史説、日本材料学会 第10回金属ガラス部門委員会 (6月、大阪)
3. 「イオン照射した ZrCuAl バルク金属ガラスの陽電子消滅測定」小野寺直利、石井颯人、岩瀬彰宏、河裾厚男、前川雅樹、藪内敦、横山嘉彦、堀史説、陽電子科学研究会第二回学術講演会 (11月、大阪)

論文発表

1. Behavior of free volume in ZrCuAl bulk metallic glass after irradiation, Y.Fukumoto, A.Ishii, A.Iwase, Y.Yokoyama, F.Hori, Journal of Physics: Conf. Series 225 (2010) 012010
2. Positron annihilation study of the hardening behavior in Al-Cu based alloy by electron and heavy ion irradiation, F.Hori, I.Kobayashi, Y.Saito, N.Ishikawa, T.Oshima, A.Iwase, Journal of Physics: Conf. Series 225 (2010) 012014

RADIATION DEGRADATION AND DAMAGE COEFFICIENTS OF InGaP/GaAs/Ge TRIPLE-JUNCTION SOLAR CELL BY LOW-ENERGY ELECTRONS OF THE COCKCROFT-WALTON ACCELERATOR AT OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY

宇宙航空研究開発機構 今泉 充、川北史朗、島崎一紀、森岡千晴

大阪府立大学・放射線研究センター 奥田修一*、小嶋崇夫、岡 喬

(*本報告に関する連絡先：電話（内線）4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

Low-energy electrons were irradiated to InGaP single-junction and InGaP/GaAs/Ge triple-junction (3J) solar cells. The energy values were selected around the threshold energy of Gallium and Indium recoiling in the InGaP system (~300keV). Simultaneous electron irradiation and current-voltage characteristics measurement of the cells revealed the fact that the short-circuit current (Isc) of InGaP cells and consequently the 3J cells does not degrade when the cells are irradiated with electrons with energies of less than 300keV, while the open-circuit voltage (Voc) considerably degrades for both types of the cell, regardless of the electron energies. This result implies that the effects of radiation defects having originated from the recoil of phosphorus are insufficient to degrade the minority-carrier lifetime in InGaP. In addition, the degradation of the Voc is considered attributable not to an increase of reverse saturation current but to the increased surface recombination for irradiations with <300keV electrons. The relative damage coefficients (RDCs) of the 3J cell were derived using the degradation trend obtained. The RDCs for Isc approximately followed the extrapolation line from high-energy electron irradiation results, but those for Voc were lower than the line.

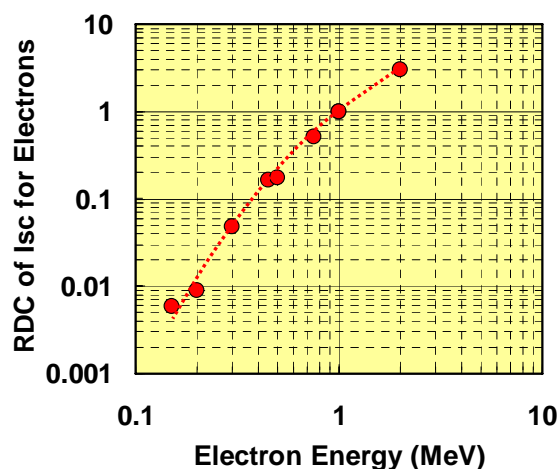
参考文献

1) T. Sumita, JAXA/OPU collaboration report (in Japanese), 2005.

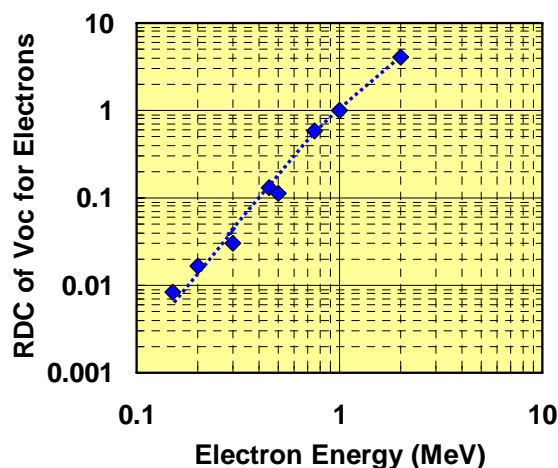
本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

1) M. Imaizumi, C. Morioka, T. Sumita, T. Ohshima and S. Okuda, Radiation Degradation and Damage Coefficients of InGaP/GaAs/Ge Triple-Junction Solar Cell by Low-Energy Electrons, 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (2011. 6. 19-24, Seattle, USA).

2) 大阪府立大学の多目的電子・イオン加速器の現状、奥田修一、谷口良一、小嶋崇夫、岡喬、宮丸広幸、第6回日本加速器学会年会（2010. 8. 4-6, 姫路）FSRP31.



(a) Short-circuit current



(b) Open-circuit voltage

Figure 1 Relative damage coefficients of InGaP/GaAs/Ge 3J cell for Isc and Voc.

冷却型 CCD 画像素子の放射線損傷

大阪府立大地域連携研究機構

谷口良一*、奥田修一

京都大学原子炉実験所

岡本賢一

近畿大学

小川喜弘

電子科学研究所

辻本 忠

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

【はじめに】 冷却型 CCD 画像には特徴的な白点ノイズが出現し問題となっていた。また、このノイズには、外見は同じでも常に同じ位置に出現する、固定パターンノイズ(FPN)と、ランダムに出現するランダムノイズに分かれている。

【固定パターンノイズ】 冷却型 CCD の白点ノイズは、1 画素の大きさを持ち、周囲の画像とはかけ離れた輝度をもつという特徴がある。図 1 に中性子透過画像中に現れた白点ノイズの外観を示す。バックグラウンド状態では、これらのノイズの大半は固定パターンノイズ (FPN) であった。放射線を照射すると、白点ノイズは、これに比例して増大するが、増大の大半はランダムノイズであった。

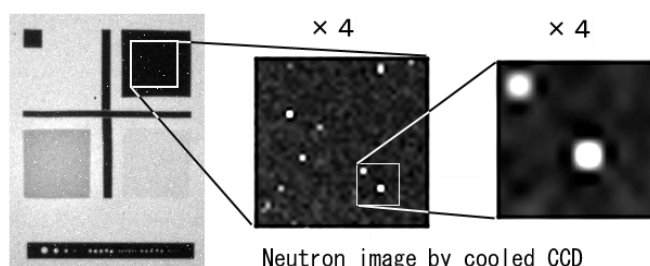


図 1 冷却型 CCD の白点ノイズ

このノイズは、放射線照射を終了した時点で消失する。 γ 線の照射では FPN の増大は認められなかった。一方、中性子の照射を行った場合、中性子量に比例した増加が認められた。図 2 は、中性子照射後に測定した FPN の活性化エネルギーである。図のように、この値はシリコンのバンドギャップの半分程度まで伸びており、極めて大きな値である。これは、極めて深い順位の欠陥が生成したことを示しており、FPN が照射欠陥の一種であることを意味していると思われる。

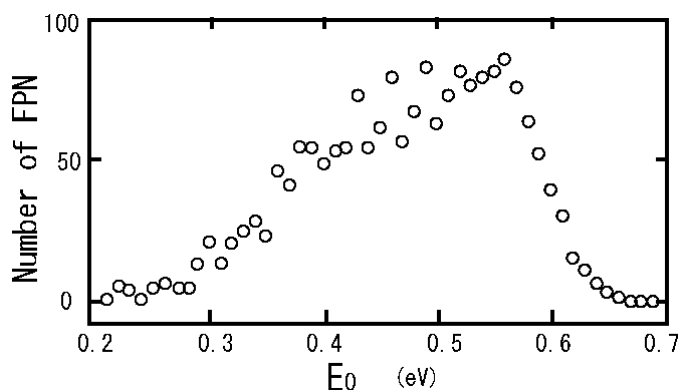


図 2 照射で増加した FPN の活性化エネルギー

【本研究に関する研究発表】

- 1) 「中性子照射による冷却型 CCD の固定パターンノイズの生成」、谷口良一、奥田修一、岡本賢一、小川喜弘、辻本忠、非破壊検査協会放射線部門講演会資料 RT-00003 (2010 年 7 月) pp13-18
- 2) 「冷却型 CCD の放射線誘起ノイズと放射線損傷」、谷口良一、佐々木遼也、奥田修一、岡本賢一、小川喜弘、辻本忠、日本原子力学会 2010 年年会 (2010 年 3 月 26 日、水戸)
- 3) Fixed Pattern Noise in Cooled CCD Images Induced by Neutron Irradiation, R.Taniguchi, S.Okuda, K.Okamoto, Y.Ogawa and T.Tsujimoto, 9th World Conference on Neutron Radiography (Oct.3-8, South Africa 2010)
- 4) 「中性子照射による冷却型 CCD の固定パターンノイズの生成」、谷口良一、奥田修一、岡本賢一、小川喜弘、辻本忠、非破壊検査協会放射線部門講演会 (2010 年 7 月 8 日、神戸)

イオンミリング法を用いた超伝導複合構造 d ドットの作製

大阪府大・地域連携 川又修一*、河村裕一

大阪府大院・工 山下剛、石田武和、加藤勝

大阪府大・ナノ科学 四谷任

(*本研究に関する連絡先: 電話(内線) 3650、メール shu-kawamata@riast.osakafu-u.ac.jp)

我々は s 波超伝導体に囲まれた d 波超伝導体である d ドットを提案している[1]。正方形の d 波超伝導体を s 波超伝導体で取り囲むと、d 波と s 波の秩序パラメーター間に位相干渉が起こり、d ドットの 4 角に磁束量子 Φ_0 の半分である半磁束量子 $\Phi_0/2$ が自発的に発生する[2,3]。

従来型 s 波超伝導体 Pb に囲まれた d 波超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (BSCCO) 単結晶の d ドットを以下の手順により作製した。Si 基板にポリイミドで接着した単結晶を、剥離劈開により厚さ $2 \mu\text{m}$ 程度にした。フォトリソグラフィした後、カウフマン型イオンソースを有するイオンミリング装置を用いて、 36° 角、基板表面からの高さ $1.2 \mu\text{m}$ に加工した。レーザー顕微鏡による観察結果を図 1 に示す。再度フォトリソグラフィした後、Pb を $0.35 \mu\text{m}$ 蒸着しリフトオフした。以上により作製した d ドットの光学顕微鏡写真を図 2 に示す。この d ドットについて走査型 SQUID 顕微鏡により磁束分布観測を行ったところ、自発的磁束が観測された[4]。

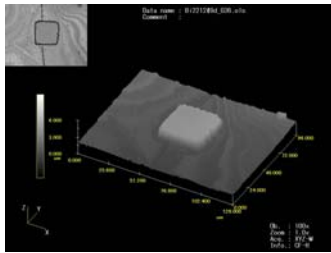


図 1 イオンミリング加工した BSCCO 単結晶

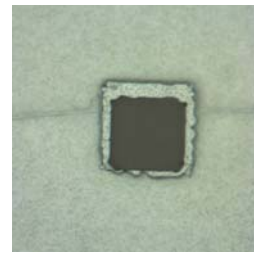


図 2 Pb に囲まれた BSCCO 単結晶 d ドット

参考文献

- 1) T. Ishida *et al.*, Physica C, 437-438 (2006) 104.
- 2) M. Kato *et al.*, Physica C 412-414 (2004) 352.
- 3) T. Koyama *et al.*, Physica C 426-431 (2005) 1561.

本研究に関する研究発表 (原著論文、学会報告)

- 4) S. Kawamata, M. Yamamoto, M. Uno, K. Satoh, T. Yuki, T. Yotsuya and T. Ishida, Physica C, 470 (2010) S840-S841.
- 5) M. Kato, T. Koyama, M. Machida, S. Kawamata and T. Ishida, J. Phys. Conf. Series, 248 (2010) 012028_1-8.
- 6) 山下剛, 川又修一, 四谷任, 加藤勝, 石田武和, 日本物理学会 2011 年秋季大会 (富山, 22aPS-49).

タイプ II 量子井戸ナノ構造を用いた高性能赤外光検出器の試作

阪府大地域連携研究機構 河村裕一*

住友電気工業 三浦宏平、猪口正博

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3574、メール kwmr@riast.osakafu-u.ac.jp)

近赤外分光を用いた非破壊検査は製薬、医療など様々な分野で重要となってきた。この時、微弱な光吸収を検知する必要があるため、使用するセンサーには低ノイズが要求される。従来、近赤外領域の検出器にはGe、PbS、InAsなどの半導体材料が用いられているが、何れもノイズが大きいという問題がある。本研究では、タイプII多重量子井戸ナノ構造の半導体材料を用いて低ノイズの近赤外センサーを試作した結果を報告する。

ナノ構造結晶は InP 基板上に MBE（分子線エピタキシー）法を用いてセンサーの動作層を結晶成長した。光吸収層は InGaAs と GaAsSb の多重量子井戸構造から成り、各層 5nm 厚さで 250 対積層している。また、InGaAs と GaAsSb はどちらも InP 基板と格子整合している。結晶成長後、受光領域となる部分に p 型不純物である亜鉛を選択的に熱拡散させることによって、pin 型フォトダイオードを作製した。

図 1 は、試作した光検出器の素子構造と、光吸収層であるタイプ II 量子井戸層のエネルギーバンド構造を示している。タイプ II 構造を用いることにより、トンネルアシストによる光学遷移が生じ、低エネルギー（長波長）での光吸収が可能であることがわかる。

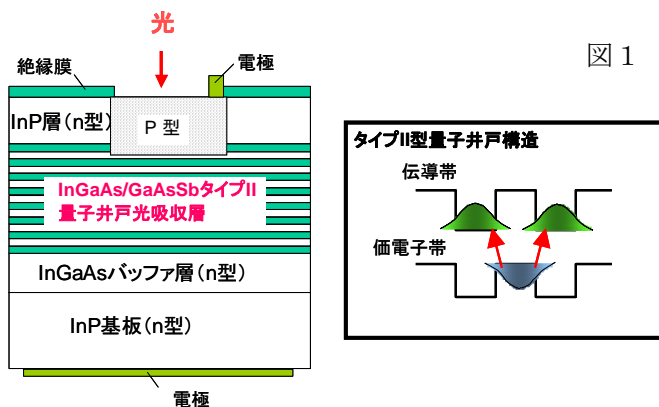


図 1

図 2 は、試作したセンサーの室温における分光感度特性を示す。タンゲステンランプを光源として、分光器から出た光を受光径 1mm のセンサーに入射させて光電流を測定した。2.5 μm 付近まで感度があることがわかる。室温における暗電流は従来から用いられている歪み InGaAs 光検出器に比較して、一桁以上低いことを確認出来た。このことは、波長 2 μm 帯の赤外光検出器として、InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造が極めて有望であることを示している。

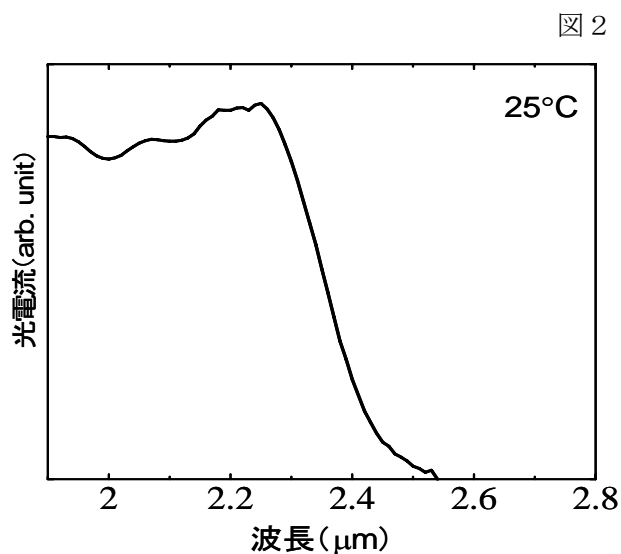


図 2

高強度 THz 半サイクル光による過渡現象の研究

大阪府立大学・放射線研究センター 奥田修一*、小松大悟、谷口良一、小嶋崇夫

Kangwon National Univ. S. Nam

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

The coherent radiation from an electron bunch of a linear accelerator (linac) has continuous spectrum in a submillimeter to millimeter wavelength range and has an intense pulsed electric field. In this work a new pump-probe system has been developed by using the electron beams of an 18 MeV S-band electron linac at Osaka Prefecture University (OPU) in order to investigate the transient phenomena induced by the pulsed coherent radiation. For this purpose the OPU pulse-radiolysis system has been improved. The intensity of radiation has been evaluated from the electron bunch shape. The light source will be applied to exciting and probing various kinds of matters using the electron beam and the coherent radiation.

Work supported in part by the program of KEK for supporting accelerator research activities in universities, and KAKENHI (20360421).

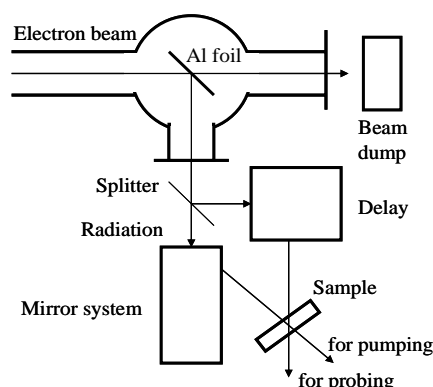


Figure 1: Schematic diagram showing the configurations of the coherent transition radiation pump-probe system.

参考文献

- 1) S. Okuda and T. Takahashi, *Infrared Phys. Technol.* 51 (2008) 410.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) OPU 電子ライナックの高度利用のためのシステム開発、奥田修一、谷口良一、小嶋崇夫、岡番、第6回日本加速器学会年会（2010.8.4-6, 姫路） WEPS009.
- 2) 高強度コヒーレント放射による酸化物微粒子の吸収分光、小松大悟、奥田修一、小嶋崇夫、谷口良一、高橋俊晴、日本原子力学会秋の大会（2010.9.15-17, 札幌）.
- 3) Absorption Spectroscopy for SiO₂ Particles by Using the Coherent Radiation Light Source, S. Okuda, T. Takahashi, Proc. 35th Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (Sept. 5-10, 2010, Rome, Italy) PID1392143.
- 4) New pump-probe system using the coherent radiation from a linac electron beam at OPU, S. Okuda, T. Kojima, R. Taniguchi, XXV Linear Accelerator Conf. (Sept. 29-Oct. 3, 2010. 9. 29-10. 3, Tsukuba, Japan) MOP015.
- 5) コヒーレント放射の吸収分光実験から半サイクル光利用研究にむけて、奥田修一、高橋俊晴、第17回 FEL と High-Power Radiation 研究会（2010.12.13-14, 草津市）.
- 6) 高強度コヒーレント放射が誘起する物質の変化、奥田修一、小嶋崇夫、谷口良一、高橋俊晴、日本原子力学会春の年会（2011.3.28-30, 福井）.
- 7) 放射線研究センターの加速器・放射線利用施設と量子線誘起現象の研究、奥田修一、第70回テクノラボツアー「放射線」に関する最近の話題と最新の技術・研究について（2011.7.13, 大阪府大）.

腐食電位センサー構造材 YSZ の放射線照射効果

阪府大院工マテリアル工学分野 中野耕介*、岩瀬彰宏

阪府大産学官 小嶋崇夫

(*本研究に関する連絡先：メール nakano.ks.10@riast.osakafu-u.ac.jp)

緒言 原子力発電所プラントの強度が問題視される中、炉内構造材料の水環境での応力腐食割れを調査するため、腐食電位センサー(ECP センサー)による水質のその場測定が試みられている。腐食電位センサーの使用環境としては、中性子線や γ 線が比較的多く存在している。このような環境での特性評価を考える場合、センサーを構成する各素材ごとの評価が重要になる。また、絶縁性の金属酸化物においては、放射線照射環境化において価電子帯の電子がバンドギャップを越えて伝導帯に励起され、電子・ホール対を生成するということが知られている。これはイオン伝導を基本とする ECP センサーの動作に悪影響を与える可能性がある。本研究では、中性子線照射の模擬照射として 10 MeV のエネルギー領域の重イオン照射を行い、結晶構造や強度における照射効果を評価すると共に、 γ 線照射下での放射線誘起電気伝導(RIC)を測定し、電気伝導特性を評価した。

実験 試料にはニッカトー社製イットリア安定化ジルコニア(ZR-8Y)を使用した。この試料は ZrO_2 に 8 mol% の Y_2O_3 を添加したものであり、立方晶である蛍石構造を示す。また RIC 測定に用いた試料には両面に銅電極が蒸着されている。日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のタンデム加速器において 16 MeV の Au イオン、10 MeV の I イオンを $10^{12}\sim 10^{15}/\text{cm}^2$ の照射量で室温にて照射した後、試料の格子定数や機械的特性を X 線回折(XRD)、ビッカース硬度計を用いて評価した。また、大阪府立大学産学官連携機構放射線研究センター放射線施設の ^{60}Co γ 線照射室において γ 線照射を行いながら、エレクトロメータを用いて三端子法により RIC 測定を行った。

結果・考察 重イオン照射を行った試料の XRD 測定結果は、照射量の増加とともに回折ピークが低角側に移動していた。これは照射による格子定数の増加を意味している。また半値幅についても照射量の増加に伴ない大きくなっている。これらから、照射を行うことで、格子の膨張や乱れが起こっていることが分かる。

ビッカース硬さについても照射量の増加による上昇傾向が確認された。

RIC 測定では γ 線照射中のみ発生する過渡的な電気伝導が観測された。また照射線量率の約 1/2 乗に比例して電気伝導度が上昇する結果が得られた。通常、伝導帯に励起される電子の数は線量率に比例すると考えられるが、実際には、線量率の増加に伴ない、電子・ホールの再結合などの電子伝導を妨げる現象も頻繁になるため、電気伝導度が線量率の 1/2 乗に比例する結果が得られたのではないかと考えられる。

結論 中性子線を模擬した重イオン照射が腐食電位センサーの構造材料である YSZ の格子定数や硬度に影響を及ぼすことが分かった。また、 γ 線照射により、伝導帯への電子励起による電気伝導が確認された。

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 日本原子力学会 2011 秋

液体窒素のオゾン爆発現象の研究

大阪府立大学地域連携研究機構 谷口良一*、伊藤憲男、小嶋崇夫、奥田修一
(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

【はじめに】 液体窒素は、強い放射線にさらされると爆発することが知られている。これは、液体窒素のオゾン爆発と呼ばれているが、人為的に液体窒素にオゾンを集積させても爆発は起こらないこともあり、この現象が強い放射線下でのみ起こる現象という事実以外は半世紀近く未解明のまま放置されてきた。

【実験】 我々は、電子線を照射しオゾン爆発を観測した。実験では、ガラス製のデュワーに液体窒素を入れ、絶えず補給しながら電子線を照射した。図 1(a)に爆発時の TV 像を示す。爆発時には強い閃光とともに稲妻状の発光が容器表面で観測された。図 1(a)の左に復元されたデュアーの外観を示すが、このパターンと上記の発光パターンは一致していない。一方、爆発の次の瞬間を図 2(b)に示す。図では爆発時に飛行する破片と復元画像で示す形状は一致している。

今回観測された液体窒素の爆発現象では、液体窒素の液面付近を起点とし内部から爆発した、というオゾン爆発的な特徴と、稲妻、発光等の放電現象に特有の現象の両者が見られている。放電現象が爆発のトリガとしての働きをしていることが考えられるが、さらなる検証が必要であると思われる。

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究 C:22560829）を受けたものである。

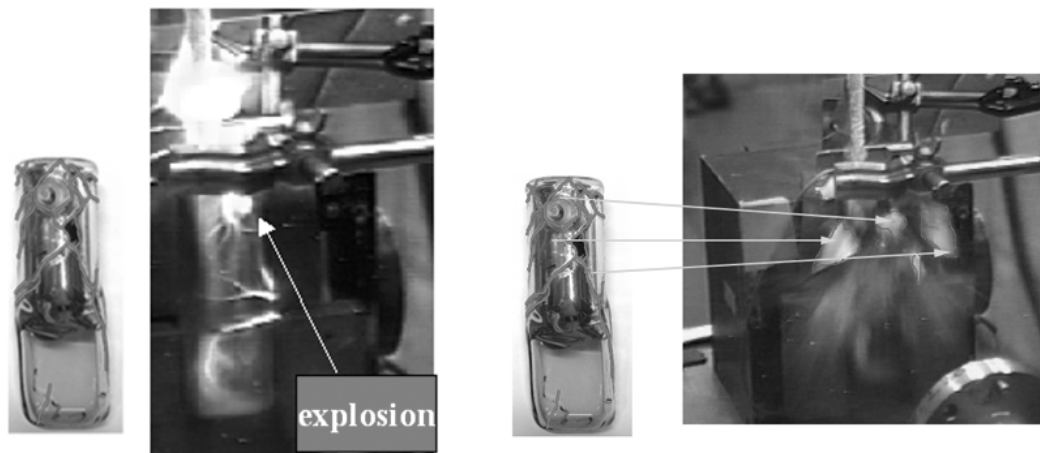


図 1 (a)爆発時の発光パターン

(b)爆発後のデュアー破片の飛散

【本研究に関する研究発表】

- 1) Observation of Ozone Explosion of Liquid Nitrogen Induced by Irradiation with Electron Linear Accelerator, R.Taniguchi, N.Ito, T.Kojima, and S.Okuda, Proc. 25th Linear Accelerator Conference (Sep. 12-17, Tsukuba, Japan, 2010) MOP034
- 2) 「電子線および紫外線パルスラジオグラフィ法の応用」、谷口良一、伊藤憲男、小嶋崇夫、非破壊検査協会秋季講演大会（2010年10月27日、沖縄）
- 3) 「放射線照射による液体窒素の爆発現象の研究」、谷口良一、伊藤憲男、小嶋崇夫、奥田修一、第25回「放射線検出器とその応用」研究会（2011年2月3日、つくば）

水トリー発生に伴う微弱放射線の計測

大阪府立大学地域連携研究機構

谷口良一*

中部電力(株)エネルギー応用研究所

熊澤孝夫

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

1. はじめに

架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルでは、水トリーと呼ばれる特異な劣化現象があるが、その発生のメカニズムについては依然として不明な点が多い。本研究では、水トリー発生に伴う放射線の発生を測定している。これまで課電終了後の水トリー発生試料に、短寿命の放射性核種が異常に存在することを報告したが、今年度は、課電中の試料に隣接して大容量の NaI シンチレータを設置し、課電中の変化を追跡した。

2. 実験

半導電性電極の周囲を架橋ポリエチレンで覆った電極試料を電解液に浸漬し、この電極と接地電極（金線）との間に交流電圧（2.7kV/2kHz）を印加し、水トリーを発生させた。課電（4回実施）は1実験当たり約 1000 時間継続した。その結果、試料に隣接させた NaI シンチレータで、図 1 に示すような、ほぼ 1 日周期の脈動状の変化が数回観測された。脈動状の計数増加部分と通常のバックグラウンドの差分を図 2 (a) に示す。図の高エネルギー部分には、バックグラウンドで最も顕著である K40 のピーク位置に、消去できなかった痕跡状の分布が見られるが、これは増減中立である。一方、低エネルギー部分（矢印）には、正味に増加したピーク形状が見られる。このスペクトルは、図 2 (b) に示す Ra226 のスペクトルに類似している。これは昨年観測された残留放射線のスペクトルと同様であり、残留放射線現象が課電中も起きていることを示していると考えられる。

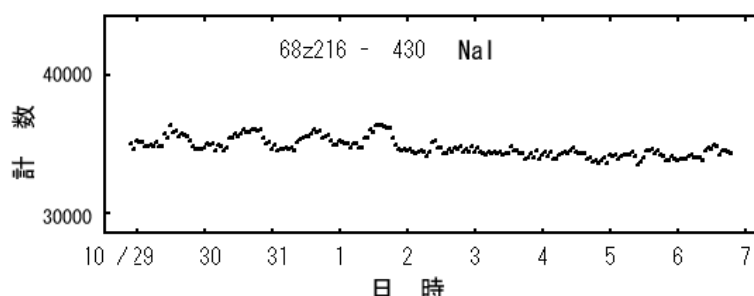


図1 NaI シンチレータで見られた脈動状の計数変化

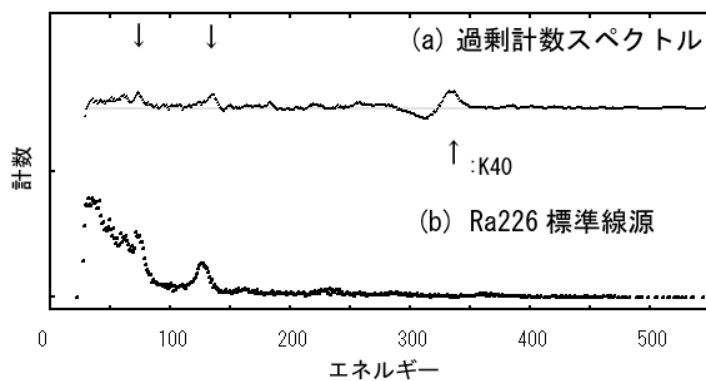


図2 計数の増加成分のスペクトルと Ra226 の比較

[本研究に関する研究発表]

- 1) 「水トリー発生に伴う放射線の計測 ; (11)高エネルギー γ 線の観測」、熊澤孝夫、谷口良一、日本原子力学会 2010 年秋の大会 (2010 年 9 月 15 日、札幌)
- 2) 「水トリー発生に伴う放射線の計測 ; (12) γ 線スペクトルの解析」、谷口良一、熊澤孝夫、日本原子力学会 2010 年秋の大会 (2010 年 9 月 15 日、札幌)

浄水器における放射性よう素の除去特性に関する研究

大阪府立大学放射線科学研究センター

森 利明*

株式会社ウォーターエージェンシー

久保典亮、六代 稔

(*本研究に関する連絡先: 電話 072-254-9852(内線) 4221, メール morit@riast.osakafu-u.ac.jp)

2011年3月11日の東日本大震災の影響で東京電力福島第一原子力発電所において事故が発生し放射性物質が水道水に混入する事態がおこった。ところが、浄水器はこれまで水道水または水道水に準拠する水を浄水することを目的としてきており放射性物質の除去に関しては想定していなかった。また、放射性よう素と非放射性よう素が同じ特性であるかどうか学術的裏づけがなく、非放射性よう素を用いて除去性能評価を行うこともできなかった。

このため関係機関や不安を抱えた消費者からの問合せには、浄水器に関する我が国唯一の業界団体である一般社団法人浄水器協会(以下:JWPA)ならびにその加盟各社は回答に苦慮している。現在、放射性よう素の混入は収まっており事態は急を要しなくなったものの、今後同様の事故が発生しないとも限らず、責任ある立場である JWPA としては、緊急事態における浄水器の対応性の確認をとりたい。

こういった背景を鑑み、JWPA は公衆安全衛生の分野において規格制定などで国際的に認められた第三者認証機関で非営利団体である NSF インターナショナル(以下:NSF)と協力し、非放射性よう素を用いて評価を行うことのできる試験方法の策定を目的とした協議を行ってきた。今回の研究は JWPA 加盟企業である株式会社ウォーターエージェンシーが代表し、浄水器に用いられる各種ろ材に対して、放射性よう素が既知の非放射性よう素の除去特性と同じ挙動を示すかどうかを確認するために行っている。

pH や水道水中の物質によってよう素が水中でどのように変化するかは JWPA による事前評価で分かっており、また厚生労働省の水道水における放射性物質対策検討会によっても報告がなされている。各条件において浄水器用ろ材での除去特性を確認し、同時に水道水中に放射性よう素が混入した場合を想定した各浄水器用ろ材での除去特性試験を行っている。

本研究は、先に記載したとおり(株)ウォーターエージェンシーのみならず、NSF、JWPA ならびにその加盟各社が関わっており、現時点で公開できるデータが少ないことをご容赦願いたい。

本研究に関する研究発表

- 1) 平成 23 年度 全国給水衛生検査協会 関東甲信越支部 研究発表会

「水道水中の放射性ヨウ素の形態と家庭用浄水器による除去について」(財団法人 日本食品分析センター 嶋内裕、杉本理子)

- 2) 平成 23 年度 全国飲料水検査研究発表会(一般社団法人 全国給水衛生検査協会)

「水道水中の放射性ヨウ素の形態と家庭用浄水器による除去について」(財団法人 日本食品分析センター 嶋内裕、杉本理子)

高エネルギーX線照射による高感度アスベスト検出

大阪府立大学地域連携研究機構 谷口良一*、小嶋崇夫、奥田修一

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

【はじめに】

アスベスト中には通常の方法よりも高いレベルの自然放射線(U,Th)が存在している。ただし、極めて微弱であることから自然放射線の増強法（放射化法）の検討を行った。

自然放射線による放射線が微弱な原因は、ウランおよびトリウム半減期が長いことである（U238；44.6 億年、Th231；140 億年）。このため、ウラン、トリウムが多く含まれていても、放出される放射線量は極めて少ない。この問題を解決する1つの方法として、10MeV 近辺のエネルギーの X 線を照射する方法（光量子放射化法）を検討した。

本方法は、重元素を選択的に放射化するという性質を持っており、ウラン・トリウム以外の放射化は、ほとんど無視できることから有望である。高エネルギーX線を試料に照射した場合、ウラン、トリウムは、U238 (γ, n) U237、Th232 (γ, n) Th231 等の反応により、U237（半減期、6.75 日）、Th231（半減期、1.06 日）に変換される。これらは元の核種よりも 12 桁近くも半減期が短く、それに相当する放射線収量の増加が期待できる。また、これらの核種には、光核分裂という別の反応チャンネル (γ, f) も存在する。

【実験】 (γ, n)、(γ, f) 反応による放射線の増強の程度を評価する実験を、大阪府立大学の電子線形加速器（ライナック）で行った。図1の右上にその際の実験体系を示す。試料には、アスベストと同様に U,Th を含有する耐火レンガ粉末を用い、図のように 1mm 厚の金ターゲットの背後に設置し電子線を照射した。照射後の試料の放射線量は Ge 半導体検出器で測定した。結果を図1に示す。図は、電子線のエネルギーが 10.5MeV と 11MeV の場合を表示している。横軸が時間、縦軸は照射によって増加した放射線量をビーム電流、照射時間で規格化したものを表示している。図のように照射直後は、光核分裂による短寿命核種の寄与、10 時間以後は(γ, n)反応による寄与が明確となっている。いずれの反応もエネルギーに大きく依存することが認められた。最適のエネルギーおよび照射時間は、試料中の他の元素の構成にも依存すると考えられる。

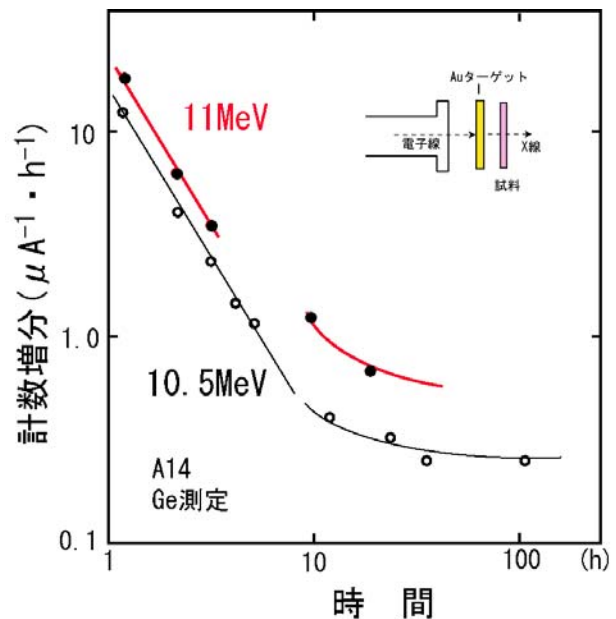


図1 制動 X 線照射による放射線収量の増加

【本研究に関する研究発表】

- 1) 「放射線を利用したアスベストの超高感度検知法」、谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、中部原子力懇談会放射線研究会（2010年11月5日、名古屋）
- 2) 「電子線照射による自然放射能の高感度オートラジオグラフィ」、谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、非破壊検査協会放射線部門講演会（2011年2月25日、東京）

IP の長時間露光法の検討

大阪府立大地域連携研究機構 谷口良一*、小嶋崇夫、奥田修一

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

【はじめに】 IP を長時間露光して使用する場合、放射線照射によって IP 中に生成された情報が時間の経過とともに、ある割合で消失する「フェーディング」という現象が問題となる。また、長時間、環境中に放置すれば、自然界に存在する環境放射線によって、IP が感光するという現象も起こる。本研究では、低温照射によってフェーディングを抑制し、遮へいによって自然放射線を軽減することを検討した。

【実験】 IP のフェーディングに関しては多くの研究例がある。これらによると、フェーディングの進行は、保存温度に大きく依存しており、これを抑制するには低温で露光・保存することが有効であることが推測される。図

- 1 に実験の結果を示す。これは、
① IP を常温で放置する。
② IP を低温（4℃）で保存する。
③ IP を低温かつ鉄板（1mm）で囲う。
④ IP を低温かつ鉄板と鉛板で囲う。

等の条件で IP のカブリを測定したものである。

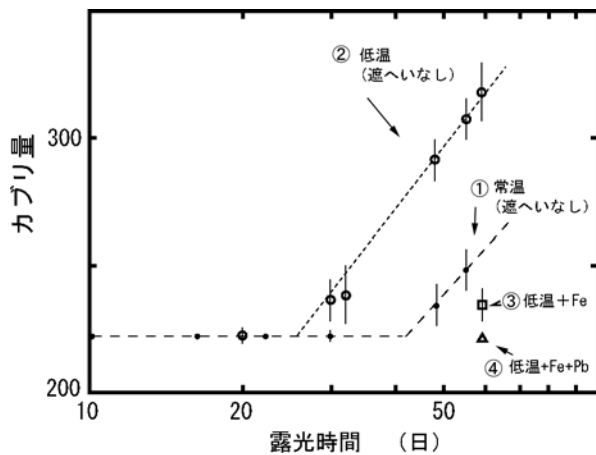


図1 保存温度と遮へいによるカブリの変化

常温保存の場合、フェーディングのため感度そのものが低い。従ってのカブリの影響が表れる点も低温保存よりも数倍遅くなっている。逆に低温照射では、図のように、数十日以上で、カブリの影響が強く現れた。これに対して、若干の鉄遮へいを追加した③の場合では、カブリは劇的に低減されている。さらに鉛遮へいを加えた遮へい体系④では、カブリが、ほぼ無視できる程度にまで低減されている。このように、長時間露光のためには温度を低温にすることが極めて有効であるが、照射が10日以上期間になるならば、遮へいによる自然放射線によるカブリの抑制も不可欠であることも明らかとなった。この放射線遮蔽は、本格的な鉛遮へいが最も有効であるが、遮へい性能の上では2桁近く劣る簡易型の鉄遮へいであっても、極めて効果的であった。

【本研究に関する研究発表】

- 1) 「IP の長時間露光の検討」、谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、非破壊検査協会放射線部門講演会資料 RT-00008 (2010年12月) pp13-16
- 2) 「IP の長時間露光特性」、谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、非破壊検査協会秋季講演大会 (2010年5月25日、東京)
- 3) 「IP の長時間露光特性」、谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、日本原子力学会 2011 年年会 (2011年3月30日、福井)

福島第一原発事故以降に大阪府立大で観測した放射性エアロゾルの放射能濃度変化

大阪府立大学放射線研究センター 伊藤憲男
(4218) ito_no@riast.osakafu-u.ac.jp

3月11日に発生した地震により福島第一原子力発電所の1,2,3号機が炉心の冷却不能に陥っている。さらに、3月12日に1号機が水素爆発により施設破損し、同様に続けて2,3号機でも施設が破損する状態となった。この施設破損以降、周辺での放射線量率が急激に上昇し放射性物質が原子炉内から放出されていると推定される。この原子炉内から放出される放射性物質は、燃料が核分裂した際に生成される放射性物質で多種類のものが生成される。この中で、多量に生成され、その放射性半減期が長く、放出されやすい放射性物質として、放射性ヨウ素(^{131}I)、放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs)等がある。これらが約550km離れた堺市まで飛来しているかを確認するために、堺市の大阪府立大学で観測を開始した。観測を継続することにより、濃度変化の推移と終息状況の確認を行うことを目的としている。

堺市での放射性エアロゾルの観測は3月17日から行った。観測は、エアロゾルの捕集、捕集した試料の放射能測定の手順で行った。吸引速度1000/lで試料をガラス繊維フィルター上に捕集した。捕集期間は、3~4日とした。捕集後直ちに、自然放射性物質である ^{214}Pb (半減期26.8m)と ^{212}Pb (半減期10.6h)の放射能測定のためガンマ線スペクトル測定(3600秒間)を行った。これらの放射能が十分低下した後、自然放射線物質の ^7Be と ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs の放射能を測定のためガンマ線スペクトル測定(50000秒)を行った。測定は、鉄室内で行い自然放射線の影響を低くして行った。

^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs の大気中の放射能濃度(mBq/m³)の観測結果を、Fig.1に示す。事故発生後11日目の3月22日から ^{131}I (0.2mBq/m³)と ^{137}Cs (0.09mBq/m³)を検出し始めた。4月6日~8日に最大の放射能濃度観測した。この期間から ^{134}Cs を検出し始めた。 ^{132}Te もこの期間だけ観測した。この期間の放射能濃度を、比較のため自然放射性物質(^{214}Pb , ^{212}Pb , ^7Be)とともに Table1に示す。 ^{214}Pb , ^{212}Pb は、大気中に存在するガス状物質であるラドン(Rn)から生成されたものである。 ^{214}Pb は ^{222}Rn から、 ^{212}Pb は ^{220}Rn から生成)。 ^7Be は宇宙線と大気の核反応により生成したものである。8日以降、4月25日まで3放射性物質とも検出していたが、25日以降ほとんどの観測期間検出限界値以下となっている。

Table3 Radioactivity concentration in Apr 6-8 2011

.Nuclide	Radioactivity(mBq/m ³)
Natural	
214Pb	1600(just sampling end)
212Pb	110(2days to sampling end)
7Be	9.5
Non-Natural	(yield(%), half life)
131I	3.3 (2.9, 8.02d)
132Te	0.1 (4.3, 3.2d)
134Cs	6.9 (, 2.1y)
137Cs	4.4 (6.2, 30y)

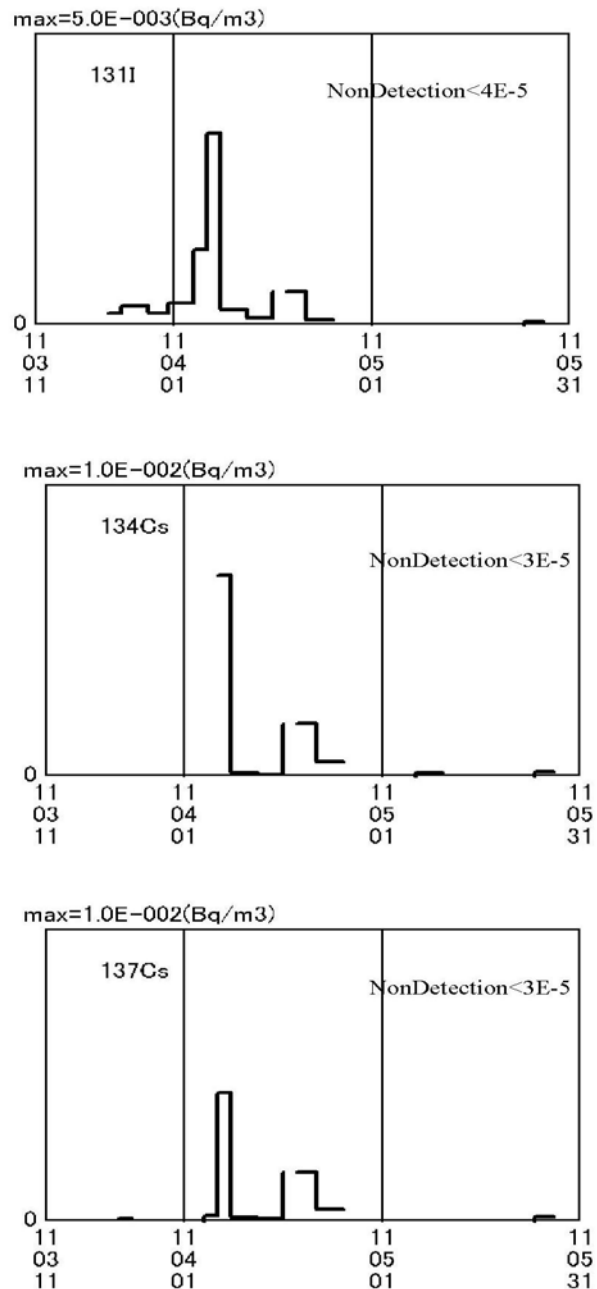


Fig.1 Radioactivity concentration change in ^{131}I , ^{134}Cs and ^{137}Cs from Mar 22 2011 at Sakai

可搬型核種分析装置の開発

大阪府立大学地域連携研究機構 谷口良一*、小嶋崇夫

(株)原子力エンジニアリング 新谷浩文、岡本景次

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4293、メール tan@riast.osakafu-u.ac.jp)

【はじめに】 原子炉レベルの高計数放射線のモニターが可能な、可搬型エネルギー分析サーベイメータの開発を行った。エネルギー分析が可能な放射線検出器としては半導体検出器が代表的であるが、液体窒素による冷却が必要であり大型化が避けられない上に、高い放射線レベルでの使用には適していない。本研究では、原子力関連施設の放射線管理で予想される放射線レベルでも適用可能な核種分析可能小型検出器を開発するために、2種類のシンチレーション検出器を組み合せ、目的方向以外からの放射線信号を電氣的に除去する(エレクトロニックコリメーション)手法を開発し、高いバックグラウンドレベルでの核種測定を可能とした。ただし、チェックすべきパラメータが多数あることから、いくつかの標準核種の検出感度を実験的に較正するとともに、強さをコントロールした高レベル放射線環境下での核種検出能力の実証を行った。

【装置概要】 本装置は、主検出器、並びにガード検出器（何れも CsI の結晶）を用いた。逆同時計数法によりバックグラウンドの低減を実現したものである。図 1 に装置のブロック図を示す。

【実験】 実験では、密封線源を用いてフォトピーク効率を求めた。

目的核種の 1 つである Co-58 の場合、配管内面沈着成分測定時には、Co-60 コンプトン連続部によるバックグラウンドの影響を受ける。このため、Co-60 と Co-58 を同時に照射した状態でのフォトピーク効率を確認した。又、Cs-137 のフォトピーク効率データも確認した。

続いて、Co-60、並びに Cs-137 の線源を用い、その配置距離を変えることで、測定装置への入射γ線束を変化させて、入射量（計算値）と測定値の関係より、直線性が崩れる入射γ線量を確認した。結果として、実際の使用条件に換算すると、配管表面 5cm での空間線量で約 4mSv/h まで測定が可能なことが判った。

以上の実験の結果、開発した可搬型核種分析装置は 1 次系冷却配管中の配管内面沈着成分を測定する能力を有していると評価された。又、本研究結果を基に得られた検出効率等の係数は、現場における測定値の解析上有用なものと考えられる。

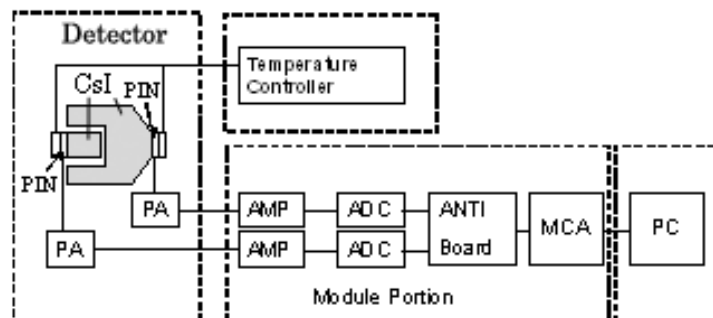


図 1. 装置体系ブロック図

3-ニトロベンズアントロンおよびシスプラチン DNA 付加体が引き起こす 損傷乗り越え DNA 合成の突然変異解析

阪府大産学官 藤川芳宏、東垣由夏、川西優喜*、八木孝司
大阪大学 倉岡功
神奈川工大 高村岳樹

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4224、kawanisi@riast.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】 大気に含まれる変異原物質である 3-ニトロベンズアントロンは、生体内代謝物として複数のアミノベンズアントロン DNA 付加体(ABA 付加体)が同定されている 1)。シスプラチンは抗癌剤として臨床で用いられる DNA クロスリンク剤で、複数のシスプラチン DNA 付加体(モノアダクト、鎖内架橋、鎖間架橋)が同定されている 2)。DNA 付加体は損傷乗り越え DNA 合成(TLS)を経て突然変異を誘発する 3)。

【目的と方法】 本研究では、ヒト細胞内で各付加体が誘発する突然変異の頻度と種類を明らかにした。*LacZ*遺伝子内に各種付加体(dG-C8-N⁶-ABA、dG-C2-C8-ABA、dG-N²-C2-ABA、dA-N⁶-C2-ABA、Pt-GG、Pt-GTG)を1分子持つシャトルベクタープラスミドを作製し、ヒトのNER欠損株内で複製させた。複製プラスミドを大腸菌内に導入して解析した。

【結果と考察】 その結果、すべての付加体はDNA合成を強く阻害するがTLSもされることがわかった。次に各付加体をTLSした際に、どのような塩基が挿入されていたのかを解析した。その結果、ABA付加体ではdG-C8-N⁶-ABAが最も多くの変異を引き起こし、また、シスプラチン付加体ではPt-GTGの方が多くの誤塩基挿入を引き起こすことが明らかになった。

参考文献

- 1) V. M. Arlt *et al.* (2006) Identification of three major DNA adducts formed by the carcinogenic air pollutant 3-nitrobenzanthrone in rat lung at the C8 and N2 position of guanine and at the N6 position adenine, *Int. J. Cancer* 118:2139-2146
- 2) A. Eastman. (1987) The formation, isolation and characterization of DNA adducts produced by anticancer platinum complexes. *Pharmacol. Ther.* 34:155-166
- 3) E.C. Friedberg *et al.* (2006) DNA Repair and Mutagenesis.

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) Y. Fujikawa, Y. Higashigaki, M. Kawanishi, T. Takamura, I. Kuraoka, T. Yagi. Effects of mutations produced by TLS of cisplatin and 3-nitrobenzanthrone DNA adducts in human cells. 日本環境変異原学会第40回大会 2011年11月（東京）

低線量 γ 線照射に対する DNA 二重鎖切断確率の線形依存性 単一 DNA 分子測定手法の活用

京大院理・物理学第一

下林俊典、吉川研一

立命館大・総合理工学研究機構

吉川祐子

阪府大・放射線科学研究センター

森 利明*

(*本研究に関する連絡先：電話 072-254-9852 (内線) 4221, morit@riast.osakafu-u.ac.jp)

DNA 二重鎖切断(DSB)は細胞に重篤な変化をもたらす。DSB は、たった一つでも修復されなかった場合はアポトーシスや細胞周期停止を引き起こし、また不正確に修復された場合は発がんすることなどが知られている [1]。故に DSB の定量的計測は 1960、70 年代に盛んに行われてきた。当時の方法論は、およそ数十キロ bp の DNA を H^3 でラベルし、照射後遠心分離して放射能を測定し、長さの分布の変化より DSB の切断確率を求めている。すなわち DNA の長さを間接的に計測することによって定量化が行われた。それに対して我々は長鎖 DNA である T4phageDNA(166kbp) を用いて低線量域における DSB の定量化を行った。我々はガラス面に伸展して吸着された DNA を蛍光顕微鏡によって観察し(図 I)、直接 DNA を計測することで定量化を行った。結果は 100Gy 以下においては照射量に対する DSB 確率には線形依存性が見られた。(図 II)

現在 100Gy 以下の照射を詳にさらに慎重におこない、

線形依存性の物理学的検討をおこなっている。この結果は 2011 年秋の関係学会で発表する。

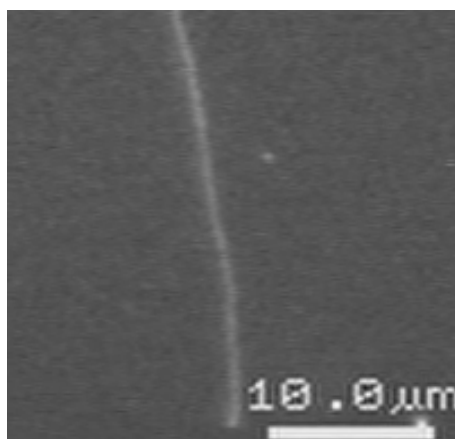


図 I 蛍光顕微鏡により計測された DNA 鎖の様子

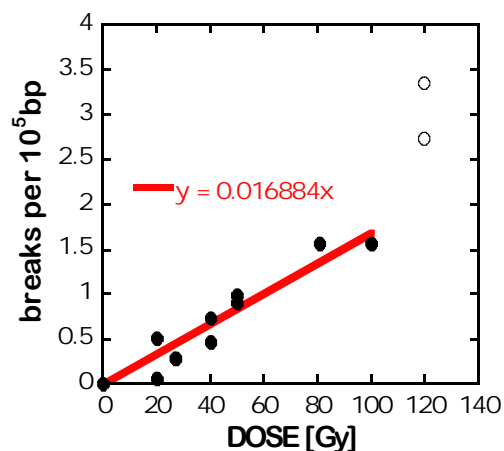


図 II 二重鎖切断確率(縦軸)と照射量(横軸)の関係

参考文献

[1] M.Kuhne, *et al.*, *Cancer Res.* **64**, 500 (2004).

本研究に関する研究発表

2011 年秋に開催された生物物理学会、物理学会、放射線影響学会などで口頭およびポスターで発表した。

長鎖 DNA の直接観察法を用いた放射線による DNA 二重鎖切断に関する研究

阪府大・放射線科学研究センター	森 利明*
立命館大・総合理工学研究機構	吉川祐子
国立遺伝研・構造遺伝学研究センター	前島一博
京大理院・物理学第一	吉川研一

(*本研究に関する連絡先：電話 072-254-9852 (内線) 4221, メール morit@riast.osakafu-u.ac.jp)

コバルト 60 の γ 線照射で生じる DNA 二重鎖切断 (DSB) を、蛍光顕微鏡をもちいた単分子観察法で研究した。DNA は水溶液中では通常コイル状態だが、スperlミジンなどのポリカチオン分子や魚類の精子に含まれるプロタミン (分子量約 5 千の蛋白質) を添加すると凝縮したグロビュール状態に変化する。 γ 線照射で断片化した DNA を蛍光顕微鏡で観察し、個々の DNA 分子長を計測。非照射の DNA 分子長と比較した。その結果、凝縮したグロビュール状態では放射線による DSB が顕著に抑制されることがわかった。

DNA をグロビュール状態にするためにはポリカチオン分子やプロタミンを DNA 濃度の数千倍近く加えなくてはならない。放射線化学の知識からすると、放射線のエネルギーはまず水に吸収されて、水和電子やヒドロキシルラジカル ($\cdot\text{OH}$ ラジカル) など反応性に富む活性種が生じ、これらが DNA を攻撃すると考えられている。その結果、①DNA 塩基が化学変化して不正常な修飾塩基 (modified base) が生成する、②塩基が脱離する (AP site)、③DNA 塩基と蛋白質が結合してクロスリンクが生じる (DNA-protein crosslinking)、④DNA 鎖の片方の鎖に切断が生じる (SSB)、⑤DNA の二重鎖切断がおこる (DSB) ことが知られている。これらは「間接作用」による DNA 損傷と云われている。DNA は巨大な高分子なので放射線が直接 DNA を攻撃することによって損傷がおこることもある。これを放射線の「直接作用」による DNA 損傷という。

これまでに行われたさまざまな研究成果から γ 線や X 線によっておこる DNA 損傷の、間接作用と直接作用の比は 6 対 4 程度と推定されている。近年がん治療で著しい成果をあげている高 LET の粒子線では、この割合は変化するが詳細については研究の途上にある。

放射線科学研究センターのコバルト 60 を用いた DNA 損傷の研究で、高次構造がコイル状態と密に凝縮したグロビュール状態では、DSB の生成に顕著な差があることが明らかになり、細胞中で DNA 凝縮剤がはたしている役割について新しい知見を得ることができた。

本研究に関する研究発表

- 1) 単分子観察法による DNA 二重鎖切断の研究、森 利明、平成 22 年度阪大量子ビーム科学研究施設研究会、2010 年 12 月、阪大産研
- 2) Comparative study of kinetics on DNA double-strand break induced by photo- and gamma-irradiation: Protective effect of water-soluble flavonoids, Y. Yoshikawa, T. Mori, *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **501**, 146-151 (2010).

セレギリン塩酸塩ならびに関連物質のモノアミントランスポーターへの親和性 および再取り込み阻害活性

エフピー株式会社 高畑和恵、卜部和則、西村哲也、片山未佳、奥田直子、新野智香
大阪府立大学理学系研究科 川西優喜、八木孝司*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）072-254-9862(4210)、メール yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

細胞膜モノアミントランスポーター (MAT) は、神経終末から放出されたモノアミンを素早く神経終末に再取り込みすることで、シナプス前および後受容体活性の持続時間の制御、他のシナプスへの拡散の制限、神経伝達物質の再利用を可能にしており、神経伝達の制御に重要な役割を担っている。細胞膜 MAT であるドパミントランスポーター (DAT)、ノルアドレナリントランスポーター (NET) およびセロトニントランスポーター (SERT) は主にそれぞれの作動神経終末の細胞膜上に局在しており、 Na^+/Cl^- 依存性に基質を取り込む膜たんぱく質である。MAT は抗うつ薬や依存性薬物の標的分子として薬理的な解析が、また、いくつかの精神神経疾患との関連性についても研究がなされている。例えば、抗うつ薬の多くは NET あるいは SERT に対して親和性を有しており、また、DAT は覚せい剤の標的分子であるとともに、MPP⁺ や 6-hydroxydopamine など神経毒の侵入経路でもある。パーキンソン病治療薬であるセレギリン塩酸塩はドパミンの代謝に関わる B 型モノアミン酸化酵素 (MAO-B) を選択的に阻害し、脳内のドパミン濃度の上昇を誘発するが、長期投与によりモノアミン再取り込み阻害作用を示す [1]。ドパミン代謝抑制に加えて、再取り込み抑制活性を有する化合物は、シナプス間隙でのドパミン濃度の増加を誘発すると考えられることから、パーキンソン病治療のゴールドスタンダードである L-DOPA の効果の増強あるいは持続に関与する可能性が推察される。また、パーキンソン病では運動症状に加えて非運動症状の併発が認められることから、パーキンソン病を含む精神神経症状に対する治療薬の開発にもつながると期待できる。本研究では、MAT への親和性および神経伝達物質の再取り込み阻害活性の評価系を確立することで、セレギリン塩酸塩および関連物質の薬効評価および安全性の評価を行うことを目的とする。

神経伝達物質の再取り込み阻害活性は、ラット線条体あるいは前脳より得たシナプトソーム画分を [³H]ドパミン、[³H]ノルアドレナリン、[³H]セロトニンと反応させ、シナプトソーム内に取り込まれた [³H] 量を液体シンチレーションカウンターで測定する。既存の MAT 阻害薬 GBR12935、nisoxetine、desipramine、paroxetine を用いて評価系の確立を行った。現在、関連物質の再取り込み阻害活性について評価を実施している。

参考文献

- [1] Zsilla G, Földi P, Held G, Székely AM, Knoll J. The effect of repeated doses of (-) deprenyl on the dynamics of monoaminergic transmission. Comparison with clorgyline. *Pol J Pharmacol Pharm.* 1986;38(1):57-67.

セレギリン塩酸塩ならびに関連物質の MAO 阻害活性

エフピー株式会社 ト部和則、高畑和恵、西村哲也、片山未佳、奥田直子、新野智香
大阪府立大学理学系研究科 川西優喜、八木孝司*

(*本研究に関する連絡先：電話(内線) 072-254-9862(4210)、メール yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

パーキンソン病 (PD) は、振戦、筋固縮、無動、姿勢反射障害といった特徴的な運動症状を呈し、病理学的には黒質線条体ドパミン神経系の変性ならびに α シヌクレインを主成分とする封入体、レヴィ小体の出現が認められる。PD での薬物治療は、黒質線条体ドパミン神経系でのドパミン神経伝達の低下を補う対症療法が主であり、ドパミンの前駆体 L-DOPA (ドーパ脱炭酸酵素阻害薬含有) やドパミン受容体アゴニスト等が用いられている。さらに、内因性ならびに L-DOPA 製剤由来のドパミンの代謝の抑制を目的とした B 型モノアミン酸化酵素 (MAO-B) およびカテコール-O-メチル基転写酵素 (COMT) 阻害薬が L-DOPA 製剤と併用により使用されている。MAO-B 阻害薬セレギリン塩酸塩は、ドパミン代謝抑制を介したドパミン賦活作用による症候性の改善に加え、抗酸化作用や抗アポトーシス作用等により神経細胞死を抑制することが報告されており [1]、PD でのドパミン神経系の変性の進行を抑制する可能性が期待されている。さらに、MAO-B が加齢による活性上昇を上回り PD で亢進すること、MAO-B 高発現マウスにおいて PD 様の病理学および行動学的所見が認められたことなどから、PD の病因への関与の可能性が示唆されている [2]。

非選択的 MAO 阻害は、食物に含まれるチラミンの末梢での代謝を抑制し、チラミンによる神経終末部からのノルアドレナリンの放出を促進するため高血圧を引き起こす。したがって、本研究では、脳および末梢組織 (肝臓、回腸) より得たミトコンドリア画分を用いてセレギリン塩酸塩ならびに関連物質処置時の MAO 阻害活性を測定し、MAO-A/MAO-B の選択性を比較することで薬効および安全性の評価を行うことを目的としている。

MAO 活性の測定は、ラット脳、肝臓、回腸より得たミトコンドリア画分を、MAO-A 基質 [14 C] Serotonin および MAO-B 基質 [14 C] Phenylethylamine と反応させる。クエン酸添加により反応を停止させた後、それぞれ酢酸エチル、オクタンで代謝物を抽出し、液体シンチレーションカウンターで測定する。MAO-A 阻害薬 clorgyline および MAO-B 阻害薬 pargyline を用いて、脳内 MAO-A および MAO-B 活性の実験条件を設定した。セレギリン塩酸塩 (0.01~10 mg/kg) の皮下投与 30 分後の脳内 MAO-A および MAO-B 阻害活性 (50%阻害用量) は、皮下投与 24 時間後のそれらと同等であった。また、セレギリン塩酸塩の MAO-A/MAO-B の選択性は約 100 倍であった。今後、関連物質についても同様の検討を行う。

参考文献

- [1] Tatton W et al.. Neuroprotection by deprenyl and other propargylamines: glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase rather than monoamine oxidase B. *J Neural Transm.* 2003;110(5):509.
- [2] Mallajosyula JK et al. MAO-B elevation in mouse brain astrocytes results in Parkinson's pathology. *PLoS One* 2008;3(2):e1616.

EDC 架橋を繰り返したコラーゲンゲルの研究

大阪府立大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 細胞組織工学分野

阪府大院理 清水 公亮、森 英樹、原 正之*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3602、メール hara@b.s.osakafu-u.ac.jp)

コラーゲンゲルは、組織工学の足場材料などに多く利用される。コラーゲン分子の非共有結合的な自己集合（線維化）によりゲル化するので、再構成コラーゲン線維の長さ、太さ、密度、架橋の有無により、ゲルの力学的特性が変化する。我々は、線維化度の異なるコラーゲンゲルを調製し、物性や構造の違いを比較してきた。今回は丈夫なゲルの調製方法について報告する。

0.6% (w/v)、pH 3.0、ブタ皮由来の Type I コラーゲン溶液 (collagen BM、Nitta Gelatin) を使用した。まず、collagen BM 4 ml、10×Phosphate buffered-saline 0.8 ml、蒸留水 3.2 ml を 6-well plate に入れて混合し、37°C で線維化させてゲルを調製した。そして、化学架橋剤の EDC(1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl)carbodiimide : 50、125 mM) 溶液にゲルを一晩浸して架橋したゲル（後架橋ゲル）を調製した。その後、加熱処理を行い、凍結乾燥してスポンジ化（多孔体化）し、そのサンプルを中和したコラーゲン溶液に浸し、4°C にて溶液をゲルの孔に浸み込ませ、37°C で線維化させた。そして再び EDC 溶液にてゲルを一晩浸して架橋し、この操作を再度繰り返して 3 回架橋ゲル（以下、サイクルゲル）を調製した。さらに、最後に再びゲルを加熱処理した場合としない場合の試料について、動的粘弾性測定、引っ張り試験、走査型電子顕微鏡（SEM）画像の結果を比較、検討した。

動的粘弾性測定の結果、サイクルゲルは後架橋ゲルよりはるかに大きな貯蔵弾性率 (G') と損失弾性率 (G'') を示しており、力学的に極めて丈夫なゲルであることが分かった。加熱処理した場合は、ゲル自体はあまり収縮せず、加熱前と同様か、むしろやや低下した結果を示した。これは 3 回にわたる共有結合架橋でゲルが硬くなり、コラーゲン線維同士の変形が抑えられたためだと考えられる。また引っ張り試験の結果から、サイクルゲルは後架橋ゲルと比べると最大応力に達する時の伸びは小さかったが、最大応力は大きかったので、かなり丈夫な物性を持っていると考えられる。SEM 観察の結果より、サイクルゲルはザラザラとした表面が観察されるが、コラーゲン線維 1 本ずつの観察は困難であった。また、EDC 濃度が高いほうが、再加熱前後ともに目詰まりをして緻密になり、線維間の空間が狭まっているように見えた。

本研究に関する研究発表

- 異なる条件で架橋したコラーゲンゲルの構造と物性の研究、清水 公亮、森 英樹、原 正之、第 32 回日本バイオマテリアル学会大会 平成 22 年 11 月 29 日～30 日（広島）
- 架橋条件の異なるコラーゲンゲルの構造および物性の研究、森 英樹、清水 公亮、原 正之、第 10 回日本再生医療学会総会、平成 23 年 3 月 1 日～2 日（東京）

コラーゲンの圧縮による力学的補強

大阪府立大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 細胞組織工学分野

阪府大院理 石橋 暢浩, 森 英樹, 原 正之*

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 3602、メール hara@b.s.osakafu-u.ac.jp)

組織工学の足場材料として広く用いられているコラーゲンは力学的強度が低いため、グルタルアルデヒドやカルボジイミド、 γ 線を用いたコラーゲン線維の架橋が行われている。また、コラーゲンの力学的強度は、コラーゲン線維の密度と配向に関係している。今回、圧縮による脱水と架橋を組み合わせてコラーゲンの力学的強度を高め、その力学的性質を測定した。

ブタ皮膚由来の Type I・III コラーゲン (ニッポンハム 309-31595) を使用して、0.8 % (w/v) のコラーゲンを調製した。参考文献 1) の方法に準拠して、外形 15 mm×15 mm×10 mm (縦×横×高さ) の直方体のコラーゲンを吸水用の濾紙に挟み、上部より 25 g、15 mm×15 mm×40 mm の金属片を用いて水平方向にゆっくりと圧縮していくことで、約 0.5 mm の厚みの薄い板状コラーゲンを得¹。その後、さらに強度を高めるために 50 mM と 87.5 mM、125 mM の化学架橋剤 EDC で架橋した試料と、未架橋の 4 種類のコラーゲン試料を調製した。それぞれについて、せん断荷重値(N)や応力・歪み曲線における破断点の伸長距離(mm)を求めるために引っ張り試験機(島津オートグラフ, AGS-50ND)を使用し、得られた値から応力(MPa)とヤング率(MPa)を計算した。

引っ張り試験の結果、コラーゲンのせん断荷重値は未架橋のゲルが一番小さく、EDC で架橋したゲルでは、50 mM から 87.5 mM、125 mM へと濃度が高くなるにつれて約 3.1 N, 6.2N, 9.2N と高くなった。荷重値と同様に応力とヤング率の値も EDC の濃度が高くなるにつれて高くなった(それぞれ 0.57 MPa, 0.85 MPa, 1.2 MPa と 8.5 MPa, 10.4 MPa, 14.6 MPa)。また応力・歪み曲線より、ゲルが最大荷重値を記録した時の伸長距離は未架橋ゲルが 4 mm と最も長く、EDC で架橋したゲルでは、どの濃度も 1 mm となり大きな違いはなかった。そして、ゲルの最大伸長距離は未架橋ゲルが 8.5 mm と最も長くなり、EDC で架橋すると 6 mm, 6 mm, 5 mm と短くなった。これらのことは、圧縮し架橋することにより力学的強度が高くなること、高い EDC 濃度で架橋することにより柔軟性が失われていくことを示している。

今後、コラーゲン線維の密度や配向について研究を進め、さらに力学的強度の高いコラーゲンを作製していく。そして、この力学的強度の高いコラーゲンを使用した、再生医療への幅広い応用を期待している。

参考文献

1) Robert.A.Brown et al.,Adv.Funct.Mater,15(2005)1762-1770.

ブタ毛より分離精製したケラチンの研究

大阪府立大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 細胞組織工学分野

阪府大院理 尾崎 由季, 齊藤 雄介, 森 英樹, 原 正之

(*本研究に関する連絡先: 電話 (内線) 3602、メール hara@b.s.osakafu-u.ac.jp)

ケラチンとは細胞骨格の中間径フィラメントに属する線維性タンパク群で、角質化した上皮系細胞や毛髪的主要成分である。分子内の多くの cystein がジスルフィド(-S-S-)結合により架橋されて物理的・化学的に極めて安定な性質を持ち、バイオマテリアルとしての抽出、加工、細胞培養基材への利用が研究されてきた。この-S-S-結合を還元して可溶化し、再酸化して固定化（再構成）できるのが、ケラチンの特徴である。従来の先行研究では、全て ケラチンというタンパク群としての機能解析が行われてきたが、今回我々は主成分である type I ケラチンと type II ケラチンサブユニットの精製分離を行い、それを培養皿上に固定化して細胞培養に用いた。

ブタ (*Sus scrofa*) から採取したブタ毛に還元的処理を加え、ブタ毛からケラチンを可溶化した。ブタ毛を 0.26 M SDS、8 M 尿素、1.66 M 2-メルカプトエタノールの混合液に浸し、60°Cの湯浴中で 18 時間加熱して可溶化し、得られた上清の粗抽出液を純水に対して 3 日間透析して可溶化ケラチンを得た。主要な構成成分である type I ケラチン(48 kDa)と type II ケラチン(63 kDa) サブユニットを SDS-PAGE により精製分離、抽出しそれぞれを含む溶液を得た。得られた粗抽出液、type I、type II ケラチンを 96well 培養皿表面へと加熱乾燥により固定化し、骨芽細胞モデル株の human osteosarcoma (HOS) 細胞、神経細胞モデル株の PC12 細胞、マウス胎児由来の線維芽細胞 (MEF) の 3 種の細胞を密度が 5.0×10^4 cells/well となるよう播種した。所定の培地で培養後、1・3・5 日後生細胞数測定 (WST assay) を行った。

粗抽出ケラチンを低濃度に固定した場合、プラズマ処理された細胞培養用ディッシュとほぼ同等な細胞接着、伸展、増殖が観察できるのに対し、高濃度に固定した場合は、これらが阻害される傾向が示された。同様に type II ケラチンを 100 g protein/well 固定化した場合、いずれの細胞も基材への接着、伸展、増殖が抑えられる傾向を示し、また type I ケラチンを 100 g protein/well 固定化した場合は PC12 細胞、MEF は接着、増殖が十分起こるのに対して HOS 細胞では培養 5 日間での増殖速度が低下した。type I ケラチンと type II ケラチンサブユニット間で、細胞接着性に違いがあると示唆される。

本研究に関する研究発表

1)ブタ毛より可溶化抽出したケラチンの研究、齊藤 雄介,尾崎 由季,森 英樹,原 正之、

日本生物工学会 2010 年度大会 平成 22 年 10 月 27 日~29 日 (宮崎)

2) ブタ毛より可溶化抽出したケラチンの研究、齊藤 雄介、尾崎 由季、森 英樹、原 正之

第 32 回日本バイオマテリアル学会大会 平成 22 年 11 月 29 日~30 日 (広島)

マウス神経幹細胞における選択的染色体分配機構の解析

大阪府大・院・理学系・生物科学・放射線生物 堀口亮、白石一乗、児玉靖司*

(*連絡先：電話（内線）4240、メール kodama@riast.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】幹細胞は、生物の発生過程や組織の分化において新たな細胞を供給するという重要な役割を担っている。幹細胞は、対称分裂と非対称分裂を行なうことが知られており、非対称分裂の場合、幹細胞と分化細胞という異なった2つの娘細胞を生み出すことになる。非対称分裂の詳細なメカニズムは未解明であるが、その決定因子にDNAの選択的な分配がかかわっていると報告がある。すなわち、DNAには鋳型鎖と新生鎖があり、姉妹染色分体は鋳型鎖を含むものと新生鎖を含むものが作られる。幹細胞が非対称分裂を行う際に、新生鎖は分化細胞に、鋳型鎖は娘神経幹細胞に選択的に分配される。これを選択的染色体分配といい、娘細胞の性質を決定する要因であると解釈されている(図1)。この説に対して、これまで多くの検証実験が行われてきたが完全な証明には至っていない。本研究では、組織性幹細胞としてマウスニューロスフェア細胞(胎齢14.5日)、及び対照としてマウス胎児線維芽細胞(胎齢14.5日)を用い、組織性幹細胞が染色体を選択的に分配しているか否かを明らかにすることを目的として実験を行った。

【実験方法】5-bromo-2'-deoxyuridine (BrdU)を添加した培地で細胞周期2周期分増殖させ、Colcemidを用いて染色体標本を作成し、姉妹染色分体交換(SCE)を検出した。また、細胞を新規チミジンアナログである5-ethynyl-2'-deoxyuridine(EdU)を添加した培地で細胞周期1周期分増殖させ、新しく合成されたDNAのみをEdUでラベルした。その後、紡錘糸重合阻害剤Nocodazoleを用いて分裂期後期の細胞を回収し、神経幹細胞が染色体を選択的に分配しているか否かを解析した。

【結果と考察】ニューロスフェア細胞、及び線維芽細胞のSCEはそれぞれ細胞あたり11.3個、及び8.0個であり、すべての染色体標本においてSCEが生じていた。また、Nocodazoleを用いて分裂期後期の細胞を観察する実験系を確立し、ニューロスフェア細胞を751個、p53をノックアウトしたニューロスフェア細胞を377個、対照として線維芽細胞を706個、分裂期後期の細胞を観察した。その結果、分裂期後期では、全ての染色体について選択的分配を行った細胞は存在しなかった。これは、選択的染色体分配は全ての染色体について行われるというこれまでの考え方と一致しない。全ての細胞で必ずSCEが生じていることから、染色体の全ての位置で古い鎖が維持されるという説が崩れることになる。しかし、特定の遺伝子が存在する染色体のみが選択的であり、細胞の運命を決定しているという考え方もありこれには矛盾しない。

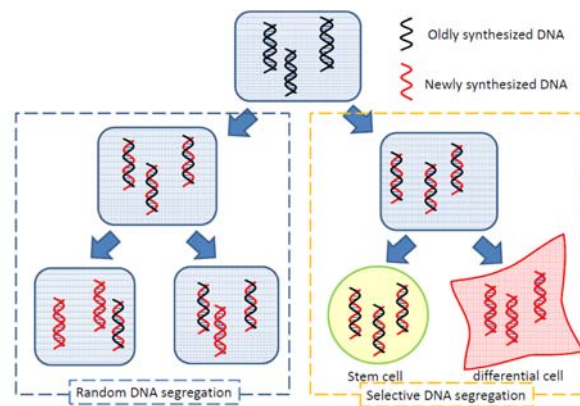


図1. 選択的染色体分配

放射線適応応答時の骨髄細胞における遺伝子発現

大阪府大・院・理学系・生物科学・放射線生物 岡島藤也、白石一乗、児玉靖司*

(*連絡先：電話（内線）4240、メール kodama@riast.osakafu-u.ac.jp)

【背景と目的】

マウス個体に 0.5 Gy の X 線照射を予め行うと、2 週間後に放射線による骨髄死に抵抗性を示すようになる。この現象は放射線適応応答とよばれる。これまでに、そのメカニズムとして、低線量の事前照射により半致死線量被ばく後の骨髄幹細胞の急速な回復が関わっていることが示唆されている。さらに、p53 ノックアウトマウスでは適応応答が見られないことから、p53 機能が放射線抵抗性獲得に主要な役割を担っていると考えられる。そこで本研究は、マウス骨髄幹細胞自身が低線量放射線被ばくにより放射線抵抗性を獲得するメカニズムを明らかにするために、低線量放射線被ばく後の骨髄細胞における p53 遺伝子、およびその下流で発現調整を受ける遺伝子群の発現について解析した。

【材料と方法】

C57BL 系雄マウスを 2 群に分け、0.5 Gy の X 線事前照射後 2 週間目のマウス群 16 匹 (Pr/+) と、事前照射を行わないマウス群 19 匹 (Pr/-) を用意した。各群のコントロールを除くマウスに対し 2Gy の X 線を照射した。照射 1、6、24 時間後にそれぞれ 4 匹ずつのマウスから骨髄細胞を回収後、RNA を精製し、cDNA を作成した。作成した cDNA を基に p53、Bax、p21 遺伝子発現量をリアルタイム PCR 法により定量した。遺伝子発現量は β -actin により標準化した。

【結果と考察】

事前照射ありのマウス群 (Pr/+) でも、無しのマウス群 (Pr/-) においても、骨髄細胞における p53、及び Bax 遺伝子発現は、2 Gy 照射 1、6、24 時間後において、大きな変化はみられなかった。この場合、p53 機能の活性化は、タンパク質リン酸化によって制御されるために、遺伝子発現の変化はみられなかったものと考えられる。また、Bax 遺伝子の発現が変化しなかったことは、2 Gy 照射では骨髄細胞のアポトーシスが誘導されないことを示唆している。一方、2 Gy 照射 1 時間後の p21 遺伝子は、(Pr/-)マウス群では照射直後の約 5.9 倍発現が上昇したのに対し、(Pr/+) マウス群は約 1.8 倍程度の上昇しかみられなかった。このことは、適応応答時の骨髄細胞は、G1 期での細胞周期停止が起こりにくくなっていることを示唆している。

テロメア短縮したヒト染色体の染色体移入法による安定性解析

大阪府大・院・理学系・生物科学・放射線生物 鈴木香那、白石一乗、児玉靖司*

(*連絡先：電話（内線）4240、メール kodama@riast.osakafu-u.ac.jp)

【緒言】

電離放射線に被ばく後、数十回の細胞分裂を経た子孫細胞に遅延性染色体異常が生じることが知られている。この現象は、放射線により誘導される遺伝的不安定性に起因すると考えられているが、詳しい誘発メカニズムは不明である。本研究では、遅延性染色体異常誘発に関わる要因としてテロメアに着目した。テロメアは染色体末端に存在する繰返し配列とそこに特異的に結合するタンパク質との複合体である。テロメアは、ループ構造を形成することで染色体同士との融合を防ぎ、染色体を安定化させる機能を担っている。テロメアは DNA 複製毎に短縮するが、伸長酵素であるテロメラーゼの活性がある細胞では、短縮が補われる。テロメラーゼ活性を失うとテロメアは短縮し、ループ構造が崩れて染色体不安定化が生じる。そこで本研究では、テロメラーゼ阻害剤によってテロメア短縮した染色体が、放射線被ばくによってどのような影響を受けるのかについて、染色体移入法を用いて解析した。

【実験方法】

テロメラーゼ阻害剤である MST-312 の存在下でヒト 8 番染色体を含む A9 細胞を培養し、ヒト 8 番染色体のテロメアを短縮させた。テロメアサイズは、テロメア FISH 法で定量化した。その後、ヒト 8 番染色体を含む A9 細胞に 4 Gy の X 線を照射し、微小核融合法を用いてマウス m5S 細胞内にヒト 8 番染色体を移入した。3 μ g/ml ブラストサイジンを含む培地で 2 週間培養して微小核融合細胞を選択し、FISH 法を用いてヒト 8 番染色体の安定性を解析した。染色体不安定化がみられた微小核融合細胞については、さらに Arm-Specific-FISH 法により、染色体内再配列の有無を調べた。

【結果と考察】

これまでに得られた成果より、正常なヒト 8 番染色体を移入した場合、染色体数の倍化はみられるが構造的な不安定化はみられないことが分かっている。一方、4 Gy の X 線を被ばくすると約 15% の細胞で遅延性染色体異常が生じる。本研究において、テロメラーゼ阻害剤処理後、さらに 4 Gy 被ばくしたヒト 8 番染色体を移入した 7 種類の微小核融合細胞を解析した結果、3 種類の細胞で染色体不安定化がみられた。この 3 種類の細胞 (8X8-7, 8X8-10, 8X8-11) では、それぞれ 3 種類の遅延性染色体異常が生じていた。さらに、この 3 種類に関して Arm-Specific-FISH 法を用いて解析した結果、8X8-7 細胞では、ヒト 8 番染色体の長腕の断片化、及び断片化 8 番染色体長腕部、及び短腕部のマウス染色体への転座が生じていた。8X8-10 細胞と 8X8-11 細胞では共に、ヒト 8 番染色体の長腕同腕染色体、短腕同腕染色体、及び 8 番染色体長腕部のマウス染色体への転座がみられた。以上の結果は、テロメア不安定化が放射線による遅延性染色体異常誘発を促進する可能性を示唆している。

水頭症マウスの原因遺伝子 *Ccdc85C* の大脳皮質発生における役割

阪府大院理生物科学専攻 森展子*

阪府大院生命環境獣医病理 田中夏樹、桑村充、山手丈至

(*本研究に関する連絡先：電話 072 (254) 9837、メール morin@b.s.osakafu-u.ac.jp)

私たちは常染色体劣性の出血性水頭症 (hemorrhagic hydrocephalus, *hhy*) 突然変異マウスを系統樹立、本学動物実験施設で維持している。このマウスは大脳皮質に発生異常があり、出生後2週間ぐらいでほぼ全例が水頭症を発症する。水頭症を発症したマウスはしばしば脳内に出血していることから、「出血性」水頭症と命名した。病態の特徴づけは獣医病理学教室にて行い、原因遺伝子を12番染色体上にマップした¹⁾。この突然変異はBALB/cマウスの染色体に生じたものであったため、MSMマウスに戻し交配し突然変異が確実に含まれるBALB/c染色体部分をMSMとヘテロの状態に維持しコンジェニック化を進めた。組換え体を選んで調べ突然変異の含まれる領域を狭め約1Mbに絞り、その範囲に登録されていた14個の遺伝子の中のひとつ*Ccdc85C*にエクソンの一部欠失を認めた。MSMへの戻し交配10代目あたりで胎性致死となったため現在はBALB/cに交配し*Ccdc85c*ヘテロ欠損で維持している。BALB/cバックグラウンドでは病態の重篤度に変化が見られ、水頭症が軽度の個体は生殖可能年齢に達して生存した。それらの個体の一部は低いながら繁殖能力があったが比較的短命である。

*Ccdc85C*に対する特異抗体を作製し免疫染色したところ、胎仔期において神経幹細胞の存在部位である側脳室壁表面が強く染まり、生後まもなく染色性は弱まった。皮質形成期の神経幹細胞は強い極性を示す放射状グリアであり、胎仔期には脳室壁表面で細胞体が分裂、自己複製しつつニューロンを生み出すが、生後すぐに種々のグリアに変化して姿を消す。*Ccdc85C*は発生期神経幹細胞放射状グリアの頂端部ジャンクション付近に集積していた。このたんぱくが欠損すると皮質神経幹細胞は脳室壁面から離脱して脳実質に散らばりニューロンに分化していった。その結果、*hhy*マウスでは出生前に放射状グリアがほぼ枯渇、これが病変の基礎となっていることが分かった。これらの研究成果はアメリカ病理学会誌²⁾に掲載の予定であり、現在、PubMedで要旨を閲覧できる。*hhy*マウスに欠損していた*Ccdc85C*は細胞内機能未知のたんぱくである。*Ccdc85C*が神経幹細胞の維持に関わっていることを示したのは私たちの研究が世界で最初であり、大阪府立大学の教員、旧総合科学部および獣医学科の学生のみによって行われた大阪府立大学独自の成果である。

参考文献

- 1) Kuwamura, M., Kinoshita, A., Okumoto, M., Yamate, J., Mori, N. Hemorrhagic hydrocephalus (*hhy*): a novel mutation on mouse chromosome 12. *Brain Res. Dev. Brain Res.* 152, 69–72, 2004.

研究成果

- 2) Mori, N., Kuwamura, M., Tanaka, N., Hirano, R., Nabe, M., Ibuki, M., Yamate, J. *Ccdc85c* encoding a protein at apical junctions of radial glia is disrupted in *hhy* mice. *Am. J. Pathol.* (in press).

放射線による食道がん細胞選択的な殺傷効果に関する研究

阪府大高等教育 田中 良晴*

大阪物療大保健医療・阪府大 李 強

大阪物療大保健医療 三羽信比古

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3869、メール yoshitan@las.osakafu-u.ac.jp)

がん治療には放射線治療、温熱治療、薬剤治療があり、それらの治療の機序の解明に関する研究はさかんに進められている。培養ヒトがん細胞株を用いた研究は、組織学、病理学、生理学的にがん治療の研究をする際の基礎ともなる。

細胞バンクや市販品にも培養ヒトがん細胞株は数多いが、由来組織や細胞種によって放射線感受性が程度異なる。また、放射線を1回照射する方法では副作用として周りの正常細胞までも破壊することが多いため、分割照射および温熱（ハイパーサーミア）療法や抗がん剤と併用することで、副作用を軽減し、かつ放射線の効果を増強する試みも多くなされてきた^{1,2,3)}。

本研究では、最近特に増加している食道がんに注目し、培養ヒト食道がん細胞株 KYSE70 を用い、放射線照射、温熱、抗がん剤の適切な組み合わせでがん細胞に対する殺傷効果を高めるための基礎データ取得を目的とした。

KYSE70 は県立広島大生命環境学部齋藤靖和准教授より提供いただいた。培養液は DMEM に牛血清、ペニシリン/ストレプトマイシン、ピルビン酸ナトリウム、L-グルタミンを加えたものを用い、37°C、5% CO₂ 条件下で培養した。この条件で倍化時間は 28 時間であった。

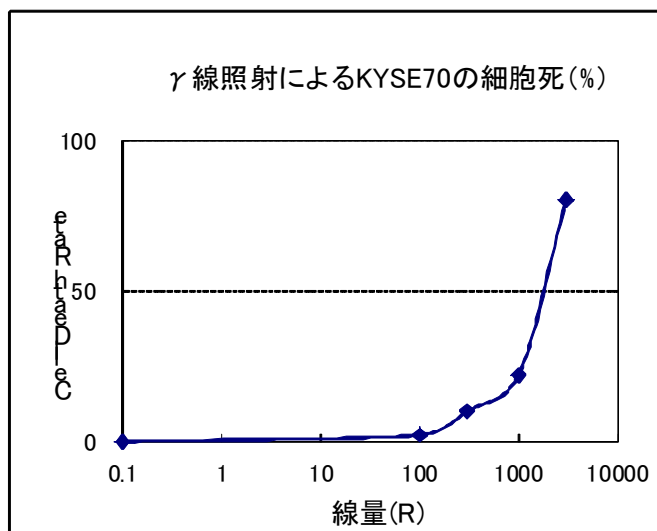
放射線照射時に対数増殖期になるように、3.5 mm 直径の細胞培養用ディッシュに 5.0×10^3 cells/cm² の濃度で撒き、3 日後に大阪府立大学 21 世紀科学研究機構のコバルト-60 線源から発するガンマ線を 0 R, 100 R, 300 R, 1000 R, 3000 R の線量分照射した。3 日後にヘキスト染色により細胞死の割合を観察した。その結果、半数致死線量は 1100 R (≒11 Gy) であった。

今後は、半数致死線量の照射と、高温処理、種々の抗がん剤投与を併用することで、殺傷率の増大を試みる。

また、対照となる正常細胞を入手し、がん細胞に対する処理条件でいかなる影響があるかも検証する。

参考文献

1. Wilkins R.C., Ng C.E. Raaphorst GP. Comparison of high dose rate, low dose rate, and high dose rate fractionated radiation for optimizing differences in radiosensitivities in vitro. *Radiat Oncol Investig.* 1998;6(5), 209-15.
2. Permissions G. et al. Thermal radiosensitization by 41°C hyperthermia during low dose-rate irradiation in human normal and tumour cell lines. *Int J Hyperthermia* 1994;10(2), 263-70.
3. Xu M. et al. Thermal radiosensitization of human tumour cell lines with different sensitivities to 41.1 degrees C. *Int J Hyperthermia.* 1999;15(4), 279-90.



マウス放射線誘発リンパ腫における4番染色体LOH領域の解析

阪府大院理生物科学専攻 森展子* 岡田圭樹

(*本研究に関する連絡先：電話 072 (254) 9837、メール morin@b.s.osakafu-u.ac.jp)

本学動物実験施設はコンベンショナルな動物実験施設であり、施設内にX線照射装置が設置されているため、同飼育施設で維持・繁殖させている種々の系統のマウスを施設内でX線照射し、長期にわたって飼育観察を必要とする発がん実験を行うことができる。発表者は、これまでに、この施設において、放射線によるリンパ腫誘発に感受性のBALB/c系統を遺伝的バックグラウンドとし、放射線によるリンパ腫誘発に抵抗性を示すSTS系統マウスの4番染色体のリンパ腫抵抗性関連領域をもつマウス、すなわちC.Sコンジェニック系統シリーズを樹立し維持してきた。

発表者はこれらのマウスを用いて、放射線によるリンパ腫誘発に対する感受性と、生じた腫瘍におけるヘテロ接合性消失(loss of heterozygosity, LOH) (注) を検索する実験を行い、BALB/cマウスにリンパ腫誘発に対する抵抗性を付与するSTS由来対立遺伝子は、4番染色体中央部において近接してはいるが物理的に明確に区別できる2つの領域内に含まれていることを示し、昨年、アメリカ放射線学会誌¹⁾に発表した。この2つの領域のひとつは、本学名誉教授奥本らがかつて示した領域に位置しており²⁾、第二の新規領域はそのセントロメア側にあった。2つの領域をコンジェニック化してBALB/cに交配、得られた雑種第一代のマウスをX線誘発したリンパ腫についてLOHを調べたところ、興味深いことに、第一の領域ではLOHが30%前後あり、しかも、STS由来対立遺伝子の選択的に消失があった。一方、第二の領域ではほとんど(<5%) LOHがなく、数少ない例の全てにおいてBALB/c対立遺伝子が消失していた。これらの結果から、第一の領域のSTS由来リンパ腫抵抗性対立遺伝子は、第二の領域のそれと性質を異にしており、がん抑制的効果をもつ遺伝子の一つであろうと推定された。第一の領域には既知のがん抑制遺伝子*Cdkn2a*と*Cdkn2b*がある。*Cdkn2a*のBALB/c対立遺伝子は細胞周期制御因子Rbのリン酸化抑制活性が弱く増殖抑制がききにくいことが知られており、リンパ腫抵抗性のSTS対立遺伝子が失われることでがん化がすすんだ可能性がある。現在、第一の領域においてLOHの範囲を詳細に調べている。

(注) ヘテロ接合性消失(loss of heterozygosity, LOH)とは、その近傍にがん抑制遺伝子が存在することを示すゲノム変化である。

参考文献

- 1) Mori, N. Two loci controlling susceptibility to radiation-induced lymphomagenesis on mouse chromosome 4: *Cdkn2a*, a candidate for one locus, and a novel locus distinct from *Cdkn2a*. *Radiat. Res.* **173**, 2010.
- 2) Okumoto, M., Nishikawa, R., Imai, S., Hilgers, J. Genetic analysis of resistance to radiation lymphomagenesis with recombinant inbred strains of mice. *Cancer Res.* **50**, 3848-3850, 1989.

Cronobacter sakazakii に対する放射線殺菌効果

阪府大理・量子線化学生物学研究室 藤井 夏日*、古田 雅一

(*本研究に関する連絡先 : 電話 (内線) 3542)

【緒言】 *Cronobacter sakazakii* は環境に広く分布する腸内細菌科に属する菌である。特に調製粉乳を介して乳幼児に感染し、髄膜炎や壊死性腸炎を引き起こす日和見性病原菌として知られている。実際に粉乳を汚染している菌数は極めて少ない ($<10^2$ CFU/100 g) にも関わらず、乾燥に強く粉乳内で優位に生き残ること、そして一度好環境に戻る (粉乳を微温湯に戻す等) と分裂が再開され、感染が危惧される数にまで急速に増殖することで問題視されている。しかし現在の粉乳製造工程では無菌の粉乳を生産することは出来ないとされ、感染阻止の処置は各家庭に任されている (70°C以上の熱湯による調乳等) のが現状である。

電離放射線は透過性が高く温度上昇も軽微であるため、乾燥食品や梱包済みの製品に対しても有効な最終品質を保証する殺菌手段として世界でも普及が進んでおり、粉乳殺菌への研究例もある。当研究室ではこれまで香辛料中の汚染菌について研究を進めており、*C. sakazakii* が検出されたという報告もあることから、調製粉乳と同じく乾燥粉末製品である市販の未殺菌香辛料中に *C. sakazakii* が存在することを調べたうえで、実際にこの香辛料に対する ^{60}Co γ 線照射殺菌の有効性について検討した。また、乾燥処理と放射線照射が *C. sakazakii* に与える影響についての詳しい知見を得るために、ピュアな系で乾燥・照射し、同じく腸内細菌科に属する大腸菌と比較するとともに、感受性変化のメカニズムについて考察した。

【実験方法】 ①香辛料からの菌の単離：未殺菌セージ 10 g に回収液 90 mL を加えてストマッカーで 2 分間処理したのち得られた抽出液を 37°C で一晚振盪培養した。翌日、うち 10 mL を EE ブイヨン 90 mL に移して一晚選択増菌を行い、*C. sakazakii* 検出用寒天培地に播いてコロニーが出現するかどうかを調べた。得られたコロニーは市販の同定検査試薬を用いて菌の同定を行った。② γ 線による香辛料中 *C. sakazakii* の殺菌：セージに 1~7 kGy の γ 線を照射後、②と同様の流れで *C. sakazakii* が検出されるかどうかを調べた。③乾燥処理による放射線感受性の変化：*C. sakazakii* 標準株 (ATCC51329) を TSA 培地に植えて定常期まで培養した。 1.0×10^7 cells/mL に調整後、50 μL ずつエッペンチューブに分注し、湿度 10% 環境下に 30°C で 0~31 日間放置した。各サンプルに 1~10 kGy の γ 線を照射後、TSA 寒天培地で培養し、コロニーカウント法により生残率を求めた。

【結果と考察】 ① *C. sakazakii* 検出用培地から得られたコロニーについて同定検査試薬で同定を試みたところ、*C. sakazakii* であることが確かめられた。EE ブイヨンによる選択増菌前の抽出液を標準寒天培地に播いた場合には検出されなかったことから、当菌数はとても少ないものと考えられる。②セージに対して 5 kGy 以上の γ 線を照射すると *C. sakazakii* は検出されなくなった。3 kGy ではほぼ未照射と同レベルにまで菌の増殖が見られたことから、ごく少数でも菌が生存していれば、その後好環境下に置かれた際に再び活発に増殖することが示唆された。③乾燥処理を施すと、20 日後まで菌数は直線的に減少し、その後緩やかな減少となった。放射線耐性は乾燥

が進むほどに高くなった。菌内外の水分含量の減少により放射線の間接作用が抑制されたことが一つの要因であると考えられる。また、*C. sakazakii* と大腸菌では乾燥処理による水分含量減少の程度に差はなかったにも関わらず、乾燥後の放射線抵抗性は *C. sakazakii* の方がより高い結果となった。放射線照射前の乾燥処理時における *C. sakazakii* の生存能力の向上が、結果的に照射後の生残率にも影響を与えているのではないかと考えられる。

今後は乾燥処理により菌がどのような防御機構を働かせているのか、放射線照射によりどのような損傷を受けまた修正しているのか、に注目し、DNA 切断や膜の損傷、処理後の増殖挙動などについても解析していく予定である。

本研究に関する研究発表

- 1) 日本食品照射研究協議会第 46 回大会研究発表
乾燥ストレスが *Enterobacter sakazakii* の放射線感受性に与える影響
- 2) 日本防菌防黴学会第 38 回年次大会一般研究発表
乾燥状態における *Enterobacter sakazakii*, *Escherichia coli* の放射線感受性変化

***Bacillus* 属細菌芽胞の発芽過程・増殖挙動に及ぼす放射線効果**

○向原岳¹、小田康雅²、坂田孝²、上村貴之³、古田雅一¹

(¹大阪府大院・理・生科、²シスメックス(株)、³タイテック(株))

【目的】

食品の殺菌には主に加熱殺菌法が用いられているが、透過力が強く温度上昇が少ない放射線殺菌法が栄養成分や香气成分の劣化を防ぐために有効である。従って香辛料などの乾燥食品に対しては放射線殺菌の普及が進んできている。照射量を増やせば殺菌効果は上がるが食品も劣化してしまうため、極力少ない線量で殺菌する必要がある。自然界に普遍的に存在し、食品殺菌の指標菌とされている *Bacillus* 属細菌は芽胞を形成することで大腸菌のような栄養型細菌よりも高い放射線抵抗性を示す。そのため放射線照射後の芽胞がどのような回復挙動を示すかを検討することは放射線殺菌の有効性を評価するために重要である。本研究では香辛料の代表的汚染菌である *B. licheniformis* と *B. megaterium* の芽胞を用いて、照射後の発芽増殖の挙動について検討した。

【方法】

B. licheniformis と *B. megaterium* の栄養細胞をそれぞれの芽胞形成培地に播種し 37°C で培養後、形成した芽胞を回収した。ガンマ線処理した芽胞の増殖挙動について、コロニー形成・濁度・代謝熱の観点から検討するべく次の実験を行った。まずは回収した芽胞に ⁶⁰Co ガンマ線を照射し、コロニーカウントする芽胞は寒天培地に塗布し、それ以外は液体培地に添加した。その後濁度測定する芽胞は、37°C で振とう培養しながら分光光度計で濁度を測定した。もう一方の熱測定を行う芽胞は 37°C でインキュベートしながら芽胞の代謝熱を測定した。さらにガンマ線照射後の芽胞の発芽・増殖挙動をリアルタイムで観察するため、ディッシュ上に芽胞を吸着させ、液体培地を添加した後に、37°C でインキュベートしながら高感度カメラ付位相差顕微鏡で連続撮影した。

【結果】

コロニーカウントの結果を見ると、高線量域で途端にコロニー数が減少していた。ところが濁度測定と熱測定の結果では、どちらの芽胞とも線量の増加に伴って増殖開始が遅れているように見えるものの、高線量であっても増殖開始と共に濁度が低線量と同等に増加していた。次に照射後芽胞のライブセルイメージングの結果と、照射後の芽胞を培養しながら顕微鏡観察した写真を見ると、始めは芽胞が発芽して伸長しているものの、その後伸長芽胞が減少するという現象が認められた。このことから、照射後芽胞は発芽後増殖の過程で何らかの障害を生じ、増殖能を失う VNC 菌となっている可能性が示唆された。そこで現在は、照射による損傷を解析するため、DNA や細胞膜を染色することでガンマ線照射後の芽胞が発芽増殖の過程で細胞内のどの部位で障害が生じ、増殖停止の原因となっているのかを検討している。また、パルスフィールドゲル電気泳動を用いて、ガンマ線照射によって損傷を生じた DNA 鎖が発芽後増殖のどの過程で修復が行われているのかも併せて検討中である。

参考文献

- 1) Nahrstedt H, Schröder C, Meinhardt F. 「Evidence for two *recA* genes mediating DNA repair in *Bacillus megaterium*」、*Microbiology* 151, 775-787(2005)
- 2) Wirkner S. 「Calorimetric Studies on the Effect of Some Physicochemical Conditions on the Microbial Growth Activities The Irradiation of ⁶⁰Co γ -Rays and Electron Beams and the Treatment by Pulsed Electric Field」、Osaka Pref. University Ph.D thesis(2001)
- 3) Setlow B, Peng L, Loshon CA, Li YQ, Christie G, Setlow P. 「Characterization of the germination of *Bacillus megaterium* spores lacking enzymes that degrade the spore cortex」、*Journal of Applied Microbiology* ISSN: 1365-2672(2009)
- 4) Sonali Ghosh and Peter Setlow 「Isolation and Characterization of Superdormant Spores of *Bacillus* Species」、*Journal of Bacteriology*. 1787-1797(2009)
- 5) ANNE-BRIT KOLSTØ, ANNE GRØNSTAD, and HANNE OPPEGAARD 「Physical Map of the *Bacillus cereus* Chromosome」、*Journal of Bacteriology*. 3821-3825(1990)
- 6) Marcelo Barraza-Salas, Juan R. Ibarra-Rodriguez, Silvia J. Mellado, Jose M. Salas-Pacheco, Peter Setlow, and Mario Pedraza-Reyes 「Effects of forespore-specific overexpression of apurinic/apyrimidinic endonuclease Nfo on the DNA-damage resistance properties of *Bacillus subtilis* spores」、*FEMS Microbiology Letters* 302, 159-165(2010)

本研究に関する研究発表

- 1) ○向原岳、石川悦子、小池佳都子、小田康雅、坂田孝、古田雅一 「*Bacillus* 属細菌芽胞の発芽過程・増殖挙動に及ぼす放射線効果」、日本防菌防黴学会第 37 回年次大会(2010)

パプリカ抽出成分が殺菌ストレスを与えた *Bacillus* 属細菌に及ぼす影響

Influence that paprika extraction element exert *Bacillus* which were exposed sterilization stress

阪府大院・理・生物科学 阪井 俊夫、古田 雅一*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）3542、メール mfuruta@b.s.osakafu-u.ac.jp)

1. 諸言

食品添加物として使用される香辛料には、生産段階で微生物汚染が見られるため、殺菌処理が必要である。現在、我が国においては過熱水蒸気による殺菌が一般的に利用されているが、加熱による色や風味の劣化が問題視されている。一方、放射線殺菌は温度上昇が軽微なため品質保持の点で有利であり、許可申請中であるが、殺菌処理後の生残菌の増殖回復挙動についてのデータが不足している。そこで、パプリカ粉末の表面に付着していた菌を回収して同定し、その標準株をパプリカ粉末とソーセージの混合物（滅菌処理済み）に添加して増殖動態を調べ、パプリカ自体の抗菌能力の関与について検証したところ、パプリカ粉末存在下では菌の増殖が抑制される事がわかった。

本研究では、このような結果を踏まえ、パプリカ果実に含まれる成分が *Bacillus* 属細菌の増殖に与える影響をさらに詳しく調べるため、水やエタノールを用いてパプリカ粉末から抽出した成分が *Bacillus subtilis* 芽胞やパプリカ付着菌に与える増殖阻害効果について検討した。

2. 実験方法

殺菌処理を行っていない未処理のパプリカ粉末、未処理のパプリカ粉末に γ 線を30 kGy照射したもの、未処理のパプリカをオートクレーブにかけたもの、工業的に加熱水蒸気を噴霧されたパプリカ粉末を用意した。これら4種類のパプリカ粉末に100%エタノール・70%エタノール・滅菌蒸留水の3種類の抽出溶媒を加え、30℃で24時間静置し、液体部分のみを回収して遠心分離により余分な残渣を除いたものをそれぞれのパプリカ抽出液とした。続いて、SCD液体培地5 mlに*B. subtilis*標準株芽胞液25 μ lとパプリカ抽出液100 μ lを加え、熱測定により*B. subtilis*の活動の様子をモニターした。また、エタノール抽出液を用いた実験では、エタノールそのものの殺菌能力を考慮し、パプリカ成分を含まないエタノールのみを加えたサンプルについても同時に測定を行った。

3. 結果および考察

100%エタノールおよび70%エタノールによるパプリカ抽出液を用いた測定では、抽出に用いたパプリカ粉末の殺菌方法に依らず、パプリカ成分を含むサンプル全てにおいて*B. subtilis*の活動が見られなかった。それに反してエタノールのみを加えたサンプルでは*B. subtilis*の活動が見られた。このことから、パプリカ粉末には静菌または殺菌効果をもつ成分が含まれていると思われる。一方、滅菌蒸留水で抽出を行った場合の測定では、全てのサンプルにおいて*B. subtilis*の活動が明確に観察された。それに加え、未処理のパプリカ粉末からの水抽出液内部では本来よりパプリカ粉末の表面に付着していた*Bacillus*属細菌群が生残していたことから、パプリカ粉末に含まれる成分の中でも水に可溶であるものは抗菌能力が極めて乏しいのではないかと考えられる。

4. 結論

*B. subtilis*に作用したパプリカ中の主な成分は、水溶性部分よりもアルコール溶性部分、すなわち精油中に多く含まれている可能性が高いことがわかった。

本研究の成果の一部は、文部科学省原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ「実用化が予想される食品への放射線利用に関する基礎研究」の助成によるものである。心より感謝の意を表す。

参考文献

*¹Biological Science at the Graduate school of science, Osaka Pref. University;

*²Radiation Research Center, Osaka Pref. University

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

日本アイソトープ協会第48回研究発表会（2011年7月、東京）

パプリカ抽出成分が殺菌ストレスを与えた *Bacillus* 属細菌に及ぼす影響

阪井俊夫、古田雅一

分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* における酸化ストレス応答

大阪府立大院・理・生物 中谷由衣、古田雅一

大阪府立大院・生命環境・応用生命 岸田正夫

【緒言】 生物は様々な環境ストレスに日々曝されている。その中でも酸化ストレスは、好気性生物である我々にとって、避けることのできないものである。非還元型二糖であるトレハロースは様々な環境ストレスに対する保護物質として有名であり、ストレス曝露時、出芽酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 細胞内に誘導合成されるという報告がある。トレハロースは出芽酵母内でラジカルスカベンジャーとして機能するが、過酸化水素処理ではトレハロースに蓄積は見られない。一方、遺伝子レベルで出芽酵母よりヒトに近いとされている分裂酵母 (*Schizosaccharomyces pombe*) では過酸化水素処理において細胞内にトレハロースの蓄積が見られ、生残率にも影響しているということが確認された。本研究では分裂酵母を用いて酸化ストレスの一種である過酸化水素、 γ 線照射におけるトレハロースの生合成の関係を調べた。

【実験】 ① H₂O₂曝露処理 : *S.pombe*(SG168(-H Δ leucine))と *S.cerevisiae*(BY4741 株)をそれぞれ YES 液体培地、YPD 液体培地を用いて 30°C で対数増殖期まで振とう培養した。この菌液を H₂O₂ で 1 時間処理した。その後菌液を熱水により抽出されたトレハロースはトレハロース測定キット (MEGAZYME)を用いて検量した。同時に、コロニー計数法により生残率を測定した。② γ 線照射処理 : ①と同様に培養した菌液を ⁶⁰Co γ 線を 0.5 kGy~5 kGy(線量率は 2.23~2.26 kGy/h)の線量で照射し、生残率とトレハロース量の測定を行った。

【結果と考察】 本研究の濃度範囲では *S.cerevisiae* にトレハロースの蓄積はみられなかったが、*S.pombe* では H₂O₂ 濃度 0.5mM に達するまでの間にトレハロース量が増加した。またこのとき *S.pombe* では *S.cerevisiae* に比べて生残率の低下が抑えられた。しかし、H₂O₂ 濃度 10 mM 以上ではトレハロースは検出されなかった。トレハロース量と生残率の関係よりトレハロースは低濃度の H₂O₂ に対してなんらかのストレス応答を示している可能性が示唆された。一方、 γ 線照射時には、トレハロース蓄積は観察されなかった。今後はこの考察を裏付けるために、パルスフィールドゲル電気泳動法によりストレス処理後の DNA の分離、比較を行う予定である。また、さらにトレハロース分解酵素であるトレハラゼの活性を測定することも、重要であると考えられる。

【本研究に関する研究発表】

1) IUMS International Union of Microbiological Societies 2011 Congress Sapporo

Yui Nakatani, Masakazu Furuta, Masao Kishida

シロイヌナズナ青色光受容体 phot1 の LOV2-キナーゼペプチドの変異導入解析

阪府大院理 光生体制御分野 嘉祥寺谷幸子、岡島公司、徳富哲*

(*本研究に関する連絡先：電話（内線）4110、Email: toxan@b.s.osakafu-u.ac.jp)

フォトトロピン（以下 phot）は植物における青色光受容体で、光屈性や葉緑体光定位運動、気孔開口などの光応答に関わっている。phot（phot1、phot2）は N 末端側に光受容ドメインとして 2 つの LOV ドメイン（LOV1、LOV2）と C 末端側に Ser/Thr キナーゼ、LOV2 とキナーゼの間に $J\alpha$ ヘリックスを含むリンカー領域をもっている。phot は光によって活性制御されるタンパク質キナーゼで、主に LOV2 がキナーゼの活性制御を行っている。LOV2 は発色団として 1 分子の FMN をもち、FMN のイソアロキサジン環を β シートに乗せるような形で LOV2 内部に保持している（図参照）。 $J\alpha$ ヘリックスは LOV2 の β シートの外側に繋ぎ止められており、同 β シートを挟んで FMN の反対側に位置している。phot キナーゼの結晶構造は明らかとなっておらず、さらに LOV2 との位置関係も不明である。暗所で、キナーゼは LOV2 によって活性を抑制されている。青色光照射によって LOV2 と FMN のイソアロキサジン環の間に一過的な共有結合が形成される（アダクト形成）と、LOV2 の β シートを介して $J\alpha$ ヘリックスが構造変化し、キナーゼは活性抑制が解除されると考えられている。しかし、LOV2 のアダクト形成がキナーゼを活性化する分子機構は未解明である。

同分子機構解明のために当研究室では、光によるキナーゼ活性制御が可能なシロイヌナズナ phot の LOV2-キナーゼペプチドを用いた解析系を確立している。本研究では LOV2 のアダクト形成によるキナーゼ活性化の分子機構を調べるため、phot1 の LOV2-キナーゼペプチドのアミノ酸変異導入解析を行った。Oat phot1 LOV2- $J\alpha$ の暗所および青色光照射下での結晶構造を基に、両者間の水素結合ネットワークに違いがあるアミノ酸に注目して変異を導入し、1

アミノ酸置換による解析を行った。変異を導入したアミノ酸 4 か所のうち、LOV2 N 末端側の Lys475 は暗所と青色光照射下で側鎖と $J\alpha$ ヘリックス間の水素結合が形成と切断を示す。この Lys475 の Ala 残基への置換はアダクト形成や $J\alpha$ ヘリックス近傍での構造変化に影響しなかったが、光によるキナーゼ活性化を示さなくなった。さらに、Lys 残基の Asp や Glu、Arg 残基への置換でも同様の結果が得られた。これらの結果から、Lys475 は $J\alpha$ ヘリックスでの構造変化後のキナーゼの活性化に重要であると考えられる（図参照）。

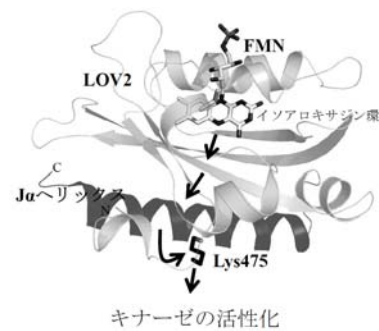


図 アダクト形成がキナーゼ活性化を導く経路

本研究に関する研究発表

- 1) Y. Takayama, M. Nakasako, K. Okajima, A. Iwata, S. Kashojiya, Y. Matsui, S. Tokutomi (2011) *Biochemistry*. 50(7):1174-83.
- 2) K. Okajima, D. Matsuoka, S. Tokutomi (2011) *FEBS lett.* Nov 4;585(21):3391-5.
- 3) 嘉祥寺谷幸子、岡島公司、徳富哲 (2011) 第 52 回日本植物生理学会年会 (宮城)
- 4) K. Okajima, S. Kashojiya, S. Tokutomi (2011) The 5th Asia and Oceania Conference on Photobiology (Nara)
- 5) 岡島公司、嘉祥寺谷幸子、徳富哲 (2011) 第 49 回日本生物物理学会年会 (兵庫)

オーキシン極性移動制御物質の探索 (II) -天然型オーキシン極性移動制御物質のスクリーニング-

大阪府立大学大学院 理学系研究科 上田純一*

大阪府立大学 高等教育推進機構 宮本健助

(*本研究に関する連絡先：電話(内線) 3596、メール ueda@b.s.osakafu-u.ac.jp)

植物の成長、発達に重要な役割を担っている植物ホルモンのオーキシン (Indole-3-acetic acid, IAA) は極性移動を示すことが知られている。現在まで、オーキシン極性移動制御物質としては、非天然型の化合物である 2,3,5-triiodobenzoic acid (TIBA)、*N*-(1-naphtyl)phthalamic acid (NPA)、9-hydroxyfluorene-9-carboxylic acid (HFCA) がその阻害剤として知られているにすぎない。本研究においては、広く植物界より天然型のオーキシン極性移動制御物質を探索することを目的とした。本年度は、昨年度新たに開発した放射性オーキシンと明所で生育させたダイコン (*Raphanus sativus* L.) 芽生え胚軸切片を用いた生物検定系を利用して、各種植物抽出物を対象に天然型オーキシン極性移動制御物質のスクリーニングを行った。

American Radiolabeled Chemicals Inc. の [1-¹⁴C]IAA (3.7 MBq/ml) を 37 KBq/ml に調整し、1.5 ml エッペンドルフチューブに 20 μl ずつ分注した。明所で 6 日間生育させたダイコン (*Raphanus sativus* L.) 芽生え胚軸より 20 mm の切片を調整し、その頂端側から [1-¹⁴C]IAA を取り込ませ、暗所、室温にて 10-18 時間培養した。培養終了後、切片の他端 2 mm を切り出してバイアルに移し、液体シンチレーションカウンター (2 ml) を加えてそこに含まれる放射活性を測定し、オーキシン極性移動活性とした。

天然型オーキシン極性移動制御物質探索には、イネ科のトウモロコシ (*Zea mays* L.)、マメ科のアラスカエンドウ (*Pisum sativum* L. cv. Alaska)、キク科のニガヨモギ (*Artemisia absinthium* L.) の各地上部から得られた抽出物を用いた。[1-¹⁴C]IAA に由来する放射活性の移動に影響した画分については、各種クロマトグラフィーにより活性本体を精製することとした。

本研究におけるスクリーニングでは、活性に差があるものの、全ての植物抽出物の酢酸エチル可溶性性 (AE) 画分および同中性 (NE) 画分にオーキシン極性移動阻害活性が認められた。特にニガヨモギの NE 画分において比較的強力な阻害活性が認められた。なお、本研究におけるスクリーニングでは、いずれもオーキシン極性移動促進活性は検出されなかった。現在、比較的強いオーキシン極性移動阻害活性が認められたニガヨモギの NE 画分を対象として、精製操作を進め、活性本体の単離を試みている。

参考文献

- 1) Kiyotaka Okada, Junichi Ueda Masako K. Komaki, Callum J. Bell and Yoshiro Shimura. Requirement of the auxin polar transport system in early stages of *Arabidopsis* floral bud formation. *Plant Cell*, 3:677-684 (1991)
- 2) Mariko Oka, Junichi Ueda, Kensuke Miyamoto, Ryoichi Yamamoto, Takayuki Hoson and Seiichiro Kamisaka. Effect of simulated microgravity on auxin polar transport in inflorescence axis of *Arabidopsis thaliana*. *Biol. Sci. Space*, 9:331-336 (1995)

「平成 23 年度第 28 回記念みんなのくらしと放射線展」活動報告

大阪府立大学・放射線研究センター 奥田修一*

「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会 委員

(*本報告に関する連絡先：電話（内線）4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

原子力、放射線の分野で人材育成が急がれ、中学校では理科の学習指導要領が改訂されて放射線についての教育が平成 24 年度から実施される。このような社会情勢の中で、毎年恒例の夏休みの親子勉強博「みんなのくらしと放射線展^{1,2)}」は、今年で 28 回目を迎えることになった。しかし子供たちが放射線を楽しく学べる放射線展は、今年度大きく開催形態を変えることになった。

平成 23 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故は、国民の放射線に対する大きな不安を引き起こした。われわれは、この予想もしなかった事態を踏まえて、今年度の第 28 回放射線展を、市民が現在最も必要としている知識を提供する場とし、例年とはかなり様子の異なる放射線展を開催した。

「放射線」、「放射能」、ベクレル、シーベルトなど放射線関連の用語が日常的に報道されるようになり、一般市民により身近なものになった反面、正しい知識の不足からくる不安や風評被害などが大きな社会問題となっている。放射線を学んだことのない一般市民に対し、放射線に関する知識を正確に伝えることがこれまで以上に大切な課題である。そこで今年度の活動については、われわれのこれまでの経験をいかして、放射線についての知識普及を地域社会に最も効果的に行うことにした。

限られた開催日数で、問題意識が特に高い人たちに対象を絞り、子供、小、中、高等学校の教員、一般人の中から積極的に知識を得たい人を公募し、密度の濃い放射線教育を行った。子供たちには専門家による講演とフィールドワークを、教員に対しては専門家とすでに放射線教育において指導的立場にある教員によるセミナー、一般市民には専門家による講義とパネルディスカッションを企画し、効果的な知識普及をめざした。

今回の放射線展は、限られた人数の方を対象に、密度の濃いものとなった。反省会におけるわれわれの評価では、社会情勢を考慮すると一定の成果が得られたと考えているが、例年のように多くの子供たちを集めて楽しいイベントとして実施できなかったことについては、残念な印象が残る。来年度以降どのように継続していくかについては、状況を見ながら考えざるをえない。本来の目的に沿った形で、多くの若者が正しい放射線の知識に触れることができるような放射線知識普及活動の地道な継続が望まれる。

長年にわたる本活動に、後援などの形でご支援、またご協力いただいた関係各機関の皆様、また関係団体、グループや個人として毎年ご協力いただいている皆様に感謝します。



図 パネルディスカッションの実施状況

参考文献

- 1) 大阪府立大学の放射線知識普及活動の現状、奥田修一、放射線 33 (2007) 270.
- 2) 社団法人大阪ニュークリアサイエンス協会：<http://homepage2.nifty.com/onsa/>
- 3) 大阪府立大学放射線研究センター：<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/index.html>

本研究に関する研究発表（原著論文、その他報文、学会等報告）

- 1) 第 28 回「みんなのくらしと放射線展」、奥田修一、JAPI Newsletter 2011. 12. 1、放射線照射利用促進協議会。

3. 平成 22 年度共同利用報告会プログラム

日時：平成 23 年 11 月 28 日（月）10:00-17:35

場所：大阪府立大学学術交流会館多目的ホール

参加費：無料

プログラム（下線講演者）

10:00-10:05 開会の挨拶

10:05-12:00 [一般講演] 座長：宮丸広幸（阪府大地域連携）

1. 加速器・放射線照射施設の現状
谷口良一、宮丸広幸、岡喬、小嶋崇夫、奥田修一（阪府大地域連携）
2. ガンマ線照射による多孔質材へのナノ微粒子の同時還元担持
岡本晃彦、永田光一郎、田口昇、岩瀬彰宏、堀史説（阪府大工）
3. ZrCuAl バルク金属ガラスの構造緩和過程における自由体積変化の合金組成依存性
石井顕人、峯野慎也、小野寺直利、岩瀬彰宏、横山嘉彦、今野豊彦、堀史説（阪府大工）
4. Zr60Cu30Al10 バルク金属ガラスの構造緩和過程における局所構造変化
峯野慎也、石井顕人、小野寺直利、岩瀬彰宏、横山嘉彦、堀史説（阪府大工）
5. イオンミリング法を用いた超伝導複合構造 d ドットの作製
川又修一、河村裕一（阪府大地域連携）
山下剛、石田武和、加藤勝（阪府大工） 四谷任（阪府大ナノ科学）
6. タイプ II 量子井戸構造を用いた高性能赤外センサーの開発
河村裕一（阪府大地域連携） 三浦広平、猪口康博（住友電工）
7. 福島第一原発事故以降に大阪府大で観測された放射性エアロゾルの放射能濃度変化
伊藤憲男（阪府大地域連携）
8. 浄水器における放射性ヨウ素の除去特性に関する研究
久保典亮、六代稔（㈱ウォーターエージェンシー） 森利明、古田雅一（阪府大地域連携）
9. 地域連携研究機構における放射線研究センターの発足と今後の活動
奥田修一（阪府大地域連携）

12:00-13:15 昼食休憩および放射線研究センター施設見学

13:15-14:45 [特別講演] 座長：谷口良一（阪府大地域連携）

10. 福島県川俣町における環境放射線調査
山西弘城（近畿大）
11. 福島県飯舘村を旅して思ったこと
八木孝司（阪府大理）

14:45-15:45 [一般講演] 座長：古田雅一（阪府大地域連携）

12. マウス神経幹細胞における選択的染色体分配機構の解析
堀口亮、白石一乗、児玉靖司（阪府大理）
13. 放射線適応応答時の骨髄細胞における遺伝子発現

- 岡島藤也、白石一乗、児玉靖司（阪府大理）
14. テロメア短縮したヒト染色体の染色体移入法による安定性解析
鈴木香那、白石一乗、児玉靖司（阪府大理）
15. 3-ニトロベンズアントロンおよびシスプラチン DNA 付加体が引き起こす
損傷乗り越え DNA 合成の突然変異解析
藤川芳宏、東垣由夏、川西優喜、八木孝司（阪府大理） 倉岡功（大阪大学）
高村岳樹（神奈川工大）
16. 長鎖 DNA の直接観察法を用いた放射線による DNA の二重鎖切断 に関する研究
森利明（阪府大地域連携） 吉川祐子（立命館大） 吉川研一（京都大）

15:45-16:00 休憩

16:00-17:30 [一般講演] 座長：小嶋崇夫（阪府大地域連携）

17. EDC 架橋を繰り返したコラーゲンの研究
清水公亮、森英樹、原正之（阪府大理）
18. コラーゲンの圧縮による力学的補強
石橋暢浩、森英樹、原正之（阪府大理）
19. ブタ毛より分離精製したケラチンの研究
尾崎由季、齊藤雄介、森英樹、原正之（阪府大理）
20. 放射線による食道がん細胞選択的な殺傷効果に関する研究
田中良晴（阪府大） 李強、三羽信比古（大阪物療大）
21. 殺菌を目的としたガンマ線照射に対する微生物の応答挙動
古田雅一、石川悦子、小池佳津子（阪府大地域連携）
藤井夏日、向原岳、阪井俊夫、中谷由衣（阪府大理）
22. シロイヌナズナ青色光受容体 phot1 の LOV2-キナーゼペプチドの変異導入解析
嘉祥寺谷幸子、岡島公司、徳富哲（阪府大理）
23. 放射状グリア頂端部たんぱく Ccdc85C は神経幹細胞維持に関与する
森展子（阪府大理） 田中夏樹、桑村充、山手丈至（阪府大生命）

17:30-17:35 閉会の挨拶 放射線研究センター長 奥田修一

（発表者下線、一般講演各 12 分、含質疑応答）

ポスター発表：学術交流会館サロン

24. 地域連携研究機構放射線研究センターの施設と活動
放射線研究センター教員
25. 環境計測科学研究室の研究紹介
谷口良一、宮丸広幸、伊藤憲男（阪府大地域連携）
26. 量子線材料科学研究室の研究紹介
奥田修一、松浦寛人、小嶋崇夫（阪府大地域連携）
27. 量子線化学生物学研究室の研究紹介
古田雅一、森利明、清田俊治（阪府大地域連携）
28. 量子ナノ科学研究室の研究紹介
河村裕一、川又修一、森本恵造（阪府大地域連携）

4. 特別講演

福島県川俣町における環境放射線調査など

近畿大学原子力研究所 山西弘城

1. 緒言

東京電力福島第1原子力発電所から大量の放射性物質が放出され、地面に降下した。降下量は、風向きや降雨状況によって分布を持つ形となった。政府は4月22日に、福島第1原発から20kmを超える距離にあって、2012年3月11日までの積算線量の推定値が20mSvを上回る区域を計画的避難区域とすることを決めた。このため、川俣町の一部である山木屋地区が当該区域に指定された。近畿大学原子力研究所は、川俣町と共同で、環境放射線の調査を行い、実態の把握と、対策の提言に資するデータの収集を始めた。具体的には、以下の3点を目的としている。(1) 風評被害の拡大抑止、(2) 農作物の安全な作付け再開に向けたデータ提供、(3) 放射線量の低減を効果的に進める方策の提言である。

復興に向けて、生活場所での線量率の低減が必要となる。線源である放射性セシウムが表土に存在していることから、線量率低減には表土除去が有効である。表土除去や土壌改良を行うにあたって、放射性セシウムの土壌への沈着・結合状況を把握することは、今後の土壌への吸脱着や再浮遊、地下水への移行を予測するのに必要な情報である。

2. 調査内容と結果

4月30日に調査を開始した。町内の6つの場所（農村広場、川俣南小学校、飯坂小学校、山木屋中学校*、山木屋小学校*、体験農園*）において、以下に記す3つの調査を行っている。*を付した場所は、計画的避難区域内にある。(1) 空間線量率の状況把握 GPS機能を付加したNaIサーベイメータを用いて、歩行サーベイした。校庭では線量率のばらつきが少ない一方、周辺の草地などで線量率が高い傾向が見られた。また、地面1m高さにNaI検出部をスタンドに固定して空間線量率を測定した。(2) 土壌試料、植物試料の採取 降下した放射性Csは、地表付近にあることは想像がついた。しかし、3月と4月の降雨によって、どの程度の深さまで移行しているかはわからないので、採取して確かめたかった。校庭の中央付近にあって線量率の均一性が確認された地点で、土壌を深さ毎（0~0.5cm, 0.5~1cm, 1~3.5cm, 3.5~6cm）に採取した。浅いところは30cm×30cmの広さについて、スコップにより採取した。深いところは土壌採取器で採取した。採取土壌を持ち帰り、試料に含まれる放射性物質の量を高純度ゲルマニウム半導体検出器で定量した。そ

の結果、どの土壌でも、地面から1cmまでの層に、降下した放射性物質の90%以上が存在することがわかった。（図1参照）(3) 表土の除去による空間線量率低減の確認 地表面から0.5cmまでの表土を半径5m除去することで、地上1mでの空間線量率は79%に低減された。この低減量は、放射線源の幾何学的配置から予想されるものと一致した。点線源であれば線量率は距離の逆2乗にしたがって減少するけれども、均一面線源の場合、距離の短い線源を除去しても距離の長い線源が大量に残存しているため線量率の半減すら難しい。

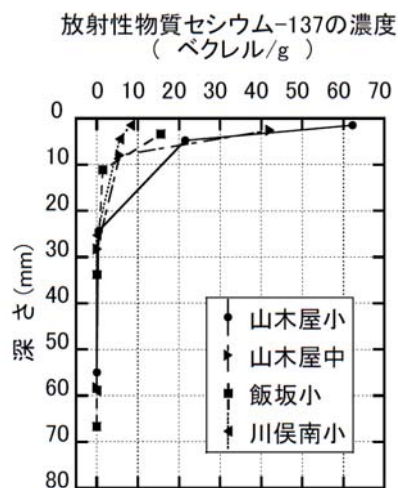


図1 土壌中の放射性Csの深さ分布

(注)農地での放射性Cs濃度は、地表から15cmまでの深さの濃度を示している。それに対して、このグラフでは薄い層の濃度を示しているので高めの値もある。

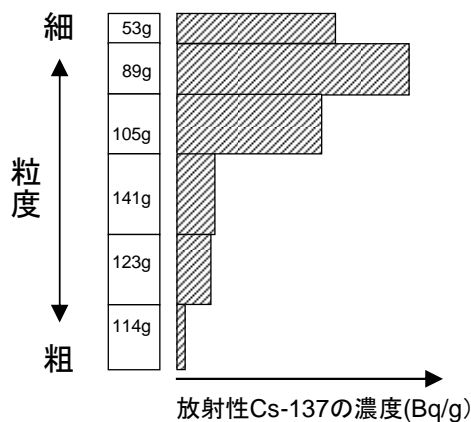


図2 土壌中の粒径別の放射性Cs量

さらに土壌の分析を行った。山木屋中学校校庭の地表から5mmまでの深さの土壌について、粒度

を6段階に分類した。それぞれの粒度ごとに放射性セシウムの量を測定によって得た。その結果、粒度の小さな土壌の方が濃度が高い傾向を示した。粒径1mm以下の土壌は試料全体の39%の重量であるが、放射性セシウムとしては全体の80%であった。(図2参照)これは、校庭の表土について行った結果であるけれども、降下した放射性セシウムの土壌粒子への沈着が表面積あたりで均一であり、比表面積が大きいと沈着量も多いと考えるなら、畑などの耕作地でも同様であると予想される。

また、土壌の水洗い等による脱着試験をおこなった。土壌と水を試験管に入れて攪拌した後1日間静置し、上澄み液を採取して遠心分離機にかけ、孔径0.2 μ mのろ紙でろ過した。ろ過後の水試料をゲルマニウム半導体検出器で測定した。その結果、土壌に付いた放射性Csは水によってははがれないことを確認した。降下した放射性Csが地下水に移行することが懸念されるけれども、現時点では土壌中の放射性Csは水に溶け出しにくい状態である。しかしながら、植物などによって放射性Csが溶出しやすい形に変わるかもしれないので、継続的な研究が必要である。また、NaI検出器による試料測定結果でI-131やCs-137が検出されるケースが出てくると予想されるけれども、天然放射性核種Rn-222由来のBi-214やPb-214が発するガンマ線を検出している可能性も高いので、その場合は、ゲルマニウム検出器で確認測定が必要である。

3. 川俣町の取り組みと近畿大学のサポート

3.1 線量の把握

3.1.1 空間線量率の継続的な測定

川俣町では、学校の校庭や公民館の前などの主だった場所で、1日1回サーベイメータを用いて空間線量率を測定し、測定結果を中央公民館に掲示し、ホームページにも掲載している。

3.1.2 ガラスバッジの配布

線量率の測定は、場の状況把握という点で重要である。そして、その人個人の受ける線量の把握も重要である。なぜなら、人の行動は、人それぞれなので、線量も人それぞれで異なる。個人線量を把握することで将来の健康不安に対処できるようになる。

近畿大学は、川俣町に対して放射線測定器を寄贈した。サーベイメータ4台、ポケット線量計50個、そしてガラスバッジである。ガラスバッジを、幼稚園園児と小中学校の生徒、そして教師の一部に対して配布し、3ヶ月間の測定を4回行う予定にしている。この測定主体は町の教育委員会であり、得られたデータは町のものである。近畿大学は町の依頼に基づいてデータの

分析をお手伝いしている。

3.2 プールの利用に向けた測定

夏、小中学校のプールの利用の可否について議論になった。プールの水に含まれている放射性Csを測定して、排水に問題ないことを確認した。これによって、プールの水は排水され、プールの利用ができるようになった。

3.3 空気中のダスト

5月、夏を前にして、学校の窓を開放するかどうか問題となっていた。屋外空気中に放射性物質が浮遊していてそれが教室に入ってくることを懸念する声があったためである。教育委員会では、窓の開閉によって線量率に変化がないことをサーベイメータを用いた測定で確認していた。これに加えて、近畿大学は、6月に川俣南小学校校庭において空気中のダストをサンプラーで採取し、ダストを捕集したろ紙をGMサーベイメータで測定した。空気中のダストには、放射性物質が含有されているけれども、計数の減衰の傾向から、天然の放射性物質ラドンの娘核種であることがわかった。この結果から、学校の窓を開放しても問題がないことを確認した。

4. 結言

復興に向けて、生活場所での線量率の低減が重要課題である。線源である放射性Csが表土に存在していることから、線量率低減には表土除去が有効である。表土除去や土壌改良を行うにあたって、放射性Csの土壌・植物への沈着・結合状況を把握することは、今後の土壌への吸脱着や再浮遊、地下水への移行を予測するのに必要な情報である。また、脱着方法を検討し、廃棄土壌の減容・固定化に向けた基礎データを取得していきたいと考えている。これからは除染が課題になる。山林からの表土流入も問題である。川俣町では一般環境に放射性Csがある状況なので、放射線管理で通常行われている(1)線源管理、(2)個人管理、(3)環境管理を行うことになる。放射線管理の考え方やノウハウが活用されて、放射線とうまく付き合っていく術を私たちは伝えていきたい。川俣町で日々闘っている方々の支えになり、少しでも力添えができるように、皆さんの熱い支援を期待している。避難された方々が帰宅して以前の生活を取り戻し、農業が復興するという、復興への道筋が1日でも早く見えるように、がんばっていききたい。がんばろう、福島！

この調査は、以下に示す組織で遂行している。伊藤哲夫、古川道郎¹、杉浦紳之[†]、山西弘城、堀口哲男、芳原新也、若林源一郎、稲垣昌代、小島 清、村田祥之(近畿大学、¹福島県川俣町町長、[†]現在 放射線医学総合研究所)

福島県飯舘村を旅して思ったこと

八木 孝司

大阪府立大学・理学系研究科・放射線研究センター

(本内容に関する連絡先：電話 072-254-9862 内線 4210、E-mail yagi-t@riast.osakafu-u.ac.jp)

私と原発事故

2011年3月11日に起きた東日本大震災による津波によって福島第一原子力発電所は全ての電源を喪失する事態となり、原子炉は自動停止したものの冷却が不能となった。過熱した燃料棒表面の金属ジルコニウムと水が反応して発生した水素が爆発し、また、圧力が増大した原子炉格納容器の爆発を避けるための排気によって放射性の核反応生成物が大気中に放出された。折しも3月15日より風向きが北西方向へと変わり、風下の福島県浪江町、葛尾村、飯舘村、川俣町、伊達市、福島市などが降雪と共に放射性物質によって汚染された。さらに放射性物質は風に乗って南方向に拡散し、群馬県、神奈川県付近までの広い地域が汚染された。

4月22日、政府は原発より半径3km圏内を一時帰宅禁止区域、20km圏内を警戒区域、30km圏内を緊急時避難準備区域、さらに20km圏外の浪江町・飯舘村・葛尾村の全部と南相馬市・川俣町の一部を計画的避難区域に設定した(緊急時避難準備区域は9月30日解除)。計画的避難区域とは、事故発生から1年の期間内に積算線量が20ミリシーベルトに達するおそれのある区域である。

私は大学院生時代より放射線生物学を学び、前任の大学では放射線遺伝学講座の准教授を務め、放射線生物学の授業を10年以上行ってきた。また日本放射線影響学会の会員歴は30年を超え、評議員、幹事、会計監査役等の役員を務めてきた。第一種放射線取扱主任者免状も有している。しかし放射線作業従事者として放射線との長い付き合いの中で、身につけた線量計(ガラスバッジ、以前はフィルムバッジと言った)に数値が現れるような被曝はしたことがなか

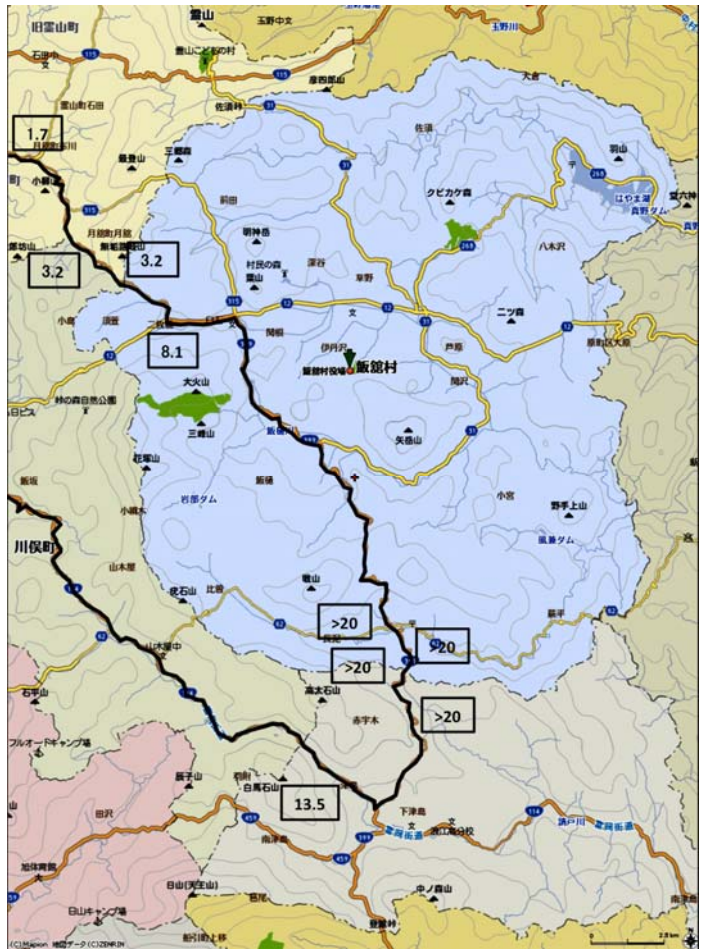


図1. 福島県飯舘村

濃い線は通行した国道399号線と114号線、四角で囲った数値は地上約30cmでの空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)を示す。中央下向き矢印は飯舘村役場を示す。

った。まして外国に比べ放射線管理の厳しい日本において、多数の一般人が放射線被曝事故に会うことなどあり得ないと思っていた。

津波後の原発の状況については毎日固唾をのんでテレビを見ていたが、状況が好転せず各地の放射線空間線量率が上がっていく状況にはいてもたってもいられず、かといって私個人がどういう行動をとればいいのかわからずにただ日数が経っていった。放射線生物学に身をおいた者として、被災者に対していまだに何の役にも立っていない自分を情けなく思っている。原発事故以来多くの「専門家」がマスコミで

勝手なコメントを言い、それを聞いた一般の人々は混乱を極めてきた。専門家集団であるはずの日本放射線影響学会や日本保健物理学会に属する研究者の言うことは、「御用学者」の言うこととしてほとんど信じてもらえず、それどころか一般人からバッシングを受け、長年の放射線生物学研究の蓄積を知らない学者が述べる「感覚的意見」が専門家のコメントとしてマスコミで取り上げ続けられている。この状況はなんと由々しきことだろうか。

飯舘村に行ってみて

著者と本学の児玉靖司教授は、5月頃より放射線影響の専門家として一般市民、小中高校の教職員、時として他分野の研究者の集まりで、原発事故放射線の人体影響について解説を依頼されることが多くなった。しかし著者は専門家と扱われながらも汚染地域に入ったことがなかったので、新幹線復旧後の7月1日、福島市から計画的避難区域となった飯舘村、浪江町、川俣町を線量測定しながら視察した。

大阪府立大学がある大阪府堺市の空間線量率は事故の前も今も毎時約 0.07 マイクロシーベルトである。福島駅を降りると、コンクリートの地表より約 30cm 上で毎時 1 マイクロシーベルトを越えていた。植栽された花壇の上では毎時 2.5 マイクロシーベルトであった。レンタカーで伊達市月舘から国道 399 号線に入り飯舘村を北から南へ縦断し、浪江町津島から国道 114 号線に入り川俣町を北西へ縦断して福島駅へ戻った（図 1）。いずれも地表から約 30cm の高さで、伊達市月舘町茂林寺前で毎時 1.7 マイクロシーベルト、伊達市・飯舘村境界の峠で 3.2、飯舘村二枚橋で 8.1、飯舘村長泥で 19.5、長泥の比曾川橋付近でポケット線量計（アロカ社 PDR-101）の測定上限値毎時 20 マイクロシーベルトを越えた。飯舘村・浪江町境界の峠でも毎時 20 マイクロシーベルトを超え、地上約 150cm の高さで毎時 19.2 マイクロシーベルトであった。国道 399 号線で浪江町へ入ると赤



写真 1. 国道 399 号線飯舘村・浪江町境界

私の頭の高さで約 19 $\mu\text{Sv/h}$ の空間線量率を示した。ここから計画的避難区域の中で最も空間線量率の高い浪江町赤宇木地区となる。

宇木地区であり（写真 1）、文科省から毎日発表されるモニタリング情報において 20km 圏外で最高値を示している地域である。浪江町赤字木手七郎で 18.4、浪江町津島で 10.6、ここから国道 114 号線を川俣町、福島市へと進むにつれて、空間線量率は下がっていった。飯舘村長泥の比曾川橋脇の土のガンマ線スペクトルを図 2 に示す（本学谷口良一教授測定）。土の放射能は全てセシウム 134 と 137 に由来することがわかった。飯舘村は阿武隈高地の小さな峠をいくつも有し、落葉広葉樹林と田園風景が美しい村であった。7 月 1 日にはまだ計画的避難が完了しておらず、数台の村民の車や警察のパトカーとすれ違った。だが人工の音がなく風の音だけが聞こえる無人地区で昼食のおにぎりを食べていると、先祖から累々とした営みがあったはずの村人の悲しみが身にしみた。

原発事故放射線の人体影響

「国際放射線防護委員会（ICRP）」は、放射線の専門家の立場から放射線防護に

関する勧告を行う民間の非営利国際学術組織である。ICRP は「原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）」が世界から集めた放射線影響に関する論文や資料をまとめた報告書を基に、放射線防護に関する勧告を出し、それが日本を含む世界各国の放射線障害防止に関する法令の基礎にされている。2007 年の勧告では、1 年間の被曝限度となる放射線量を平常時は 1 ミリシーベルト未満、緊急時には 20～100 ミリシーベルト、緊急事故後の復旧時は 1～20 ミリシーベルトと定めている。計画的避難区域（年間 20 ミリシーベルトを越える地域）はこれに基づいて設定されたのである。またその勧告では、広島・長崎の原子爆弾被爆者の調査から、放射線被曝による癌死亡率は 100 ミリシーベルトを越えると増加し、線量に比例して直線的に増加すると考えている。100 ミリシーベルト以下の被曝線量では有意な癌死亡率の増加は見られないが、安全側に立った観点からわずかな線量の被曝であっても癌死亡率は増加すると考えている。勧告では 1 シーベルト当たりの癌死亡の過剰相対リスクは 0.5 である（図 3）。つまり 1 シーベルト被曝すると癌死亡率は

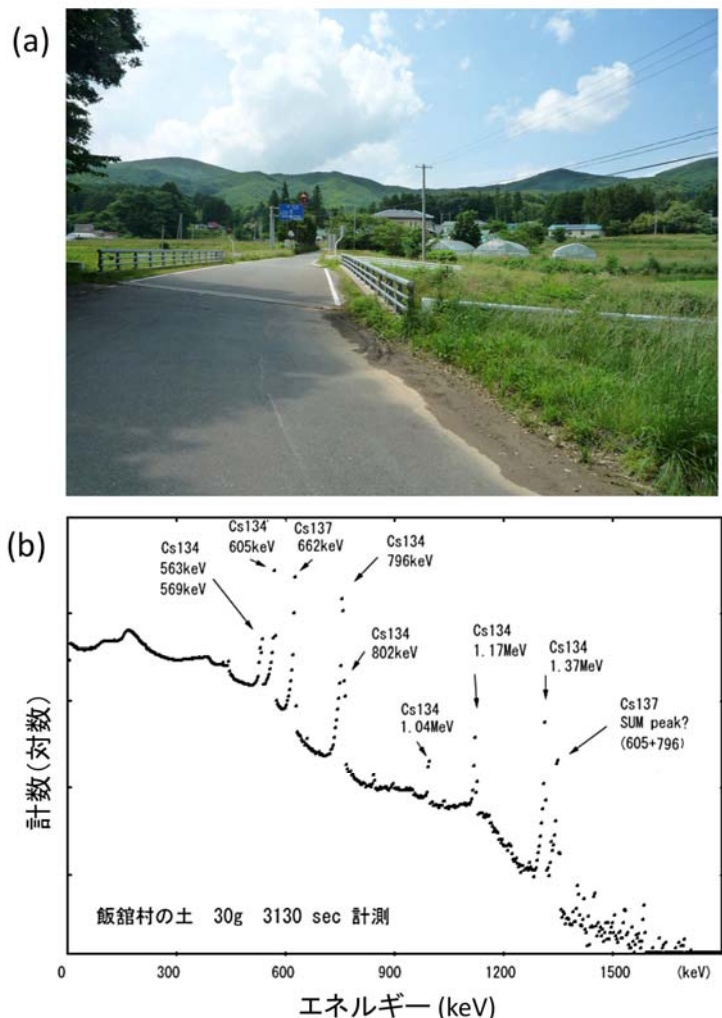


図 2. 飯舘村長泥地区 (a) と、その土壌のガンマ線スペクトル (b)

写真中央の比曾川橋手前の道脇の土 30 グラムをゲルマニウム半導体検出器でガンマ線スペクトルを測定した。Cs-137、Cs-134 の濃度がそれぞれ 479.5 ± 0.6 Bq/g、 416.7 ± 0.7 Bq/g と求められた。

50%増加する。よって100ミリシーベルト被曝すると5%増加すると計算できる。国立がん研究センターによれば、福島県民の癌死亡率(75歳未満年齢調整)は全国平均よりずっと低く、5%増加しても全国平均を少し上回る程度である(図4)。一方大阪府の癌死亡率は全国第2位であり、放射線を被曝しなくても癌で亡くなる人の割合は全国平均よりずっと多い。癌の原因は多様であり、100ミリシーベルト被曝による癌死亡率5%の増加は食事や環境など他の発癌原因による癌死亡率の変化の中に隠れてしまうほど小さいのである。12月13日の福島県の発表(福島県立医大と放射線医学総合研究所の調査)によれば、計画的避難区域に指定された飯舘村、浪江町、川俣町の住民1589人の事故後4ヶ月間の行動記録を基に被曝線量を推計した結果、半数以上が1ミリシーベルト未満、10ミリシーベルトを超えたのは4人で最高が14.5ミリシーベルトだった。この結果は今回の原発事故の被曝によって住民の癌死亡率は増加しないことを予測させる。この数値は私のような放射線作業従事者が法律で許容されている年間被曝線量の限度50ミリシーベルト以下である。まずは安心といえるが、今後できる限り被曝線量を増やさないことが重要である。

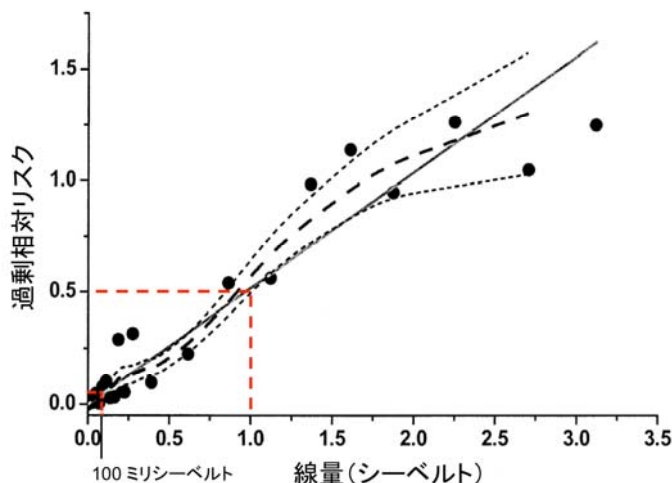


図3. 放射線被曝によるがん死亡の過剰相対リスク
1シーベルトの被曝によって癌(全種類)になって死亡する確率が0.5(50%)増える。比例計算すると0.1シーベルト(100ミリシーベルト)の被曝ではがんによる死亡が5%増えることになる。(UNSCEAR2006報告書より)

た飯舘村、浪江町、川俣町の住民1589人の事故後4ヶ月間の行動記録を基に被曝線量を推計した結果、半数以上が1ミリシーベルト未満、10ミリシーベルトを超えたのは4人で最高が14.5ミリシーベルトだった。この結果は今回の原発事故の被曝によって住民の癌死亡率は増加しないことを予測させる。この数値は私のような放射線作業従事者が法律で許容されている年間被曝線量の限度50ミリシーベルト以下である。まずは安心といえるが、今後できる限り被曝線量を増やさないことが重要である。

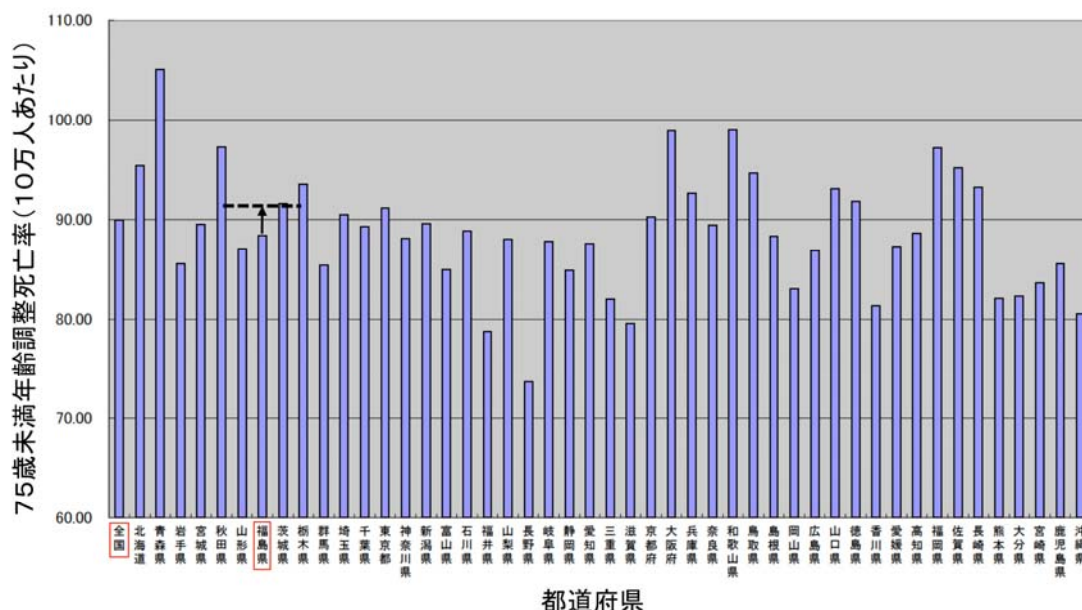


図4. 全がんの都道府県別75歳未満年齢調整死亡率(2009年)(国立がん研究センター統計部資料より)
上向き矢印は福島県の癌死亡率が5%上昇したときの値を示す。

私たちにできること

福島放射性物質汚染地域の人々に必要なことはなんだろうか。まずはすみやかに大地の除染を行い、避難している人々が戻り住み続けられる空間線量率に下げることである。除染で出た土砂の置き場を確保し放射線を遮蔽する施設が必要である。これには広大な施設が必要であるが、島国である日本は海上に確保することが可能と考えられる。除染が遅れる分、福島の人々の被曝線量は増え続ける。第2は住民の精神的ケアである。チェルノブイリ事故の教訓としてWHOが指摘したように、被曝したことによる健康不安、住み慣れた家・土地・学校・職場などを離れたことによる適応障害などのストレスが健康に与える影響は大きい。第3は被曝地域住民の継続した健康調査である。これまでの汚染調査および外部・内部被曝線量調査の結果を見る限り、放射線による健康影響は全体としてほとんど生じないと考えられる。しかし被曝線量は個人ごとに異なり、放射線感受性も個人によって異なるから、個々の推定被曝線量と健康状態を調べ、全体の平均から突出した人を見つけてフォローしていく必要があるだろう。

表1. 食事の全てに暫定規制値上限のCs-137が含まれている場合の年間被曝量（実効線量）*

	男性		女性	
	第1群 (乳・乳製品)	第2～第4群 (その他全て)	第1群 (乳・乳製品)	第2～第4群 (その他全て)
1人1日あたりの食事重量 (Kg) 身体活動レベル2 (ふつう) (15～17歳)**	0.40	1.38	0.33	1.23
Cs-137 暫定規制値 (Bq/Kg)	200	500	200	500
1日被曝量 (mSv)	0.00104	0.00897	0.000858	0.00800
年間被曝量 (mSV)	0.37	3.27	0.31	2.92
合計年間被曝量 (mSv)	3.64		3.23	
暫定規制値のCs-137を含む食事から生涯規制値(案)100 mSvを被曝するのに必要な期間(年)	27.5		31.0	

*Cs-137 実効線量係数(経口) = 1.3×10^{-5} mSv/Bq

**646食品成分表(食品成分表編集委員会編)より

大阪をはじめ原発事故被災地外の住民が福島のためにできることは何だろうか。まずは復興の妨げになっている最大原因の1つ、ガレキの受け入れ・処理である。ガレキ処理従事者の被曝線量を法律に基づいて(一般人の被曝線量限度年間1ミリシーベルト)管理することは難しくない。ガレキ燃焼によって発生するガス中の放射性物質はフィルターに吸着され、一般人が被曝することはないであろう。第2は福島産の農産物を消費することである。紙面の都合上、内部被曝にはふれなかったが、現在の食品の暫定規制値の上限量の放射性セシウム(表1、4行目)が毎日の食事に含まれていても、1年間に被曝する線量は男性で3.6ミリシーベルト、女性で3.2ミリシーベルトと計算できる。内閣府食品安全委員会が10月27日に答申した、食品からの被曝線量の恒常的な規制

値（案）は放射性物質の総計（天然のものは除く）で生涯 100 ミリシーベルトであるから、100 ミリシーベルトに達するのは男性で 28 年、女性で 31 年かかることになる（表 1、8 行目）。実際の市場に出回っている食品に含まれる放射性セシウムはずっと少ないので、これによって癌が増加することは考えられない。なぜなら食物にはベータ線とガンマ線を出す天然の放射性物質カリウム 40 がもともと含まれていて、食物から被曝する量は 1 人 1 年間に 0.4 ミリシーベルトにも達する。地球に生命が誕生して以来、私たちはカリウム 40 を摂りながら命の営みを続け、ここまで進化してきたのだから。

この夏、福島産のサクランボや桃は大変甘く値段も安かった。私はスーパーで福島県産の果物が並んでいると必ず買って帰って食べた。福島産の米が販売されているのは見たことがないが、ぜひ手に入れて食べたいと思う。私は決して放射線の被曝を容認しているのではない。しかしこのように国土が放射性セシウムで汚染されてしまった以上は、科学的にものごとを考え行動することが福島の人々を救い、いち早く日本の復興につながると私は確信する。私は日本人の良識を信じる。

(2011 年 12 月 15 日)

5.

大阪府立大学 21 世紀科学研究所 「量子ビーム誘起反応科学研究所」活動報告

大阪府立大学地域連携研究機構 奥田修一*

(*本報告に関する連絡先：電話（内線）4227、メール okuda@riast.osakafu-u.ac.jp)

大阪府立大学 21 世紀科学研究所「量子ビーム誘起反応科学研究所」の活動目的は、量子ビーム誘起反応を、量子ビームと物質との相互作用の基礎からとらえてその反応過程を解析し、複雑な生体における反応の解明にまで結び付けることである。平成 23 年 4 月、大学組織の改編により、研究所員の所属が変わった。22 年度の活動のうち新たに行ったものを中心に報告する。

1. 研究活動

- (1) 量子ビームに関する所内研究活動、学外との共同研究活動
- (2) 主な外部資金:高エネルギー加速器研究機構・大学等連携支援事業、科学研究費補助金
- (3) 国立江原大学校（韓国）との交流

2. 学会等発表（下記にまとめられている）

- 1) 大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センター平成 22 年度共同利用報告書.
- 2) 量子ビームの開発研究と誘起される反応の研究（第 4 章），“大阪府立大学における分野横断型研究の展開 -21 世紀科学研究所の挑戦-”、大阪府立大学 21 世紀科学研究所機構編、大阪公立大学共同出版会 2010 年（2010. ISBN978-4-901409-72-8 C3000）.

3. その他の活動

- (1) 大阪府立大学地域連携研究機構・放射線研究センター平成 22 年度共同利用報告会開催（2011. 11. 28、放射線研究センターとの共催）
- (2) 広報活動：研究所季刊誌 RIQBS No.5 の準備
- (3) 放射線研究センター活動への参画：将来計画への提言と加速器の整備

4. 研究活動とその成果の公表

http://chokai.riast.osakafu-u.ac.jp/~housya3/contents/riqbs_syokai.html

研究員

地域連携研究機構放射線研究センター 教授・奥田修一（研究所長） 教授・谷口良一

教授・古田雅一 助教・小嶋崇夫

大学院理学系研究科生物科学専攻 教授・児玉靖司 教授・原正之 助教・白石一乗

大学院工学研究科物質・化学系専攻 教授・岩瀬彰宏 准教授・堀史説

研究所連絡先

地域連携研究機構放射線研究センター 量子線材料科学研究室 奥田修一

電話番号：072-252-1161（代表） E-mail：okuda@riast.osakafu-u.ac.jp

6. 公立大学法人大阪府立大学

地域連携研究機構・放射線研究センターにおける施設の利用

放射線研究センターには、コバルト 60 ガンマ線源と 18 メガ電子ボルトの高エネルギー電子線加速器を主な放射線源とする日本有数の放射線照射施設があります。これらは非密封放射性同位元素の取扱い施設とともに、学内外や民間にも利用されています。またクリーンルーム施設もあり、学内外や企業との共同研究に利用されています。

1. コバルト 60 ガンマ線照射施設

ガンマ線源は、材料の改質、耐放射線性試験、滅菌や生物への照射などが行われています。また、固体表面活性による反応促進、人工衛星搭載機器の照射効果などは、新しい研究として注目されています。主な照射設備を 1.1 で紹介しています。超高線量率照射から低線量率照射、大気中照射から水中照射まで、多様な照射条件に対応可能な、西日本最大の照射施設を有しています。

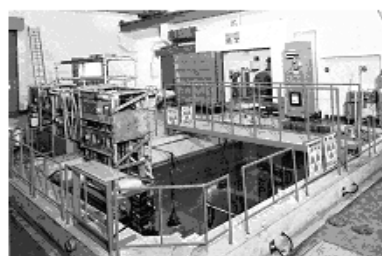


図1 コバルト 60 ガンマ線源の水プール

1.1 主な照射設備

	線源強度	線量率	用途
第1照射室	1 PBq	1~100Gy/h	大線量精密照射
第2照射室	500TBq	10~1kGy/h	大線量精密照射
第3照射室	3TBq	0.05~5Gy/h	小線量、非破壊検査
第4照射室	5PBq	50~10kGy/h	大線量照射
照射プール	5PBq	1k~10kGy/h	大線量水中照射

1.2 コバルト線源の主な照射対象

- ・生物分野 植物の突然変異種発現
微生物の特性改良
医療器具・動物飼料等の滅菌
- ・化学分野 放射線分解と有用生成物の生成
架橋反応の利用による電線被覆材の開発
楽器の弦の改良

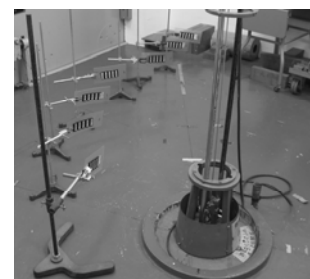


図2 コバルト 60 照射風景
(線量計の較正)

- ・ 工学分野 トランジスタ・IC などの電子部品・機器の照射試験
原子力発電所で使用する電子機器、光学部品、ケーブルの試験
人工衛星に搭載する電子機器の照射試験
- ・ 物理分野 放射線検出器の較正、線量計の特性試験
ガラス・真珠・宝石等の着色
超微粒子の生成

2. 高エネルギー電子線照射装置（ライナック）

電子線加速器では、線量率が極めて高いことを利用した金属材料の照射効果の研究、放射線がパルス状に出力されることを利用した、物質の過渡的变化を調べる研究、超微弱ビームの発生と利用、新しいラジオグラフィ法の開発研究などが行われています。

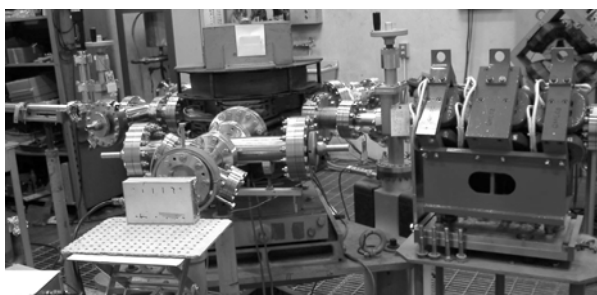


図 3 電子線形加速器（OPU ライナック）

2.1 主な照射設備

	粒子束密度	用途
地下照射室	～ $10^{13}e/cm^2/sec$	水平照射、大面積照射
第 2 照射室	～ $10^{12}e/cm^2/sec$	精密照射
第 3 照射室	～ $10^{14}e/cm^2/sec$	大線量照射、分析

2.2 ライナックの主な照射対象

- ・ 生物分野 医療器具等の滅菌
微弱電子線の生物影響
- ・ 化学分野 放射線照射による光吸収過渡現象の研究（パルスラジオリシス）
架橋反応の利用によるタイヤ、被覆材等の開発
府大 COE 研究における水反応場解析
液体窒素の照射効果の観測
- ・ 工学分野 耐放射線性の高い金属、合金の大線量照射
人工衛星に搭載する機器の耐久性加速試験
超微量のウラン検出法の開発

- ・物理分野
 - 放射線検出器の較正
 - 電子線による材料中への欠陥導入と、それを利用した分析
 - 貴金属ナノ微粒子の生成
 - 加速器の高性能化、超微弱電子線の開発
 - 加速器を利用した高輝度サブミリ、ミリ波光源の開発と利用

3. 低エネルギー電子線照射装置（コッククロフト・ウオルトン型加速器）

エネルギー：60～600 keV

用途：表面照射、表面処理

照射対象例：人工衛星部品の照射

物質の表面改質（硬化、濡れ性の変化）



図4 低エネルギー電子線照射装置

4. 非密封放射線施設および、その他の照射装置

非密封放射性同位元素は、トレーサーとしての利用を中心に、化学、農学、生命科学、医学の研究において、種々の特徴ある施設として広く利用されています。



図5 非密封放射線施設

- 用途：
- 放射性同位元素によるトレーサー実験
 - 材料の陽電子利用分析
 - 放射性同位元素による年代測定
 - 環境汚染物質の元素分析
 - 環境放射線の測定



図6 トレーサー実験に用いられる RI 標識化合物

その他の照射設備：

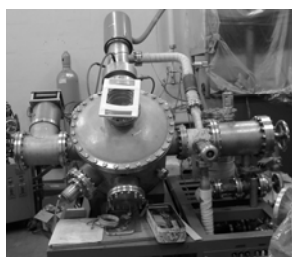


図7 低エネルギー電子線照射装置（100keV）



図8 X線照射装置



図9 X線非破壊検査装置



図10 γ 線非破壊検査装置

5. クリーンルーム施設

本学のクリーンルームは全国でも有数のレベルと規模を持っています。クリーンルームはクラス 1000, クラス 100, クラス 10 の3つに分かれており、室内の清浄度を保つため、垂直層流方式（ダウンフロー方式）を採用しています。クリーンルームは空調設備のある天井、全面アルミダイキャスト製グレーティングの作業室、各種ガスや超純水の配管のある床の3層構造となっています。またクリーンルーム内では超純水や、各種の高純度ガスが使用出来るようになっていきます。クリーンルーム内には先端材料や先端デバイスを作製するための最新の装置が設置されており、学内のみならず企業など外部との共同研究が活発に行われています。なお、利用については、放射線研究センターHPの共同利用施設案内をご覧ください。

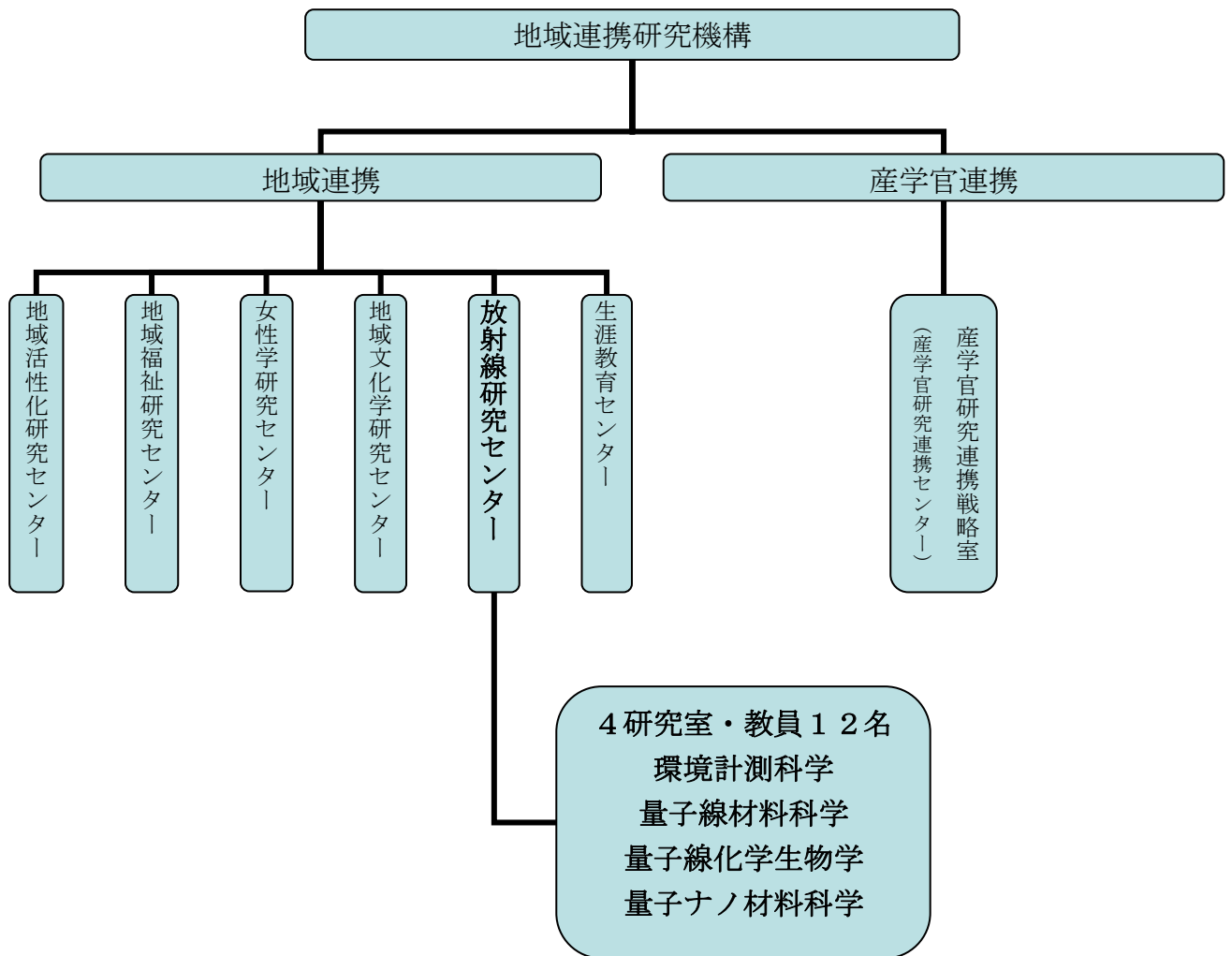
<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/facility/index.html#clean>



図11 クリーンルーム室内図

6. 放射線研究センター組織

1959年に発足した大阪府立放射線中央研究所に設置され、整備された放射線設備は、1990年に大阪府立大学附属研究所（後の先端科学研究所）に引き継がれ、2005年における大阪府立大学の法人化にともない、産学官連携機構・放射線研究センターに引き継がれ、さらに2011年における大学の機構改革で地域連携研究機構・放射線研究センターに引き継がれました。



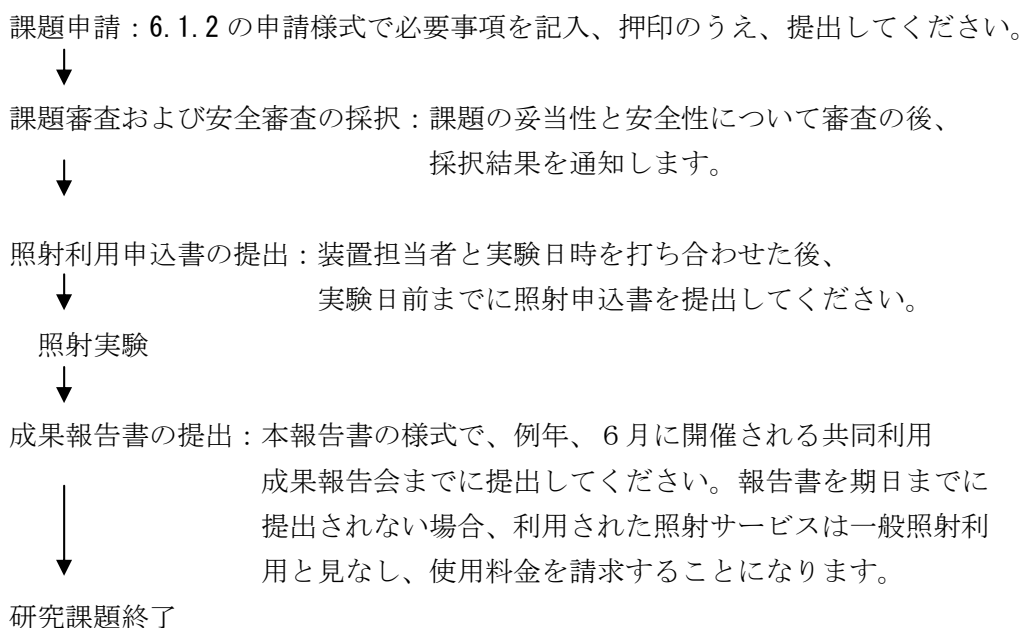
7. 放射線照射施設利用のてびき

放射線センターでは、保有する研究施設を広く一般のユーザーに開放しています。また、府立大学の学内共同利用施設としても利用可能ですが、この場合は研究課題の事前審査と研究成果の公開が必要となります。一般の照射申し込みは随時、学内共同利用の課題申請は年2回受け付けています。いずれの利用の場合でも安全に関する審査は不可欠です。

7.1 学内共同利用の手続き

添付の申請用紙に、必要事項を記入、押印のうえ、下記に送ってください。課題の募集は6月と12月の年2回行います。申請課題の有効期限は、6月申請が1年、12月申請が半年とし、複数年にわたる研究課題は、継続課題として再度申請してください。

7.1.1 学内共同利用の手続きの流れ



注 1) 放射線装置を用いた実験を行う場合、実験者の作業を要しない単純照射をのぞいて、実験者の放射線業務従事者登録が必要となります。この手続きには、放射線障害防止法にもとづいた放射線業務従事者講習会への参加が義務付けられています。講習会は年に2回、当センターで開催されています。実験を予定されている方は、早めに受講されることをお勧めします。

注 2) 共同利用研究課題申請書、放射線施設利用申込書等の書式は、ホームページからダウンロードが可能です。

URL: <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/facility/co60.html>

7.1.2

放射線施設利用研究課題申請書（学内共同利用）

放射線研究センター長 殿

下記の通り申請します

平成 年 月 日 申請者 所属 _____ 氏名 _____ ⑩

1. 提案課題の種類（該当する項目に○印）

新規 継続 緊急 継続の場合は前課題名を記入

2. 実験責任者

氏名 _____ 所属 _____ 内線番号 _____

3. 実験課題名

--

4. 共同研究者（所属機関、部局、身分）

--

5. 使用希望装置（該当する項目に○印）

(a) ライナック (b) コバルト 60 (c) コッククロフト (d) その他

6. 使用希望条件

使用日数： _____ 占有照射室： _____

利用条件： _____

7. 実験概要（含、従来 of 成果、期待される成果）

8. 備考

9. 放射線研究センター内 連絡者

氏名 _____ 内線番号 _____

7.2 一般照射利用の手続きと使用料金

地域連携研究機構放射線研究センターでは、保有する放射線施設を広く一般のユーザーに開放しています。一般の照射申し込みは随時受け付けています。この場合、施設の維持に要する費用の一部を負担していただくことになります。(6.2.2 の料金表を参照してください。) また、装置と実験者の安全に関する審査は不可欠ですから、実験の内容を照射申込書に記入していただく必要があります。

7.2.1 一般照射利用の手続き

照射利用申込書の提出：装置担当者の実験日時を打ち合わせの後、実験日前までに照射申込書を提出してください。実験日までに安全性について審査を行っています。

↓

照射利用

↓

照射終了：照射時間が確定した後、これに相当する照射料金が府立大学から請求されます。

7.2.2 照射手数料

区 分		金額／1照射条件につき	
放射性同位元素による場合	照射プール内での照射	17,000円+2,400円×V×Th	
	照射室での照射	被照射物の占有容積が10リットル未満	9,500円+4,800円×Th
		被照射物の占有容積が10リットル以上 50リットル未満	9,500円+9,500円×Th
		被照射物の占有容積が50リットル以上	19,000円+19,000円×Th
	照射室占用による照射	19,000円+19,000円×TH	
生装置に放射線発射による場合	ライナックによる場合	34,400円+1,000円×Tm	
	コッククロフト・ウォルトンによる場合	28,800円+500円×Tm	
	X線照射装置による場合	8,800円+300円×Tm	
照射証明書の交付		1通につき 1,500円	

備考

- 「V」は、被照射物の占有容積を表し、その単位は1リットルとする。
- 「Th」は、照射時間を表し、その単位は1時間とする。
- 「TH」は、照射室占用時間を表し、その単位は1時間とする。
- 「Tm」は、照射時間を表し、その単位は1分間とする。
- 占有容積等の計算については、1リットルに満たない端数は1リットル、1時間に満たない端数は1時間、1分間に満たない端数は1分間とする。
- 照射プール内での照射を行う場合で被照射物をバスケット内に入れるときの被照射物の占有容積は、7リットルまでとする。

8. 連絡先

大阪府立大学 地域連携研究機構
放射線研究センター

〒599-8570

大阪府堺市中区学園町1-2

Tel: (072) 252-1161 (代)

Fax: (072) 254-9938

<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp>



- ◆南海高野線「白鷺駅」下車、徒歩15分
- ◆南海本線「堺駅」またはJR阪和線「三国ヶ丘駅」から南海バス31・32系統（国道310号経由の「福町」、「北野田駅前」行）「府大研究所前」下車
- ◆地下鉄御堂筋線「なかもず駅」下車、5番出口 徒歩20分