

平成 27 年度
共用施設(PASTA&SPICE、NASBEE、X/ γ 線照射装置)
成果報告会 報告書

**2015 Annual Report of the Research Project
with NIRS Electrostatic Accelerators**

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所

平成27年度共用施設（PASTA&SPICE、NASBEE、X/γ線照射装置）成果報告会

プログラム（案）

平成28年3月10日（木） 放射線医学総合研究所 研修棟3階 講義室3 13：30～17：45

（口頭発表は12分、質疑応答3分）

セッション	時間	発表番号	課題番号	演題	発表者
開会の挨拶	13:30 ~ 13:40	放射線医学総合研究所 黒木 慎一 理事			
セッション1 PIXE 座長：及川将一	13:40 ~ 13:55	O-01	2015-003	口腔粘膜および顎骨中の微量元素元素の分布と病態の関連に関する研究	○宇尾 基弘 東京医科歯科大・先端材料
	13:55 ~ 14:10	O-02	P13-KS01	大気エアロゾルのPIXE法による超微量多元素同時分析法の定量化に関する研究（大都市のシンボルエリアにおけるイチョウ葉に付着した大気粒子の特徴）	○齊藤勝美 ^a 及川将一 ^b 酢屋徳啓 ^b 石川剛弘 ^b 磯 浩之 ^b a: 富士通クオリティ・ラボ・環境センター(株) b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
	14:10 ~ 14:25	O-03	P15-ST01	マイクロPIXEによる組織中ウランおよび生体微量元素の局在解析	○武田志乃 ^{a1} 沼子千弥 ^b 石川剛弘 ^{a2} 及川将一 ^{a2} 島田義也 ^{a1} a1:放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター a2:放射線医学総合研究所 研究基盤センター b:千葉大学 理学研究科
	14:25 ~ 14:40	O-04	P15-CN01	マイクロPIXEによる生物組織中重金属元素濃集部の元素プロファイル解析-生体ウラン濃集の機序に関する研究（海洋生物硬組織中への特定濃集に関する研究）	○沼子千弥 ^a 武田志乃 ^b 及川将一 ^b a:千葉大学 理学研究科 b:放射線医学総合研究所 研究基盤センター
	14:40 ~ 14:50	（コーヒーブレイク）			
セッション2 NASBEE 座長：武田志乃	14:50 ~ 15:05	O-05	2015-007	中性子線照射量が植物に与える影響評価	○佐々木伸大 西原昌宏 (公財)岩手生物工学研究センター
	15:05 ~ 15:20	O-06	15SP0009	中性子被ばくによる発がん影響とその防護効果の検討	○鶴岡千鶴 品川まゆみ 尚 奕 甘崎佳子 島田義也 柿沼志津子 放射線医学総合研究所 放射線防護センター
	15:20 ~ 15:35	O-07	2014-009	中性子線照射による細胞内酸化ストレス変化（SK-N-SH細胞におけるNASBEE中性子照射による活性酸素発現）	○馬嶋秀行 ^a 犬童寛子 ^a 末永重明 ^a 島田義也 ^{b1} 濱野毅 ^{b2} 中西郁夫 ^{b1} 松本謙一郎 ^{b2} a:鹿児島大学 医歯学総合研究科 b1:放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター b2:放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター
	15:35 ~ 16:35	ポスターセッション（コーヒーブレイク）			
セッション3 PIXE、SPICE 座長：長谷川純崇	16:35 ~ 16:50	O-08	P13-TS01	マイクロPIXE分析用標準試料に関する技術開発 -マイクロPIXE分析法の先進応用技術化-	○岩田吉弘 ^a 佐藤隆博 ^b 及川将一 ^c a:秋田大学 b:JAEA高崎量子応用研究所 c:放射線医学総合研究所 研究基盤センター
	16:50 ~ 17:05	O-09	P15-R&D01	PIXE分析装置における高度化技術開発（R&D）	○及川将一 ^a 酢屋徳啓 ^a 石川剛弘 ^a 小西輝昭 ^a 磯浩之 ^b 樋口有 ^b 松田拓也 ^b a:放射線医学総合研究所 研究基盤センター b:(株)ネオス・テック
	17:05 ~ 17:20	O-10	S15-R&D01	マイクロビーム細胞照射装置SPICEの高度化に関する開発研究（R&D）	○小西輝昭 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
	17:20 ~ 17:35	O-11	S14-TK01	ヒト正常及びヒトがん細胞間における放射線誘発バイスタンダー細胞応答の解析	○小西輝昭 小林垂利紗 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
閉会の挨拶	17:35 ~ 17:45	静電加速器施設課題採択部会 神谷 富裕 部会長			

注：研究課題名と演題が異なる場合は、両方並記のうえ演題を（）内に記載しています。

平成27年度共用施設（PASTA&SPICE、NASBEE、X/γ線照射装置）成果報告会

ポスターセッション(案) 15:35 ~ 16:35 研修棟 3階 講義室3

ポスター頁1

	課題番号	演題	発表者
P-01	2015-004	マイクロPIXEを用いた熱帯樹木葉組織内のリン分布の解明	○辻井 悠希 ^a 北山 兼弘 ^a 及川 将一 ^b a: 京都大学農学研究科 b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-02	P13-SH01	PIXE分析による定量的細胞内元素分布測定のための基板研究 (RI内用療法高度化のための細胞内元素分析PIXE解析)	○長谷川純崇 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター
P-03	P15-MC01	マイクロPIXEによる頭髮等サンプルの局在量解析	○千葉百子 ^a 武田志乃 ^{b1} 松川岳久 ^a 及川将一 ^{b2} 石川剛弘 ^{b2} 篠原厚子 ^{ac} 横山和仁 ^a a: 順天堂大学 医学部 衛生学教室 b1: 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター b2: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター c: 清泉女子大学
P-04	P13-TY01	PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 ① (微細藻類における微量元素の分布検索)	○青野由奈 ^a 吉富友恭 ^a 及川将一 ^b 酢屋徳啓 ^b 石川剛弘 ^b a: 東京学芸大学 b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-05		PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 ② (河川の生物調査試料の有効活用を目的とした環境情報の抽出)	○五十嵐裕之 ^a 吉富友恭 ^a 及川将一 ^b 酢屋徳啓 ^b 石川剛弘 ^b 武田志乃 ^c a: 東京学芸大学 b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター c: 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター
P-06		PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 ③ (真珠異形部の微細構造と微量元素の分布)	○須磨彩乃 ^a 吉富友恭 ^a 及川将一 ^b 酢屋徳啓 ^b 石川剛弘 ^b a: 東京学芸大学 b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-07		PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 ④ (富士川水系釜無川に生息するヒゲナガカワトビケラ(Stenopsyche marmorata)における重金属蓄積に関する基礎研究)	○高榮晋平 ^a 吉富友恭 ^a 及川将一 ^b 酢屋徳啓 ^b 石川剛弘 ^b a: 東京学芸大学 b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-08		PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 ⑤ (コイ咽頭菌における鉛の蓄積傾向)	○松田幸太 ^a 吉富友恭 ^a 及川将一 ^b 酢屋徳啓 ^b 石川剛弘 ^b a: 東京学芸大学 b: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-09	2015-005	BNCT用中性子モニターの開発 (ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)における線量測定系の開発)	○滝 和也 赤堀 清崇 住友重機械工業(株)
P-10	13CV0015	Li(p,n)Be中性子発生装置とLi拡散防止技術の開発 (ポリエチレンモデレータ中の熱・熱外中性束の測定)	○嶋崎拓人 ^a 佐藤 齊 ^b 濱野 毅 ^c 田中憲一 ^a 梶本 剛 ^a 星 正治 ^d 川村 拓 ^b 遠藤 暁 ^a a: 広島大学 工学研究院 エネルギー・環境部門 b: 茨城県立医療大学 c: 放射線医学総合研究所 研究基盤センター d: 広島大学 平和科学研究センター

注: 研究課題名と演題が異なる場合は、両方並記のうえ演題を()内に記載しています。

	課題番号	演題	発表者
P-11	14CV0018	熱外中性子測定用電離箱による中性子場の評価	○佐藤 齊 ^a 中島絵梨華 ^a 川村拓 ^a 須田充 ^b 濱野毅 ^b 遠藤暁 ^c 星 正治 ^d 東又厚 ^e a:茨城県立医療大学 b:放射線医学総合研究所 研究基盤センター c:広島大学 工学研究院 エネルギー・環境部門 d:広島大学 平和科学研究センター e:三樹工業(株)
P-12	15CV0010	中性子照射した歯牙のインビボEPR信号の測定	○山口一郎 ^a 佐藤 齊 ^b 川村 拓 ^b 三宅実 ^c 濱野毅 ^{d1} 須田充 ^{d1} 吉井裕 ^{d2} a:国立保健医療科学院 b:茨城県立医療大学 c:香川大学 医学部 d1:放射線医学総合研究所 研究基盤センター d2:放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター
P-13	14SP0008	中性子線の乳がん誘発生物学的効果比の年齢依存性	○今岡達彦 ^a 臺野和広 ^a 蒲地雄大 ^{ab} 森山ひとみ ^{ab} 西村まゆみ ^a 高島賢 ^a 島田義也 ^a a:放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター b:首都大学東京
P-14	13CV0016	ポリマーゲル線量計を用いた中性子線量測定	○川村 拓 ^a 佐藤 齊 ^a 吉井 裕 ^b 須田 充 ^c 濱野毅 ^{bc} a:茨城県立医療大学 b:放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター c:放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-15	2014-007	サーベイメータ素子の放射線による劣化に関する試験	○鎌田貴志 ^a 白川芳幸 ^b 石川剛弘 ^c 小林亜利紗 ^c a:応用光研工業(株) b:早稲田大学 研究戦略センター c:放射線医学総合研究所 研究基盤センター
P-16	2015-006	金属繊維製材料の放射線防御特性の評価	○八高隆雄 ^a 坂本 智 ^a 小杉雄史 ^b a:横浜国立大学 b:(株)総合マーケティングビューロー

注: 研究課題名と演題が異なる場合は、両方並記のうえ演題を()内に記載しています。

平成27年度 共用施設(PASTA&SPICE、NASBEE、X/γ線照射装置) 成果報告会 報告集 目次

PIXE関連課題

課題番号	発表代表者	題名	発表形式	発表番号	報告書ページ
P13-KS01	齊藤勝美	大気エアロゾルのPIXE法による超微量多元素同時分析法の定量化に関する研究 (大都市のシンボルエリアにおけるイチョウ葉に付着した大気粒子の特徴)	口頭	O-02	3
P13-SH01	長谷川純崇	PIXE分析による定量的細胞内元素分布測定のための基板研究 (RI内用療法高度化のための細胞内元素分析PIXE解)	ポスター	P-02	7
P13-TS01	岩田吉弘	マイクロPIXE分析用標準試料に関する技術開発 -マイクロPIXE分析法の先進応用技術化-	口頭	O-08	9
P13-TY01	青野由奈	PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究① (微細藻類における微量元素の分布検索)	ポスター	P-04	13
P13-TY01	五十嵐裕之	PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究② (河川の生物調査試料の有効活用を目的とした環境情報の抽出)	ポスター	P-05	15
P13-TY01	須磨彩乃	PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究③ (真珠異形部の微細構造と微量元素の分布)	ポスター	P-06	17
P13-TY01	高榮晋平	PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究④ (富士川水系釜無川に生息するヒゲナガカワトビケラ(Stenopsyche marmorata)における重金属蓄積に関する基礎研究)	ポスター	P-07	19
P13-TY01	松田幸太	PIXE分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究⑤ (コイ咽頭菌における鉛の蓄積傾向)	ポスター	P-08	21
P15-CN01	沼子千弥	マイクロPIXEによる生物組織中重金属元素濃集部の元素プロファイル解析-生体ウラン濃集の機序に関する研究	口頭	O-04	23
P15-MC01	千葉百子	マイクロPIXEによる頭髪等サンプルの局在量解析	ポスター	P-03	27
P15-R&D01	及川将一	PIXE分析装置における高度化技術開発(R&D)	口頭	O-09	29
P15-ST01	武田志乃	マイクロPIXEによる組織中ウランおよび生体微量元素の局在解析	口頭	O-03	31

SPICE関連課題

課題番号	発表代表者	題名	発表形式	発表番号	報告書ページ
S14-TK01	小西輝昭	ヒト正常及びヒトがん細胞間における放射線誘発/バイスタンダー細胞応答の解析	口頭	O-11	35
S15-R&D01	小西輝昭	マイクロビーム細胞照射装置SPICEの高度化に関する開発研究(R&D)	口頭	O-10	39

NASBEE関連課題

課題番号	発表代表者	題名	発表形式	発表番号	報告書ページ
13CV0015	嶋崎拓人	Li(p,N)Be中性子発生装置とLi拡散防止技術の開発 (ポリエチレンモデレータ中の熱・熱外中性束の測定)	ポスター	P-10	47
13CV0016	川村 拓	ポリマーゲル線量計を用いた中性子線量測定	ポスター	P-14	51
14CV0018	佐藤 斉	熱外中性子測定用電離箱による中性子場の評価	ポスター	P-11	53

14SP0008	今岡達彦	中性子線の乳がん誘発生物学的効果比の年齢依存性	ポスター	P-13	55
15CV0010	山口一郎	中性子照射した歯牙のインビボEPR信号の測定	ポスター	P-12	57
15SP0009	鶴岡千鶴	中性子被ばくによる発がん影響とその防護効果の検討	口頭	O-06	61

先端研究基盤共用プラットフォーム形成事業関連課題

課題番号	発表代表者	題名	発表形式	発表番号	報告書ページ
2014-007	鎌田貴志	サーベイメータ素子の放射線による劣化に関する試験	ポスター	P-15	65
2014-009	馬嶋秀行	中性子線照射による細胞内酸化ストレス変化 (SK-N-SH細胞におけるNASBEE中性子照射による活性酸素発現)	口頭	O-07	69
2015-003	宇尾基弘	口腔粘膜および顎骨中の微量金属元素の分布と病態の関連に関する研究	口頭	O-01	71
2015-004	辻井 悠希	マイクロPIXEを用いた熱帯樹木葉組織内のリン分布の解明	ポスター	P-01	73
2015-005	滝 和也	BNCT用中性子モニターの開発 (ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)における線量測定系の開発)	ポスター	P-09	75
2015-006	八高隆雄	金属繊維製材料の放射線防御特性の評価	ポスター	P-16	77
2015-007	佐々木伸大	中性子線照射量が植物に与える影響評価	口頭	O-05	79

PIXE 関連課題

大気エアロゾルの PIXE 分析法による 超微量多元素同時分析法の定量化に関する研究

(大都市のシンボルエリアにおけるイチヨウ葉に付着した大気粒子の特徴)

○齊藤勝美^{a,b}, 及川将一^b, 酢屋徳啓^b, 石川剛弘^b, 磯 浩之^b

a: 富士通クオリティ・ラボ・環境センター(株)

b: 放射線医学総合研究所

要旨本文

大気粒子の挙動や汚染源の同定・寄与割合を把握することは、地域大気汚染をはじめ地球温暖化や越境大気汚染物質などの地球環境問題においても重要な要素である。大気中における粒子の挙動や汚染源の同定・寄与割合を解析するには化学組成の情報が不可欠で、そのためにはフィルタ上に大気粒子を捕集し、その化学組成を分析することが重要である。しかしながら、電源設備を十分に確保することが困難な道路近傍や公園、山岳地帯において大気粒子の捕集は非常に難しい。こうしたことから、最近、大気における挙動を知る手がかりとして、植物の葉に付着したエアロゾル粒子の元素組成分析と元素マップの情報化や大気汚染レベルを評価するバイオモニタリング手法が注目されている。バイオモニタリング手法の核となるのが、植物の葉に付着した大気粒子の元素組成分析と元素マップの情報その他、大気粒子の電子顕微鏡による粒子形態である。

そこで、大都市のシンボルエリアからイチヨウの葉を採取し、葉の μ -PIXEによる元素マップ分析と SEM-EDX による葉表面に付着している粒子の形態観察と元素組成分析を行い、大都市の大気粒子の特徴を検討した。イチヨウ葉の採取は、2012 年の 12 月上旬～中旬に明治神宮（東京）、京都御所（京都）及び大阪城公園（大阪）で行った。

イチヨウ葉の μ -PIXEによる元素マップ分析は、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、Br、Rb、Sr 及び Pb の 19 元素について行い、明治神宮では P、S、Cl、Ca 及び Cu、京都御所では Si、P、S、Cl、Ca、Fe、Mn 及び Cu、大阪城公園では Al、Si、P、S、Cl、Ca、Mn 及び Cu については明瞭な元素マップを得た。元素マップの例として 3 地点の S と Ca のマップを図 1 に示した。S、Ca とも葉脈（二又状脈）の濃度が高く、その側面にパッチ状に斑点がみられる。特に、Ca マップはパッチ状の斑点が顕著である。明瞭な元素マップが得られた P や Cl などでも葉脈の濃度高くなっている。

SEM-EDX による葉表面に付着している粒子の形態観察と元素組成分析では、明治神宮、京都御所及び大阪城公園から採取したイチヨウ葉からは 3 地点とも Si、Al を主体としたキュービックタイプの粒子、フライアッシュ、DEP、無機・有機炭素粒子等と確認された（図 2）。

イチヨウ葉に付着した粒子の特徴から、大都市における大気中粒子は、Si、Al を主体としたキュービックタイプの粒子、フライアッシュ、DEP、無機・有機炭素粒子などで形成されていると推定された。

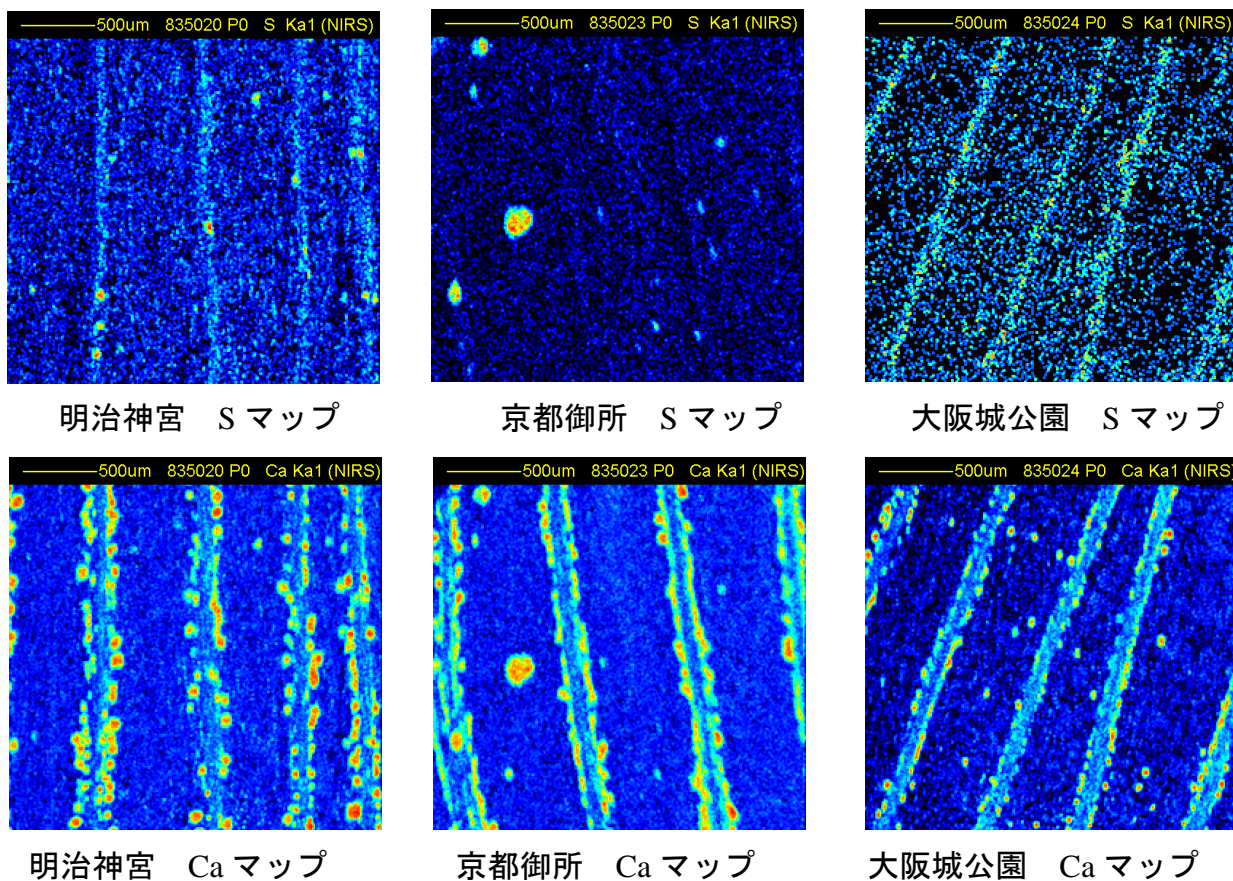


図1 イチョウ葉のSとCaの元素マップ

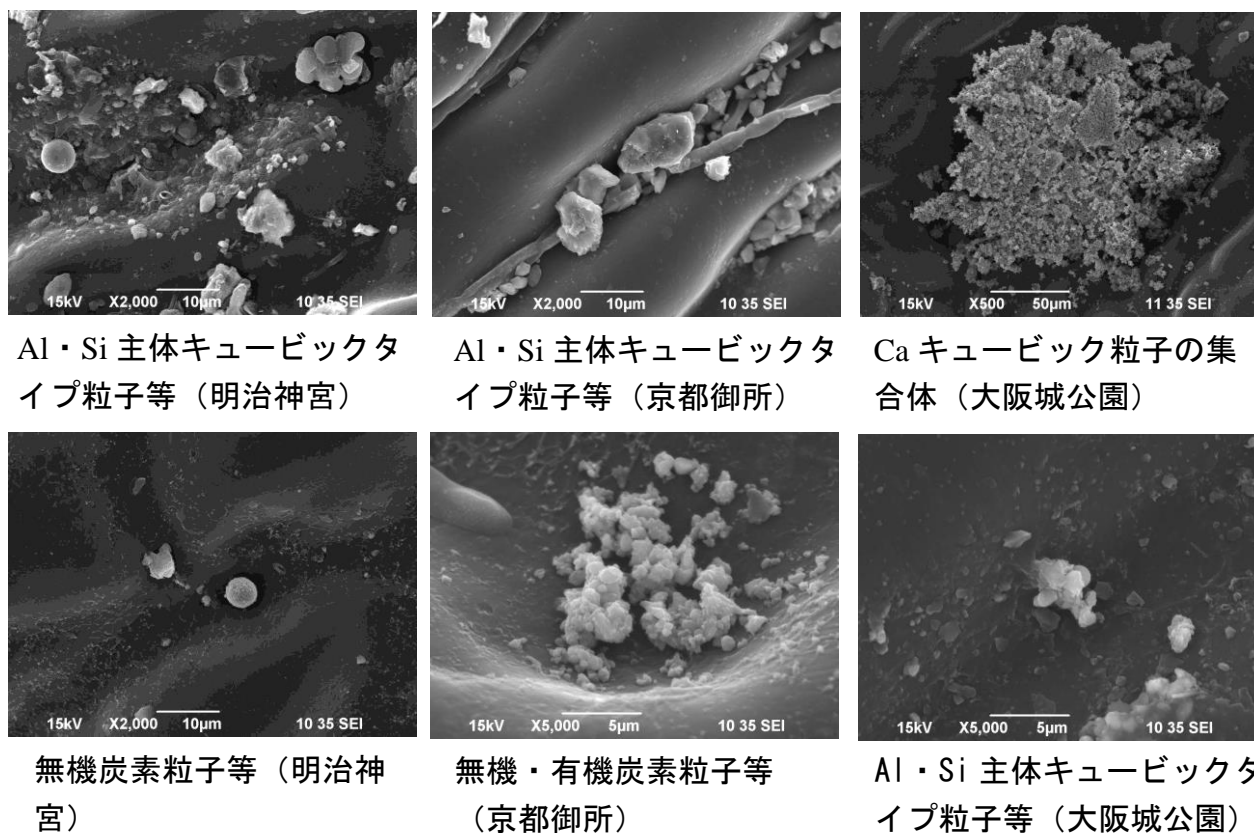


図2 ブナ葉のSEMイメージ

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号：P13-KS01

課題名：大気エアロゾルの PIXE 分析法による超微量多元素同時分析法の定量化に関する研究

課題代表者：及川将一

Proceedings

1. K. Saitoh, K. Sera, M. Oikawa and H. Shimizu

Analysis of elemental content and map of beech leaves by PIXE and micro-PIXE

I J PIXE, Vol. 24, 177-188, 2014

原著論文

1. 松井敏彦、及川将一、齊藤勝美

街路樹の葉を用いた沿道大気中浮遊粒子の評価—葉付着粒子の形態学的分析と葉の元素マップからのアプローチ—

環境技術, Vol. 45, NO.2, 87-93, 2016

学位論文

1. 齊藤勝美

山岳地域における大気中浮遊粒子の特徴に関する研究

滋賀県立大学

PIXE 分析による定量的細胞内元素分布測定のための基板研究 (RI 内用療法高度化のための細胞内元素分析 PIXE 解析)

○長谷川純崇

放射線医学総合研究所

近年、欧米を中心に治療用アイソトープ (RI) を用いた RI 内用放射線治療 (以下、内用療法) に注目が集まっており、非臨床研究や治験が活発に行われている。日本は立ち遅れた状態であるが、放医研では、今まで行ってきた RI による分子イメージング研究の発展的な研究課題として RI 内用療法研究を位置づけ、今後継続的に研究を遂行していく予定である。この治療によるがん細胞殺傷効果は臨床的に明らかではあるが、その細胞殺傷のメカニズムは不明な点が多く、より効果的な治療戦略を構築するためには細胞殺傷メカニズムの生物学的解明が不可欠である。

細胞殺傷メカニズムの解明においては、使われている粒子放射線の線質や飛程を考慮した治療用 RI と細胞内小器官、特に、DNA が含まれる核とのジオメトリックな配置関係が重要である。この配置関係の重要性を理解するには、治療用 RI の細胞内分布とその空間的情報を保持した状態での放射能評価が必要となる。しかし、その方法は現在のところ確立していない。本研究では、PIXE 分析がその方法になり得るのではないかと仮説の下、細胞内に投与された治療用 RI の細胞内分布とその定量的解析のためのフィジビリティスタディを行っている。

昨年度、ヒト胃がん細胞株である NCI-N87 細胞を用いて PIXE 分析に適応可能なサンプルを作製する方法を確立した。NCI-N87 細胞を数時間から数日間培養し、Tris 溶液に懸濁した後、マイラー膜上に添加し数時間接着させる。その後固定、超純水洗浄、凍結乾燥を行い、真空処理を行う。このような方法で NCI-N87 細胞内の主要な元素が、単一細胞レベルでマッピングできることが示唆された。

今年度は、更に、非放射性同位元素標識抗体や治療用 RI として用いられる銅の非放射体を細胞に添加し、その検出限度等を検証した。今回の報告会では、今年度の研究成果と目標達成に向けて今後克服すべき技術的課題について議論したい。

マイクロ PIXE 分析用標準試料に関する技術開発 -マイクロ PIXE 分析法の先進応用技術化-

○岩田吉弘^a、佐藤隆博^b、及川将一^c

a:秋田大学教育文化学部、b:日本原子力研究開発機構高崎研、c:放射線医学総合研究所

1.はじめに

標準物質(標準試料)は様々な物性を計測する機器分析において、装置の校正や計測値の比較のため不可欠である。PIXE 分析は、高感度で多元素同時定量が可能な元素分析法であり、これを進化させたマイクロ PIXE では、ミクロンレベルの微小な分析対象の元素分布を高感度、高分解能で計測できる特徴を有している。一般に元素分析用の標準物質は、分析対象の形状、目的元素に応じて、開発、頒布されてきた。これらは、ICP-MS 用の液体試料、放射化分析や蛍光 X 線分析用のバルク状試料がほとんどである。一方、PIXE とりわけマイクロ PIXE では、生体や環境関連の試料に対して、薄膜化やスポット状に調製したターゲットが分析に供される場合がほとんどである。また分析目的元素もアルカリ、アルカリ土類金属など多量元素から、生体必須や有害な微量元素など多種類である。このような試料の形状や目的元素に対応した、元素分析用標準物質は頒布されていない。我々の研究チームでは、マイクロ PIXE 分析用標準試料として、イオン交換樹脂中に分析目的元素を正確量含有する標準物質を開発している。これまで、マクロポーラス型陽イオン交換樹脂、あるいは陰イオン交換樹脂に生体関連元素の硫黄、アルミニウム、カルシウム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ストロンチウム、鉛および白金を一定量均一に含有する標準物質を調製した。この標準物質を放射線医学総合研究所(NIRS)および日本原子力開発機構高崎研(TIARA)のマイクロ PIXE 分析装置で照射し、ビームプロファイルや分析感度などの装置特性を定量化した¹⁾。今回は、分析感度を利用して、微小生物のワムシと植物の地衣類の組織の微小領域における元素存在量の測定を報告する。

2. 実験

ワムシの照射試料調製

体長 300–350 μm のシオミズツボワムシ (*Brachionus Plicatilis*、ワムシ) ワムシは、人工培養した微細藻類 (*Nannochloropsis* sp.) を給餌し、人工海水中で培養した。このワムシ 1 個体を Polycarbonate 膜に付着させ、照射試料とした。

地衣類の照射試料調製

ホグロハナゴケ(樹枝状地衣類、*Cladonia amaurocraea* (Florke) Schaer. 白神山地小岳山頂部 1993 年 9 月 15 日採取)の乾燥標本を凍結切片作成用包埋剤(Tissue-Tek O.C.T. Compound)を用い、 -21°C で包埋した。これをクライオトームで、樹枝の断面方向に厚さ 25 μm で切り出し、薄切片とした。切片は直径 0.6 mm の同心円状で、中心部は空洞となった。これを、粘着性カーボンテープに接着し、さらにポリカーボネート膜を貼り付けたターゲットホルダーに接着した。

マイクロ PIXE 分析

高崎原研 TIARA マイクロ PIXE システムにて、3 MeV p ビームをサブミクロンに絞って照射した。スキャンエリアは、 50×50 から $200 \times 200 \mu\text{m}$ とし、大気中 100~500 nC の照射を行った。X 線検出器は、Si(Li)半導体検出器 (PGT LS30135) であり、感度等は、前報に記した¹⁾。

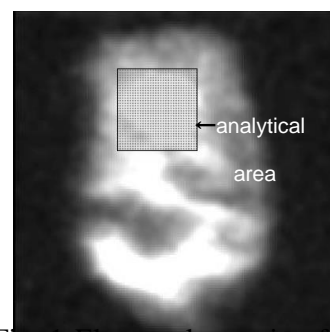


Fig. 1 Elemental mapping for S in *Brachionus Plicatilis* and analytical area for elemental abundances
Image Size : 200 x 200 μm

3.結果と考察

ワムシのマイクロ PIXE 像と元素存在度

Fig.1 には、ワムシ中の硫黄の元素分布 (200 × 200 μm) を示す。上部が口で、体内の組織が把握できる。標準物質で求めた、このマイクロ PIXE システムでの分析感度をもとに、口の部分 (50 × 50 μm) に存在する、元素存在量を求めたところ、S:110、S:41、Fe:1.2、Cu:0.1 および Sr:0.8 とそれぞれ pg 単位で求めることができた。このように、標準試料による機器の校正によってマイクロ PIXE システムによる微小領域の元素分析が可能となった。

地衣類のマイクロ PIXE 像と元素存在度

Fig.2 に地衣類の断面における硫黄の元素分布 (200 × 200 μm) を示す。地衣類は菌類と藻類との共生体で、樹枝状地衣類であるホグロハナゴケは、同心円状の組織を持つ。外から菌糸からなる上皮層 (a)、藻類細胞からなる藻類層 (b) で、中心部は空洞 (c) である。塩素、カリウム、リン、硫黄、カルシウム、ケイ素の分布図も得られた。その結果、塩素とカリウムは、断面の概形をよく表現していた。Fig.2 から、硫黄は上皮層の外側に分布していることがわかる。リンも同様であった。一方、ケイ素は、(b) と (c) の境界、ならびに (c) の内壁に斑点状に沈着していた。またカルシウムは (b) より (a) に多く、それぞれの層では均一に分布していた。このようにマイクロ PIXE 分析により、地衣類中の元素分布が測定できた。

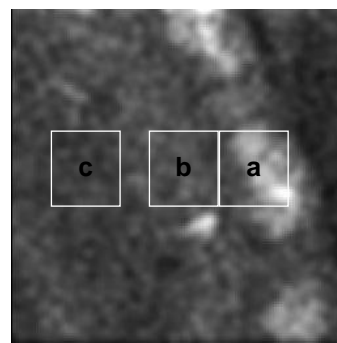


Fig. 2 Elemental Mapping for S in a Lichen* and Analytical Areas for Elemental Abundances

**Cladonia amaurocraea*

Image Size:200 × 200 μm

a: Upper Cortical layer

b: Inner Cortical layer

c: Algal layer

地衣類の硫黄、リンおよびカルシウムの元素存在度

TIARA マイクロ PIXE システムの分析感度¹⁾から、Fig. 2 に示す a から c の部分の元素存在度を見積もった。このシステムでのリンの感度は求められていないが、アルミニウムからカルシウムの感度がほぼ均一であることがわかっており、元素 1 pg あたり 1 nC 照射による特性 X 線強度は、70 カウントとした。なお、試料の厚さは 25 μm として単位体積当たりの存在度を計算した。塩素およびカリウムについては、地衣試料の存在しないバックグラウンド部分にも不純物として存在したため、定量できなかった。結果を Table 1 に示す。地衣類を一定の厚さで切り出し、マイクロ PIXE 分析によりその概形を調べることができた。また、標準物質から求めた分析感度から、元素存在度を示すことが可能となった。

Table. 1 Estimation of Elemental Abundances in Lichens by Micro beam PIXE (mg cm⁻³)

	Sampling Section*		
	a	b	c
P	1.3	0.3	ND
S	2.6	0.7	0.2
Ca	0.8	0.7	0.2

*Section a - c were shown in Fig.2

4.今後の展開

これまでの成果を、NIRS の各種測定器の感度等の特性評価に展開する。また重金属の感度測定をおこない、PIXE 測定技術の発展に資したい。

参考文献

- 1) 岩田吉弘、佐藤隆博、及川将一他、平成 26 年度放射線医学総合研究所第 5 回共同施設 (PASTA&SPICE、NASBEE) 共同成果報告会・報告書 P21-P22

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号：P13-TS01

課題名：マイクロ PIXE 分析用標準試料に関する技術開発

-マイクロ PIXE 分析法の先進応用技術化-

課題代表者：及川将一

Proceedings

1. 岩田吉弘、佐藤隆博、及川将一、他

マイクロ PIXE 分析用標準試料に関する技術開発-マイクロ PIXE 分析法の先進応用技術化-

平成 26 年度放射線医学総合研究所第 5 回共同施設（PASTA&SPICE、NASBEE）共同成果報告会・
報告書, P21-P22

学会発表（口頭発表、ポスター発表、講演等）

2. 岩田吉弘 他

マイクロ PIXE 分析用標準試料に関する技術開発-マイクロ PIXE 分析法の先進応用技術化-

平成 26 年度放射線医学総合研究所第 5 回共同施設（PASTA&SPICE、NASBEE）共同研究成果報告
会, (2016.3.20)

PIXE 分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 (微細藻類における微量元素の分布検索)

青野由奈¹, 吉富友恭², 及川将一³, 酢屋徳啓³, 石川剛弘³

1 東京学芸大学 教育学部環境教育専攻

2 東京学芸大学 環境教育研究センター

3 放射線医学総合研究所 研究基盤センター

現在の水環境は残留性の高い化学物質によって、低濃度ではあるが極めて広範囲にわたって汚染されているという指摘がある。その浄化方法として期待されているのが微生物を利用した生物吸着である。微生物が長い進化のプロセスで、それぞれの化合物に遺伝的に適応してきた結果、生育や解毒のために様々な化合物を分解処理する能力を持つようになり、それを利用して浄化が行われている。高価な設備が必要なく経済的で、吸着した元素の回収・離脱が可能であるため、資源となり得る元素の回収も行うことができ、微生物を何度も浄化に再利用することが可能という利点がある。環境現象や生体における元素の吸収及び代謝機能を解明するためには、対象物の構造と元素情報の対応関係を明らかにする必要があるが、微細藻類においては微細構造とそこに含まれる元素組成が明らかになっていないものが多い。

そこで本研究では Cu や Cd の吸着が確認されているシャットネラ (*Chattonella marina* (Subrahmanyam) var. *antiqua* (Hada)) とドナリエラ サリナ (*Dunaliella salina*) の2種の微細藻類を対象とし、微細構造の確認した後、マイクロ PIXE 分析法を用いて含まれる主要元素及び微量元素の検出とその分布検索を試みた。

シャットネラは、主要元素としては Si、S、Cl、K、Ca のピークが、微量元素としては Fe、Zn 個体によっては Ti、Mn、Ni、Cu のピークが認められた。Si と Ca は体内全体に均一に分布しているが、細胞の中心部ではなく外側における偏在することが確認された。これは、生物を保護する硬組織の補強的役割として存在するためと考えられた。S は体内全体に均一に分布しており、葉緑体に含まれているためと考えられた。液体成分中に含まれている K は、体内に均一に分布していたが、中心部や液胞における局在も確認された。Fe は全体に分布し、特に褐色が強い部位に対応して蓄積していた。褐色が強い部位には葉緑体が集まっていると考えられ、Fe は葉緑体に含まれるものであることが示唆された。Zn は全体に均一に分布していた。Zn を含んだ酵素タンパク質を、酵母を始めとした微生物がもっていることから、このタンパク質がシャットネラの体内に均一に存在していることが推察された。

ドナリエラにおいては、主要元素としては S、Cl、K、Ca のピークが、微量元素としては Fe、Ni 個体によっては Cu、Zn のピークが認められた。S、K、Ca は全体に均一に分布していた。Ni と Zn はいずれも中心部に偏在していることが確認された。微細藻類には Ni、Zn を含んだ金属タンパク質や金属酵素が含まれるため、それらが核近くの中心部に存在すると考えられた。

PIXE 分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 (河川の生物調査試料の有効活用を目的とした環境情報の抽出)

五十嵐裕之¹, 吉富友恭², 及川将一³, 酢屋徳啓³, 石川剛弘³, 武田志乃⁴

1 東京学芸大学大学院 教育学研究科

2 東京学芸大学 環境教育研究センター

3 放射線医学総合研究所 研究基盤センター

4 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター

環境保全を含む河川の総合的管理を目的とした整備が推進される中、わが国では1990年より、国土交通省が河川水辺の国勢調査を継続的に実施している。同調査では、全国の一級河川において魚類等の生物調査を行っており、採捕された生物の一部は標本として保管されている。同調査のマニュアルにはこれら保管試料は、「博物館等の研究機関等、受け入れ先を探し、できるだけ有効活用を図る」と記されているが、これらの現状については不明であり具体的な方策も示されていない。そこで、本研究では河川水辺の国勢調査において採捕された生物試料の有効活用を目的として、研究機関との連携のもと、試料に含まれる環境情報の抽出を試みた。環境情報抽出の可能性を探るため当該調査のフィールドで採捕された魚類の組織を対象とした微量元素分析を行い、検出された元素が水質などの環境情報を反映しているのかを確認した。さらに、保管されている試料の分析も行い、フィールド採捕試料との比較検討を行った。

その結果、フィールド採集試料については、底生魚の鰓及び脊椎骨から河川水中に存在するZnやCuといった微量元素が検出され、分析対象としては遊泳魚に比べ底生魚が有効であることが示唆された。さらに、調査後5年間保管試料を入手し、底生魚を中心に鰓及び脊椎骨の分析を行った結果、鰓ではZnやCuが検出されず、保存溶液中に元素が溶出している可能性が示された。一方、脊椎骨ではフィールド採集試料と比較し、検出された元素の傾向に大きな違いは認められなかった。イメージング画像から、保管試料では溶出したZnが表面に付着している可能性がみられたため、脊椎骨の内部に注目した分析が有効であることが明らかになった。したがって、保管試料においては、底生魚の脊椎骨が元素の保存性が高く、環境情報抽出のための分析対象として有効であることが確かめられた。

PIXE 分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 (真珠異形部の微細構造と微量元素の分布)

須磨彩乃¹, 吉富友恭², 及川将一³, 酢屋徳啓³, 石川剛弘³

1 東京学芸大学 教育学部

2 東京学芸大学 環境教育研究センター

3 放射線医学総合研究所 研究基盤センター

バイオミネラリゼーションとは、生物機能によって鉱物が動物の体内や体外に沈着し、主に硬組織の形成に関わる現象のことで石灰化とも呼ばれている。近年、材料科学の分野でもバイオミネラルに注目が集まっており、その構造をもとに資源やエネルギーを効率的に活用できる新素材の開発が進められている。また、養殖真珠は貝に人為的に核を挿入し、その周りに石灰化を起こさせて生じた産物であり、真珠養殖産業は 20 世紀に日本において確立され、世界産業として発展を遂げた。真珠の価値はテリ、形、シミ、大きさ、真珠層の巻きなどの要素によって決められ、特に、異形やシミは真珠の価値を大きく左右する。異形の発現原因は、凝集した血球、脱落した体細胞の巻き込み、バクテリアによる炎症反応などの要因が先行研究によって挙げられている。しかしながら、貝体内の内的要因だけでなく、養殖場の環境といった外的要因も関係し、また、それらが複雑に組み合わさっているため、異形真珠の成因は明らかになっておらず、研究すべき課題が多く残されている。真珠の異形形成のメカニズムの解明には形態的知見と合わせた化学的情報の解析が必要とされるが、異形部の微細構造と対応させた成分分析についてはこれまでに例がなく知見に乏しい。そこで本研究では、アコヤガイ産出真珠の異形部に着目し、真珠層の微細構造と対応させた微量元素の分布を明らかにすることを目的とした。はじめに、走査型電子顕微鏡を用いて真珠断面を観察し、正常部と異形部の微細構造を比較した。次に荷電粒子励起 X 線分析法 (PIXE 分析法) を導入し、真珠層断面の微量元素の検出と分布の検索を行い、正常部と異形部の含有元素の特徴について考察した。

走査型電子顕微鏡を用いた微細構造の観察より、正常部ではアラレ石が積み重なった層状の真珠層が形成されている様子が確認され、異形部では基部に結晶構造を伴わない殻皮層などの有機物、その周囲に稜柱層、さらにその上を覆うように真珠層が形成され、間隙もみられた。PIXE 分析により、正常部の蛍光 X 線スペクトルから Ca、Sr のピークが確認され、それらの元素が一様に分布していることが確かめられた。一方、異形部からは、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn、Br、Sr のピークが確認され、元素によって分布に偏りがあった。異形部においても表層の真珠層には正常部と同様の分布が見られたが、凸部基部では Zn、Br、Fe、Cu の局在が認められた。微量元素の分布傾向は、多くの種類の酵素に含まれる Zn の蓄積が顕著であった。また、アコヤガイの血液に含まれる元素である Cu、バクテリアを含むあらゆる生物の必須元素である Fe の分布も確認され、先行文献によって指摘されていた、血液凝固、体細胞の巻き込み、バクテリアによる炎症が異形真珠発現の原因に関わることの妥当性を示す結果となった。

PIXE 分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究
(富士川水系釜無川に生息するヒゲナガカワトビケラ
(*Stenopsychemarmorata*) における重金属蓄積に関する基礎研究)

高榮晋平¹, 吉富友恭², 及川将一³, 石川剛弘³, 酢屋徳啓³

1 東京学芸大学 教育学部 2 東京学芸大学 環境教育研究センター

3 放射線医学総合研究所 研究基盤センター

河川の重金属汚染モニタリング試料として、河川に生息する水生昆虫の有用性が指摘されている。ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) の幼虫は世界の河川に広く生息し、その幼虫は年間を通して採取可能であることからモニタリング試料に適すると考えられている。しかし、体内の元素組成についての報告は少なく、トビケラの重金属元素含量のバックグラウンドを明らかにする必要性から多くの河川における同昆虫の重金属蓄積に関する知見が求められている。

本研究は富士川水系釜無川及び多摩川に生息するトビケラの重金属元素蓄積傾向を明らかにする目的の下、生物体内の重金属元素の分析法としてその手法が確立されている ICP-OES に加え、近年導入されつつあるマイクロ PIXE 分析法を用いて、同昆虫体内の重金属元素について定量的または定性的な分析を行った。

結果、釜無川及び多摩川に生息するトビケラが含有する重金属元素として Cu、Fe、Mn、Pb、Zn が認められた。その含量に体長との負の相関がみられた元素は Cu、Zn 及び Pb であり、より下流に生息する個体ほど高い蓄積をする元素は Mn、Fe 及び Cu であった。トビケラ体内の Fe については消化管内に集中して存在することが確認され、それらは消化管内内容物に由来するものである可能性が示唆された。従って消化管内に内容物が溜め込まれた期間を明らかにすることで、環境モニタリングに資する当該期間の水質や底質を反映するデータが得られるものと考えられる。

従来トビケラを指標とする重金属汚染環境モニタリングにおいては ICP-OES 等の定量分析法が主流であり、多くの個体または個体全体としての重金属元素含量の定量に適していた。一方、マイクロ PIXE 分析法はトビケラ断面を含む体内の元素分布を捉えることが可能であり、試料作製の簡便さ、多元素同時分析が可能等の理由から、迅速かつ詳細な環境情報の抽出に優れていることが確かめられた。

PIXE 分析法による水生生物の体内元素分布の解析に関する研究 コイ咽頭歯における鉛の蓄積傾向

松田幸太¹、吉富友恭²、及川将一³、酢屋徳啓³、石川剛弘³

1 東京学芸大学 教育学部 2 東京学芸大学 環境教育研究センター

3 放射線医学総合研究所 研究基盤センター

一次淡水魚の化石分布はかつての淡水域を表すことから古生態地理、古地形ならびに総合的な古環境を考える上で重要な意味をもつ。一次淡水魚であるコイ科魚類の咽頭歯は、属あるいは種ごとに形状が異なっており、保存状態が良ければ化石から種レベルまで同定することが可能である(入江, 田中 2008)。このため、コイ科咽頭歯を研究対象とした報告は多く、古生物地理学的知見が蓄積されている。しかし、当該分野における研究は形態学的な研究が中心であり、コイ科咽頭歯に含まれる微量元素等の成分に着目した報告は見当たらない。コイ科咽頭歯の形態と合わせて微量元素分析を行うことにより、従来形態的知見から得られてきた古生態地理や古地形の情報に加え、新たに重金属汚染等の生息環境の情報が咽頭歯から得られるようになると考えられる。

強い毒性を持つ重金属であるとともに骨指向性元素である鉛は、化石として残りやすい硬組織に蓄積されることが知られている。本研究では、コイ科魚類に鉛の経口投与実験を行い、PIXE 分析法を導入することにより咽頭歯における鉛の蓄積傾向を明らかにした。

鉛投与実験では、ニシキゴイ (*Cyprinus carpio carpio*) を供試魚とし、飼料 1 g に対して鉛を 1 mg 添加した人工飼料を 1 日に体重の 1.5% 与え 60 日間飼育した。硬組織である耳石、脊椎骨、咽頭歯、鱗を摘出し、マイクロ PIXE 分析を行い咽頭歯と他の硬組織との蛍光 X 線スペクトルを比較した。また、咽頭歯については水平面及び鉛直面の二次元分析を行い、咽頭歯の形態と対応させた鉛の蓄積傾向の解析を行った。

実験の結果、鉛を投与したコイの咽頭歯から鉛を検出することができ、その分布傾向を確認することができた。鉛の咽頭歯への蓄積は、脊椎骨や鱗よりも多いことが蛍光 X 線スペクトルより確かめられた。また、咽頭歯の各歯の中で A3 歯に鉛が最も蓄積されることが確認された。鉛は咽頭歯の基部よりも咬合面よりに蓄積することが確かめられ、水平および鉛直断面の二次元分布により、咬合面溝付近に分布する傾向が認められた。鉛の蓄積は、実験期間中の石灰化部位と対応しているものと考えられ、取り込まれた鉛が咽頭歯に残存する可能性が示された。

以上の結果より、淡水域における鉛汚染履歴の解明の手立てとして、コイ科魚類咽頭歯が有効なサンプルとなりうることが示唆された。

マイクロPIXEによる生物組織中重金属元素濃集部の元素 プロファイル解析ー生体ウラン濃集の機序に関する研究 (海洋生物硬組織中への特定濃集に関する研究)

沼子千弥 (千葉大学 理学研究科)

武田 志乃, 及川 将一 (放射線医学総合研究所 研究基盤センター)

生物は環境から必要な元素を濃集し(生体濃縮現象)、欠乏に備えそれらを生体に貯蔵する能力を進化の歴史の中で発達させてきた。また濃集元素を固体化してより効率的に蓄積する生体鉱物化現象は、結石のような単純な沈着から、貝殻や骨・歯・耳石のように体を保護したり、特定の働きを助けるための機能を発達させた硬組織まで、実に多様な事例をみることができる。

生物は開かれた系の存在であるために、常に生息環境と物質・エネルギーのやりとりをしているが、生体鉱物は高濃度の元素濃集により形成された物質であるため、通常は拡散されている重金属元素を効率的に計測することが期待される。特に本研究では、福島原発事故により発散された元素がどのくらい生体にとりこまれるかを、生体濃縮現象と生体鉱物化現象を利用してモニタリングしている。研究対象としては、硬組織を常に形成し、かつ移動性の低い貝類を選択し、その中でも特に重金属元素を濃集することが知られているヒザラガイをターゲットに研究を行った。また、ウランは天然ではリン酸塩鉱物として出現することが多いので、リン酸カルシウムをマトリクスとした生体鉱物として、象牙と地中に長く保存されていた象牙の化石についても着目した。これらの生体鉱物試料に対して、PIXEでのランタニド・アクチニド元素の検出と2次元元素分析を試みた。

ヒザラガイ類は、歯舌と呼ばれる摂餌器官を磁鉄鉱(Fe_3O_4)とリン酸カルシウムを主成分として形成することで知られており、その他体表の貝殻や棘は炭酸カルシウムを主成分とすることから、環境に存在する親鉄元素と親石元素がそれぞれ化学的親和性により選択的に濃集すること、また同じカルシウム鉱物でも炭酸塩とリン酸塩で濃縮率や濃縮形態に差異が観察できることなどが期待された。ヒザラガイ採集は、福島県いわき市の海岸、徳島県鳴門海岸、沖縄県国頭郡本部町瀬底、オーストラリア ケアンズ・サンシャインコーストで行った。これらヒザラガイから歯舌を摘出し、蒸留水で洗浄した後乾燥させ、歯の表面と破断面に対してマイクロPIXEによる微量成分の定性分析と2次元元素分析を行った。その結果、ヒザラガイの歯の構成元素の種類や空間分布はヒザラガイの亜種により異なることは明らかとなったが、現時点ではいわきで採集したヒザラガイに特異的なランタニド・アクチニド元素の濃集は確認できなかったことから、来年度は福島での試料採集を積極的に行い、本研究を継続することとした。

象の牙は表面が緻密で硬いエナメル質、内側が柔らかく空隙が多い髄の構造を持っている。主成分はリン酸カルシウムであるが、化石化した象牙ではマンガンが濃集しそれを加熱すると青色の呈色を示すことが知られている。本研究では、現世の象の牙と、絶滅し

～報告書(課題番号:P15-CN01)～

たマストドンという象の牙の化石（フランス産）について、マイクロ PIXE による微量成分の定性分析と2次元元素分析を行った。通常の家牙ではリン酸カルシウムのほかに Sr や Mn、Zn が検出された。一方、マストドンの化石では、これらの他に、ウランが高濃度に蓄積されていることが明らかになった。ヒザラガイの歯ではこのようなウランの蓄積はまだ観測されていないが、マストドンの牙では顕著にみられたことから、海水よりも土壌からのほうがランタニド・アクチニド元素の濃集が起こりやすい可能性も考えられた。今後は、リン酸カルシウムをマトリクスとする他の生物の化石についても検討を行い、また可能であれば、発掘地の土壌試料も入手し、環境から生体鉱物へのランタニド・アクチニド元素濃集について研究を進めていく予定である。

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号:P15-CN01

課題名:マイクロ PIXE による生物組織中重金属元素濃集部の元素プロファイル解析

課題代表者:武田志乃

学会発表（口頭発表、ポスター発表、講演等）

1. 沼子千弥

環境から生物に蓄積されるウランの動態解析

「ダイバーシティ CHIBA 研究環境促進コンソーシアム」キックオフシンポジウム,2015-11- 11

2. 沼子千弥

環境から生物に蓄積されるウランの動態解析

「ダイバーシティ CHIBA 研究環境促進コンソーシアム」共同研究推進のための合同研究発表会,
2016-03-11

マイクロ PIXE による頭髪等サンプルの局在量解析

○千葉百子¹ 武田志乃² 松川岳久¹ 及川将一³ 石川剛弘³ 篠原厚子^{1,4} 横山和仁¹

¹順天堂大学 医学部 衛生学教室

放射線医学総合研究所²放射線防護研究センター³研究基盤センター

⁴清泉女子大学

<はじめに>

頭髪に含まれる各種元素は環境や食物摂取によって変化し、比較的長期間にわたっての環境影響が反映されることが知られている。頭髪サンプルは侵襲を伴わずに収集できることから、頭髪の微量元素分析は環境汚染や職業ばく露、栄養状態の把握に広く研究されてきた。しかしながら、頭髪サンプル等を洗浄・溶解し元素分析を行う従来の標準的な分析手法では、外部からの付着（外部汚染）と血液からの移行（内部汚染）を明確に区別することが困難であること、洗浄前処理における毛髪からの元素溶出の危惧等が指摘されていた。近年、マイクロビームを用いた毛髪横断面の元素分布解析が試みられてきており、従来法の問題を解決する新しい手法として期待されている。しかしこれまでのところ、毛髪横断面の元素分布解析は限られており、外部・内部汚染を評価するための体系だった研究は行われていない。そこで申請者らは外部・内部汚染を考慮した新たな汚染モニタリング評価手法の確立を目指し、マイクロ PIXE を利用して元素の種類による外部付着・浸透の違いに関する情報や年齢による元素分布の違いなどの検討を行った。その結果、元素による分布様態の違いや年齢による頭髪内部への移行の違いが明らかとなった。さらに頭髪断面における元素局在について局在量に関する情報が得られれば、頭髪 1 本からの汚染モニタリングに発展できるものと考えられる。

そこで本研究では、これまで確立してきた薄切標準を用いた局所定量手法を頭髪分析に応用し、マイクロ PIXE スポット分析により頭髪断面の元素局在量解析を試みた。

<実験と成果>

外部汚染モデルとする頭髪は 8 歳、30 代、および 70 代の女性、ならびに 30 代男性から得た。1–1000 ppm の元素溶液（水銀、ストロンチウム、ウラン溶液等）に頭髪を 1.5–24 時間浸漬した。洗浄処理を行わず風乾し、一部は ICP-MS により頭髪中元素濃度を測定した。残りの一部から頭髪断面試料を作製しマイクロ PIXE 分析により各元素の頭髪断面イメージングを得た。頭髪表層の元素局在部から任意に 3 点選び、PIXE スポット分析を行った。元素局在量は ICP-MS による結果とおおむね対応しており、本手法が限られた量のサンプルからのばく露量推定に有効であることが考えられた。一方、1 ミクロンの分解能で解析すると局在部においても 30% 程度の濃度幅があり、より安定的な代表値提示のためには、スポットエリアの至適条件などをさらに検討する必要があると考えられた。

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号:P15-MC01

課題名:マイクロ PIXE による頭髪等サンプルの局在量解析

課題代表者:武田志乃

学会発表（口頭発表、ポスター発表、講演等）

1. 千葉百子、武田志乃、松川岳久、篠原厚子、及川将一、横山和仁
髪試料を用いたマイクロ PIXE による有害元素の汚染モニタリング法の開発
第 26 回日本微量元素学会, 札幌, 2015-07-04

PIXE 分析装置における高度化技術開発 (R&D)

○及川将一^a, 酢屋徳啓^a, 石川剛弘^a, 小西輝昭^a, 磯浩之^b, 樋口有一^b, 松田拓也^b

a:放射線医学総合研究所 研究基盤センター 研究基盤技術部

b: (株) ネオス・テック

<はじめに>

PIXE 分析法は、多元素同時分析法として非常に有効なツールであり、国内外の研究機関において生体試料や環境試料などの分析に盛んに応用されている。しかし、ナトリウムよりも軽い元素の分析は、PIXE 分析法において一般的に使用する半導体検出器の窓材料(主にベリリウム)の制約によりあまり行われておらず、陽子線照射によって生じる即発 γ 線を検出して元素分析を行う、PIGE 分析法が適用されているケースが多い。近年、我々の施設に対し、利用者から歯科材料中のフッ素などの軽元素分析に関する要望が寄せられていることから、軽元素分析技術の構築が新たな技術開発課題となっている。そこで本研究課題では、 $^{19}\text{F}(p, p'\gamma)^{19}\text{F}$ 核反応により発生する、比較的エネルギーの低い 110 keV の即発 γ 線に着目し、マイクロ PIXE 分析装置で重元素高効率検出器として利用されている既存 CdTe 検出器 (Amptek 製 XR-100T-CdTe) を応用した、フッ素のマイクロ PIGE 分析法に関する技術開発を実施した。

本報告では、施設を運営する立場から、放医研静電加速器施設 (PASTA&SPICE) の利用状況を紹介すると共に、本研究課題の現状について報告する。

<フッ素のマイクロ PIGE 分析法の開発>

マイクロ PIXE 分析装置には、ウラン等の重元素の L-X 線 (10~20 keV 領域) を高効率で検出するために、検出素子の原子番号 Z が大きく高密度 (5.85 g/cm^3) で X 線の吸収率に優れている CdTe 検出器が導入され、実用化されている。この CdTe 検出器の検出素子は $5 \times 5 \times 1 \text{ mm}$ のサイズであり、測定試料直後に設置して試料-検出面距離が 3 mm の際に、立体角が約 $1 \pi \text{sr}$ になるような大立体角な配置をとっている。これらの特徴から、フッ素から発生する 110 keV の即発 γ 線を十分に検出できるものと考え、マイクロ PIGE 分析への適用可能性の検証を行った。フッ素を含有する標準試料としては、コンベンショナル PIXE 分析装置において大気浮遊塵模擬標準試料として利用する、既知量の SrF_2 をニュークリポアフィルター上に吸着 (計算上、約 250 nm 厚) させた試料を用いた。図 1 の青線に、3.4 MeV の $^1\text{H}^+$ を積算電荷量 200 nC 照射した際の PIGE スペクトルを示す。この標準試料分析により得られたスペクトルから、 $^{19}\text{F}(p, p'\gamma)^{19}\text{F}$ 核反応により発生する 110 keV 及び 197 keV の即発 γ 線のピークアサインを行い、計測回路系の主増幅器の増幅率を決定した。また、課題番号 P15-CN01 の沼子氏から象牙化石試料の提供を受け、実試料への応用を試みた結果を図 1 中赤線のスペクトルに示す。象牙化石試料は、化石化の進行に伴い、主成分であるハイドロキシアパタイト

フッ素化 (フルオロアパタイト化) と言われており、今回の PIGE 分析からも、その現象を裏付ける結果が得られた。

今回の技術開発の結果、CdTe 検出器を応用した上で、信号増幅率を切り替えることのみで簡便にフッ素のマイクロ PIGE 分析を実現することができた。今後は、この手法を応用して、フッ素の共鳴核反応を利用した加速粒子のエネルギー絶対値測定及びマイクロビームの色収差 (エネルギー幅) 測定について検討を進める予定である。

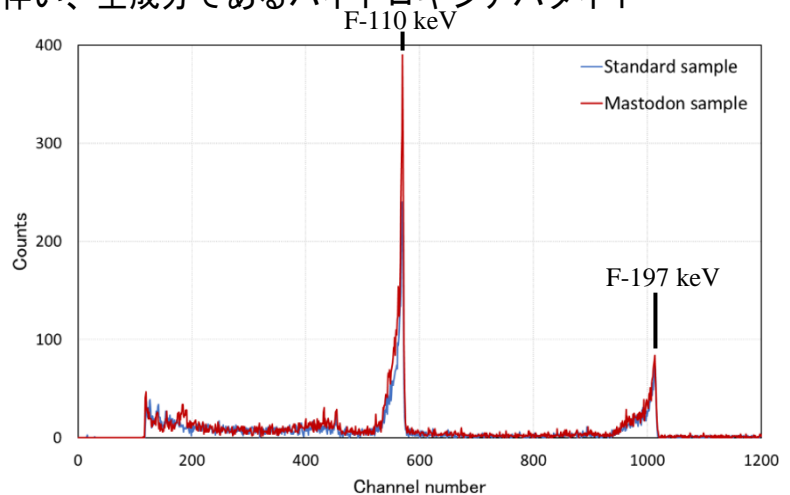


図 1. SrF_2 標準試料と象牙(マストドン)化石試料の PIGE スペクトル
イオン種: 3.4 MeV $^1\text{H}^+$ 、積算電荷量: 200 nC

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号：P15-R&D01

課題名：PIXE 分析装置における高度化技術開発（R&D）

課題代表者：及川将一

Proceedings

1. 及川将一, 酢屋徳啓, 石川剛弘, 小西輝昭, 磯浩之, 樋口有一, 松田拓也
PIXE 分析装置における高度化技術開発
平成 26 年度放射線医学総合研究所第 5 回共同施設（PASTA&SPICE、NASBEE）共同成果報告会・
報告書,P9-P11

学会発表（口頭発表、ポスター発表、講演等）

1. 及川将一, 酢屋徳啓, 石川剛弘, 小西輝昭, 磯浩之, 樋口有一, 松田拓也
PIXE 分析装置における高度化技術開発
平成 26 年度放射線医学総合研究所第 5 回共用施設（PASTA&SPICE、NASBEE）共同研究成果報告
会, 2016-03-20

マイクロPIXEによる組織中ウランおよび生体微量元素の局在解析

○武田志乃¹ 沼子千弥² 及川将一³ 石川剛弘³ 島田義也¹

¹放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター ³研究基盤センター

²千葉大学大学院理学研究科

ウランは地殻成分の一つであり環境に広く分布し、食物や飲水を介して我々はウランを摂取している。通常、そのレベルは微量であり健康上問題とはならないが、高濃度のウランを含む地下水を飲用したケースでは腎障害を引き起こすことが報告されている。近年、劣化ウラン弾汚染やウラン鉱山の乱開発による環境負荷、原発事故等によりウランの内部被ばく影響に関心が向けられている。今後、本格化する福島原発廃炉作業で熔融した燃料近くの汚染水や廃棄物処理が始まると、二次的な事故等による周辺への汚染が危惧されることから、ウラン体内動態や毒性影響に関する科学的知見の蓄積が望まれている。

腎臓内のウラン動態・分布・局在に関する情報が乏しいことから、これまでマイクロPIXE法や放射光蛍光X線分析やなどのマイクロビーム元素分析手法により腎臓内のウラン解析を行ってきた。その結果、ウランは腎臓内の下流部位近位尿細管に選択的に蓄積すること、下流部位近位尿細管上皮には数ミクロン四方程度の領域のウラン濃集部が存在すること、この濃集部はウラン単回投与後の急性尿細管損傷の再生が始まる平均腎臓ウラン濃度が十分低下した時点においても検出されること等が明らかとなった^{1,2)}。ウランは重金属としての化学毒性と α 線核種としての放射線毒性の両面を併せ持つ核種であるため、ウランが局所的に長期に残存する場合は放射線毒性も考慮する必要がある。またICP-MSによる平均腎臓ウラン濃度では局所的なウラン残存性が十分評価できないことから、マイクロビームによる局所定量手法による評価が必要である。また、腎がんモデル動物を用いたウラン晩発影響実験では、ウランが選択的に蓄積する下流部位近位尿細管近傍で増殖病変が確認されており、晩発影響を考える上で、この濃集部の残存性と組織影響との関連を明らかにしていく必要があると考えられた。

そこで本研究では、空間分解能と定量性に優れるマイクロPIXEにより、下流部位近位尿細管におけるウラン分布および局在量を調べ、ウラン残存性を検討した。

これまでウランを投与後初期のラット腎臓の下流部位近位尿細管領域にウランを含有するリン・カリウムの濃集部が散在することを示したが、今回投与後2～6週間後の急性尿細管損傷回復期の解析を行ったところ、このような濃集部が残存し、そのウラン含有量は投与後初期と同等のものも認められた。周辺には再生尿細管も依然検出されることから、ウラン残存による影響が持続しているものと考えられた。このウラン局在に伴って生体微量元素局在も変化しており、合わせて報告する。

参考文献

[1] S. Homma-Takeda et al., *J. Appl. Toxicol.* 33: 685-694, 2013.

[2] S. Homma-Takeda et al., *J. Appl. Toxicol.* 35: 1594-1600, 2015.

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号:P15-ST01

課題名:マイクロ PIXE による組織中ウランおよび生体微量元素の局在解析

課題代表者:武田志乃

学会発表（口頭発表、ポスター発表、講演等）

1. 武田志乃

ウランの毒性研究

順天堂大学医学部衛生学・公衆衛生学教室合同ゼミナール, 2015-12-08.

SPICE 関連課題

Analysis of bystander signaling between targeted cancer cells and neighboring normal cells.

Alisa KOBAYASHI^{a,b}, Tengku Ahbrizal Farizal Tengku Ahmad^{b,c},
Narongchai AUTSAVAPROMPORN^{b,d}, Masakazu OIKAWA^{a,b},
Yoshiya FURUSAWA^{a,b}, Teruaki KONISHI^{a,b*}

a) Research, Development and Support Center, b) SPICE-BIO research core, NIRS International Open Laboratory, National Institute of Radiological Sciences, Japan, c) Division of Agrotechnology and Biosciences, Malaysian Nuclear Agency, d) Department of Radiology, Chiang Mai University

Keywords: proton microbeam; bystander effects; bidirectional signalling; DNA double strand breaks,

Radiation induced bystander effect (RIBE) is generally known to be the phenomena that mediated from irradiated cells to non-irradiated cells. This RIBE may become one of the major concern not only in the field of radiation protection, but also in the radiation cancer therapy. In the recent studies reported inverse direction in the RIBE pathway that showed non-irradiated cells rescues the irradiated cells. Therefore, mechanistic study of radiation induced bi-directional signaling between normal cells and cancer cells will give important information for radiation risk assessment.

In this study, A549, human lung cancer cells, A549GFP cells that stably express H2B-GFP, and WI38, human lung normal cells were used. As shown in Figure 1, A549GFP cells were co-cultured with either A549 cells or WI38 cells and only the A549GFP cells in the cell population were targeted with 500 protons to the nucleus by SPICE-NIRS microbeam [1]. After irradiation, cells were fluorescently immuno-stained against γ -H2AX, which is a well know maker for DNA double strand breaks (DSBs) and total fluorescence per nucleus were quantified from the microscopic images.

In the previous fiscal year, we reported our preliminary results that neighboring un-irradiated WI38 cells inhibited radiation induced DSBs repair of irradiated A549GFP, and DSBs of the WI38 cells increased due to RIBE. Also, consequently, both the gap-junction intercellular communication (GJIC) pathway and the cell to cell non-contact Media-Transfer (MT) pathway may be strongly involved in the bi-directional cellular responses.

During this fiscal year, we repeated these experiments of irradiating only A549-GFP cells within the mixed population to clearly show the bi-directional cellular response between targeted A549-GFP cells and non-targeted WI-38 cells. We also started an experiment to answer whether this bi-directional signaling would be affected by the irradiation of WI-38 cells. In this setup, we targeted both cells, A549-GFP and WI-38 cells with 500 protons to see if there is any difference when the neighboring WI-38 cells were targeted equally with A549GFP cells (Figure 2 A). Figure 2B and C are the representative result obtained from a single beam time. As a result, in all the time points after irradiation, the cells in the non-targeted area showed higher γ -H2AX signals compared to the controls. This indicates the bystander signals from the targeted cells produced DNA double strand breaks in the cells of non-targeted area. This was seen similarly with and without WI38 cells in the population.

We also compared the results of γ -H2AX in targeted A549GFP cells in A549GFP-A549 samples, and A549GFP-WI-38 samples. The samples with only A549 cells showed faster DNA dsb repair compared to those samples with WI38. Further analysis is still in progress and will be presented.

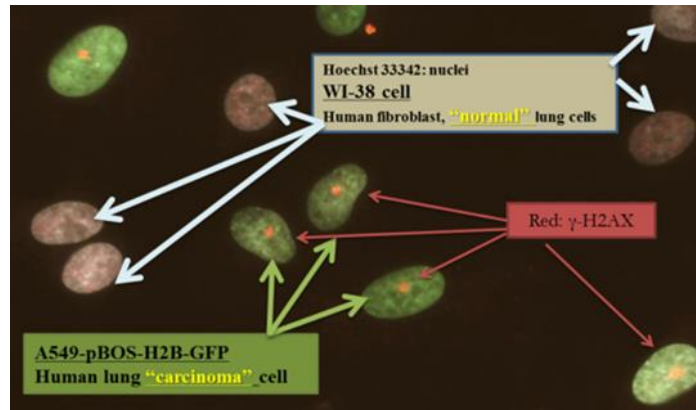


Figure 1. A549-pBOS H2B-GFP cells (A549-GFP; green), human lung carcinoma cells and WI-38 human normal lung fibroblast cells (white) were mixed to be cultured in the same population. A549-GFP cells were targeted with 500 protons per nucleus. Representative image of a sample that were fixed 1hr after the irradiation and then immuno-stained against γ -H2AX (shown in Red spots) .

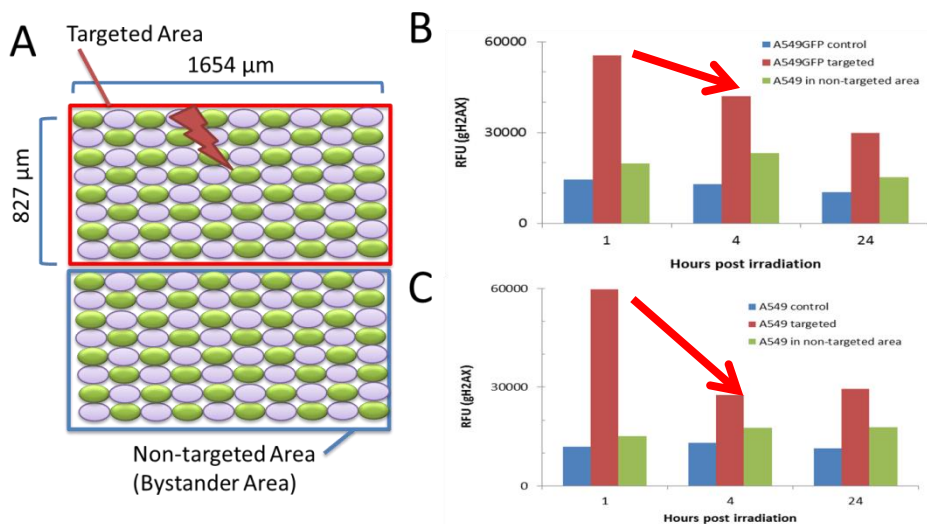


Figure 2. Drawing of irradiated area and non-irradiation in a cell dish (A). Cells were individually targeted in the targeted area, but images were obtained together with the non-targeted area after immuno-staining against γ -H2AX. Total fluorescence of γ -H2AX per nucleus of A549GFP cells in the controls, targeted, and non-targeted A549 area were quantified from the images. Average fluorescence intensity of A549GFP cells in A549GFP-A549 cell samples (B) and A549GFP-WI38 cell samples (C). Arrows represents the decrease of γ -H2AX between 1 and 4 hrs.

REFERENCES

1. Konishi, T, *et al.*, SPICE-NIRS Microbeam: a focused vertical system for proton irradiation of a single cell for radiobiological research., *J. Radiat. Res.*, 54(2013)736-747.

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号 : S14-TK01

課題名 : ヒト正常及びヒトがん細胞間における放射線誘発バイスタンダー細胞応答の解析

課題代表者 : 小西輝昭

Proceedings

1. Alisa Kobayashi, Noritsugu Yamagata, Kazumi Moriguchi, Keiko Warren, Yoshiya Furusawa, Teruaki Konishi
Procedures of cell culture, irradiation and immunofluorescent staining for radiobiological studies using NIRS-Single-Particle Irradiation system to CELLS(SPICE).
NIRS Technology, 9, 1 - 7, 2015-08

学会発表 (口頭発表、ポスター発表、講演等)

1. Alisa Kobayashi, Teruaki Konishi, Masakazu Oikawa, Yukio Uchihori, Shino Takeda, Yoshito Kumagai, Yoshiya Furusawa
An examination of how neighboring un-irradiated normal cells inhibit repair of irradiated cancer cells.
The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response,
2. Alisa Kobayashi, Teruaki Konishi, Masakazu Oikawa, Yukio Uchihori, Shino Takeda, Yoshito Kumagai, Yoshiya Furusawa
Analysis of the bystander effect between microbeam targeted cancer cells and non-targeted normal cells.
15th International Congress of Radiation Research, 2015-05
3. Alisa Kobayashi, Noritsugu Yamagata, Kazumi Moriguchi, Keiko Warren, Yoshiya Furusawa, Teruaki Konishi
Procedures of cell culture, irradiation and immunofluorescent staining for radiobiological studies using NIRS-Single-Particle Irradiation system to CELLS(SPICE).
NIRS Technology, 2015-08

Research and Development of SPICE-NIRS microbeam

Teruaki KONISHI^{a,b*}, Alisa KOBAYASHI^{a,b}, Masakazu OIKAWA^a, Yoshiya FURUSAWA^{a,b}

^{a)} Research, Development and Support Center, ^{b)} SPICE-BIO research core, NIRS International Open Laboratory, National Institute of Radiological Sciences, Japan

Microbeams made it possible to deliver a defined number of charged particles on a single cell with a resolution of a few micrometers, and are most advantageous for the studies of biological response on low dose radiation. Our microbeam irradiation system, the SPICE-NIRS microbeam provides a 3.4 MeV proton microbeam focused with a quadrupole magnetic lens on an upward vertical beam line. In the previous fiscal year, 2014, we made several major advancements in the SPICE operation system. We re-developed our operation system with 64bit OS platform and installed PCI-Express (PCIe) SSD board (RevoDrive3x2 240GB PCI-Express) which has potentials to read and write data with 1000 MB/secs and it is approximately 100 folds faster compared to ordinary HDD. These developments made SPICE capable of targeting cells with 1/5 of time for image capturing and image analysis.

In this FY2015, we conducted several developments on the optical configuration of ON and OFF-line microscope system to full fill the advantageous features of high throughput imaging system that were accomplished by the previous year. The optical configuration between the camera and the optical lens was designed to be 40 mm closer than the previous design (Figure 1A). From this modification, due to the light decreased path from the light source to optical lens, and the focused plane, exposure time of the camera was reduced to 1/2 ~ 1/5 depending on the selected fluorescent wavelength.

In addition, we redesigned our X-Y axis voice coiled motorized (VCM) stage of OFF-line microscope system (Figure 1B, C). Currently VCM stage installed on the ON-LINE microscope system made possible to irradiate 400 cells per minute, which is still the fastest in Japan. However, the small stroke distance of 8 mm, which limited the number cells to be targeted and it applications in radiobiology. To overcome the limitations, newly designed VCM stage can be controlled with longer distance of 26 mm stroke with 40 nm resolution. In case of irradiation, it was estimated that the stage enables cell irradiation to be 300 cells per minutes, which is slightly slower compared to the currently installed VCM stage of the ON-line microscopic system. It is under optimization for higher speed control and to be installed on ON-LINE microscope.

Currently, SPICE can target mammalian cells from single ion with stability and high throughput using an upward vertical beam of below 2-micrometer in diameter [1]. A variety of irradiation modes have been established for radiation-induced bystander effects, cytoplasmic irradiation, etc. Within these several years, we have focused on the radio-induced bystander effects, especially on the aspect on the damaging and protective bystander response and signaling between two different kinds of cells, such as 1) human lung cancer and normal cells, and 2) cancer stem-like cells, CSCs and non stem-like cancer cells, NSCCs in human fibro-sarcoma HT1080 cells. SPICE was successful in

contributing in the studies of radiobiology and radio-oncology. [2- 5]

Over 90 days of beam time were provided to SPICE microbeam proposals without any cancellations due to the machines. Many researchers from overseas have visited our SPICE-NIRS microbeam and we diligently worked on providing DEMO beam times to researchers with an interest in radiological studies using microbeam techniques.

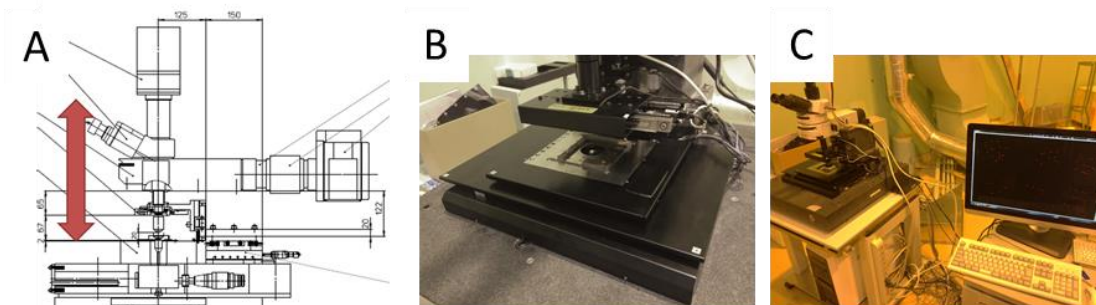


Figure 1. New Optical configuration (A), and new VCM stage installed on SPICE OFF-LINE microscope system (B, C).

Keywords: SPICE; proton; microbeam; DNA damage; cytoplasm irradiation

REFERENCES

1. Konishi, T., et al. SPICE-NIRS Microbeam: a focused vertical system for proton irradiation of a single cell for radiobiological research. *J Radiat Res*, 2013; **54**: 736–747.
2. Morishita M, Muramatsu T, Suto Y, Hirai M, **Konishi T**, Hayashi S, Shigemizu D, Tsunoda T, Moriyama K, Inazawa J, Chromothripsis-like chromosomal rearrangements induced by ionizing radiation using proton microbeam irradiation system., *Oncotarget*, (in press)
3. Liu Y, Kobayashi A, Fu Q, Yang G*, **Konishi T***, Uchihori Y, Hei TK, Wang Y, Rescue of Targeted Nonstem-Like Cells from Bystander Stem-Like Cells in Human Fibrosarcoma HT1080, *Radiation Research* 184 (3); 334-340 (2015)
4. Liu Y, Kobayashi A, Maeda T, Fu Q, Oikawa M, Yang G*, **Konishi T***, Uchihori Y, Hei TK, Wang Y, Targeted irradiation induced bystander effects between stem-like and non-stem cancer cells. *Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 773: 43-47 (2015)
5. Autsavapromporn N*, Plante I, Liu C, **Konishi T**, Usami N, Funayama T, Azzam EI, Murakami T, Suzuki M, Genetic changes in progeny of bystander human fibroblasts after microbeam irradiation with X rays, protons or carbon ions: The relevance to cancer risk. *International Journal Radiation Biology*. 91 : 1-34 (2015)

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号:S14-TK01

課題名:ヒト正常及びヒトがん細胞間における放射線誘発バystanダー細胞応答の解析

課題代表者:小西輝昭

原著論文

1. Maki Morishita, Tomoki Muramatsu, Momoki Hirai, Yumiko Suto, Teruaki Konishi, Shin Hayashi, Tatsuhiko Tsunoda, Kenji Moriyama, Johji Inazawa
Chromothripsis-like chromosomal rearrangements induced by ionizing radiation using proton microbeam irradiation system
Oncotarget, 2016-02, DOI:10.18632/oncotarget.7186, 2016-02
2. Yu Liu, Alisa Kobayashi, Qibin Fu, Gen Yang, Teruaki Konishi, Yukio Uchihori, Tom K. Hei, Yugang Wang
Rescue of Targeted Nonstem-Like Cells from Bystander Stem-Like Cells in Human Fibrosarcoma HT1080
Radiation Research, 184(3), 334 – 340,

Proceedings

1. Maki Morishita, Tomoki Muramatsu, Shin Hayashi, Momoki Hirai, Yumiko Suto, Teruaki Konishi, Kenji Moriyama, Johji Inazawa
Exploration of mechanisms for chromothripsis by irradiation
Cancer Research, 75(15 Supplement), 3869 - 3869, 2016-08

学会発表(口頭発表、ポスター発表、講演等)

3. Maki Morishita, Tomoki Muramatsu, Shin Hayashi, Momoki Hirai, Yumiko Suto, Teruaki Konishi, Keiji Moriyama, Johji Inazawa
Exploration of mechanisms for chromothripsis by irradiation.
American Association for Cancer Research Annual Meeting 2015, American Association for Cancer Research, 2015-04-21
4. Narongchai Autsavapromporn, Ianik Plante, Chi hua Liu, Teruaki Konishi, Noriko Usami, Tomoo Funayama, Yukio Uchihori, Tom K. Hei, Edouard I Azzam, Takeshi Murakami, Masao Suzuki
Genetic Changes in Progeny of Bystander Human Fibroblasts After Microbeam
15th International Congress of Radiation Research, 15th International Congress of Radiation Research Committee, 2015-05-28

5. Narongchai Autsavapromporn, Ianik Plante, Cui hua Liu, Teruaki Konishi, Noriko Usami, Tomoo Funayama, Edouard I. Azzam, Takeshi Murakami, Masao Suzuki
Late Effects in the Progeny of Bystander Human Cells are Dependent on Radiation Quality: The Relevance to Cancer Risk
The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation, 2015-06-01
6. arongchai Autsavapromporn, Ianik Plante, Cui hua Liu, Teruaki Konishi, Noriko Usami, Tomoo Funayama, Yukio Uchihori, Tom K. Hei, Edouard I Azzam, Takeshi Murakami
Intercellular Communication in the Propagation of Bystander Effect and Genomic Instability in Human Cells after X-ray, Proton and Carbon
15th International Congress of Radiation Research, International Congress of Radiation Research Committee, 2015-05-28
7. Narongchai Autsavapromporn, Ianik Plante, Cui Hua Liu, Teruaki Konishi, Noriko Usami, Tomoo Funayama, Yukio Uchihori, Tom K. Hei, Edouard I. Azzam, Sirikan Yamada, Takeshi Murakami, Masao Suzuki
Bystander effect and genomic instability in human cells and their progeny after irradiation with X rays, protons or carbon ions: role of gap junction communication
American Association for Cancer Research Annual Meeting 2015, American Association for Cancer Research, 2015-04-20
8. Chen Dong, Teruaki Konishi, Wenzhi Tu, Alisa Kobayashi, Yoshiya Furusawa, Yukio Uchihori, Tom K. Hei
Role of Endoplasmic Reticulum and Mitochondrion in proton microbeam irradiation induced bystander effect
The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, 2015-05-31
9. Hideki Matsumoto, Masanori Tomita, Munetoshi Maeda, Masanori hatashita, Tomoo Funayama, Yuichiro Yokota, Yasuhiko Kobayashi, Ryoichi Hirayama, Teruaki Konishi
A Multitudinous Development of Microbeam Radiation Research in Japan
15th International Congress of Radiation Research, 2015-05-29
10. Chunlin Shao, Chen Dong, Wenzhi Tu, Teruaki Konishi, Yukio Uchihori, Yoshiya Furusawa
Macrophage, Co-cultured with Irradiated Lung Cancer Cells, Plays a Role in Triggering Secondary Bystander Effects on Epithelial Cells
15th International Congress of Radiation Research, 2015-05-29
11. Teruaki Konishi, Alisa Kobayashi, Peter KN Yu, Gen Yang, Tengku Ahbrizal Farizal Tengku Ahmad, Masakazu Oikawa, Yoshiya Furusawa
SPICE-NIRS Microbeam: a focused vertical system for proton irradiation of a single cell for radiation biology
The 12 th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, 2015-05-31
12. Jun Wang, Teruaki Konishi, Alisa Kobayashi, Masakazu Oikawa, Tom K. Hei, Yukio Uchihori, Lijun Wu
Activation of Nrf2 Antioxidative Response In Normal Human Lung Fibroblast WI38 By Cytoplasm Targeted Irradiation With Proton Microbeam In NIRS
The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, 2015-06-01

13. Teruaki Konishi, Alisa Kobayashi, Masakazu Oikawa, Yoshiya Furusawa, Peter KN Yu, Gen Yang, Yoshiyuki Shirakawa, Yukio Uchihori
Current Status and Radiobiological Studies Using SPICE-NIRS Microbeam Irradiation System
International Congress of Radiation Research 2015, 2015-05-28
14. Yu Lui, Alisa Kobayashi, Takeshi Maeda, Qibin Fu, Masakazu Oikawa, Gen Yang, Teruaki Konishi, Yukio Uchihori, Tom K. Hei, Yugang Wang
Target irradiation induced bystander effects between stem-like cancer cells and cancer cells
The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, 2015-05-30
15. Bandri N. Pandey, Sejal Desai, Alisa Kobayashi, Teruaki Konishi
Transmission and repair of DNA damage signal to bystander cells from the population of proton microbeam irradiated human cells
The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response, 2015-05-30

NASBEE 関連課題

ポリエチレンモデレータ中の熱・熱外中性子の測定

○嶋崎拓人^{a)}, 佐藤 齊^{b)}, 濱野 毅^{c)}, 田中憲一^{a)}, 梶本 剛^{a)}, 星 正治^{d)}, 川村 拓^{b)}, 遠藤 暁^{a)}
^a 広島大院工 ^b 茨城県立医療大 ^c 放射線医学総合研究所 ^d 広島大平和セ

目的

中性子補足療法は、近年盛んに研究及び臨床治療が行われている放射線治療であり、安定同位元素を予め癌細胞に取り込ませ、中性子を照射した際に発生する重荷電粒子を利用して癌細胞を破壊する療法である。原理的に細胞レベルで腫瘍のみを選択的に破壊することができるため、正常組織に浸潤した腫瘍にも適用できるという特徴がある。この療法に用いられる代表的な安定同位元素が ^{10}Be である。 ^{10}Be を用いた中性子補足療法はホウ素中性子補足療法 (BNCT) と呼ばれている。これまで中性子補足療法はすべて、中性子線源として研究用原子炉を用いて行われてきているが、近年では加速器を用いた中性子補足療法の可能性が高まっている。加速器の特徴として街中の病院に併設できることや、照射方向の調節の容易さ、短時間で始動及び停止が行えることから治療中のトラブルに即座に対応できるなどの利点があり、実用化を目指した検討が積極的に行われている。

本研究では、加速器中性子源をもしいる場合、必要とされる中性子線のモニターの熱・熱外中性子に対する感度決定を目的に、まず、ポリエチレンモデレータ中における熱・熱外中性子の測定を行った。測定には金放射化法¹⁾を用いた。

実験

実験には、放射線医学総合研究所低線量施設 NASBEE 加速器からの d-Be (d エネルギー 4 MeV、電流値 390 μA) 中性子源を用いた。ナイロン板 (厚さ 1 cm と 5 cm) を組み合わせ、30 cm 厚さのモデレータとした。30 cm のモデレータ表面から 10 cm までは 1 cm ごとに、10 cm-30 cm では、5 cm ごとに、ビーム軸上の各深さに 20 μm の裸の金 (Au) と厚さ 0.5 mm の Cd で挟んだ金 (Cd-Au) を設置した。本金放射化法¹⁾では、Cd-Au により熱中性子以外の中性子による放射化量を、また Au と Cd-Au の放射化量の差を取ることで熱中性子による放射化量を決定する。それぞれの放射化量から熱中性子・熱外中性子線束を決定する。

照射は、ビームコリメータ端から 45 cm の位置で、モデレータが無いときに中性子線量が 1 Gy となる条件で照射を行った。照射終了後、放射化した金を NaI 井戸型シンチレーションカウンター (キャンベラ CJ-NaI-3W) で測定を行った。Au と Cd-Au 中に生成した。

^{198}Au の放射化量から熱中性子束と熱外中性子束を決定した¹⁾。本解析で必要となる、Cd 吸収補正係数 (F_{Cd}) および金箔中における自己遮蔽因子 (ϵ) は、PHITS コードを用いたモンテカルロ計算で決定した。

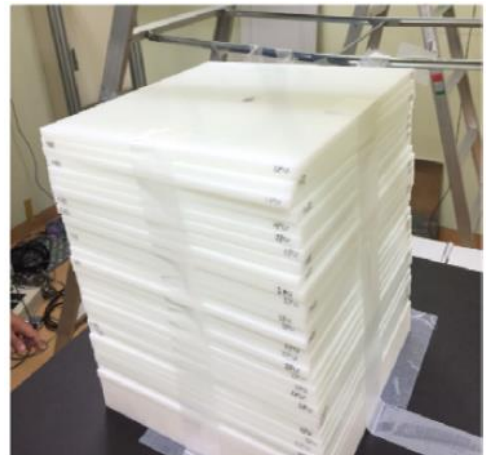


図1 照射セットアップ

結果及び考察

PHITS 計算の結果、 F_{Cd} は、ポリエチレンの厚さによらず、 1.003 ± 0.0018 で一定であった。したがって、本解析では、平均値 1.003 を用いた。また ε はポリエチレンの表面で 1.12、深くなるとともに 1.074 まで減少した。これらの補正係数を利用し得られた、熱・熱外中性子束のポリエチレン深度依存性を図 2 に示す。熱では 3 cm、熱外では 2 cm の深さで最大値を示し、線束最大値は、熱で 4.3×10^5 ($cm^{-2} \cdot sec^{-1} \cdot \mu A^{-1}$)、熱外で 6.7×10^3 ($cm^{-2} \cdot sec^{-1} \cdot \mu A^{-1}$)であった。

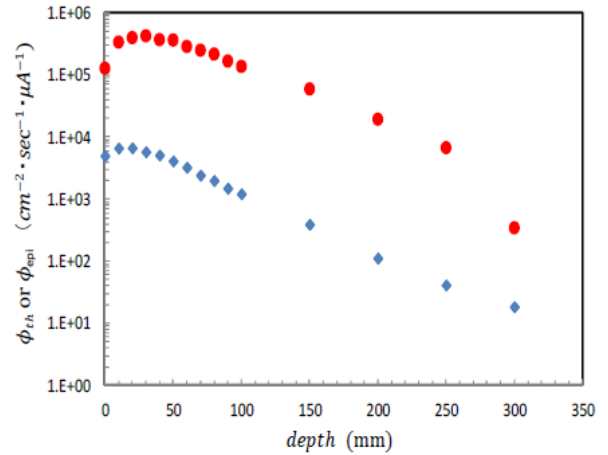


図 2 熱・熱外中性子束の測定結果

まとめ

BNCT 治療線量モニター用電離箱の熱・熱外中性子に対する感度を決定する前段階として、NASBEE・d-Be 中性子源からの中性子線に対して、ポリエチレンモデレータ中での熱・熱外中性子束を実験的に求めた。今後電離箱の感度の決定を目指す。

参考文献

1)S.Endo, et al., Health Phys., 93, 689--695 (2007).

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号：13CV0015

課題名：Li(p, n)Be 中性子発生装置と Li 拡散防止技術の開発

課題代表者：濱野毅

学会発表（口頭発表、ポスター発表、講演等）

1. 嶋崎拓人

BNCT 中性子モニターに用いる電離箱の感度の実験的評価

原子力学会中国四国支部研究発表会, 2015-09-10

学位論文

1. 嶋崎拓人

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)線量モニター用 LBO 電離箱の中性子感度の実験的評価

広島大学（卒業論文）

ポリマーゲル線量計を用いた中性子線量測定

○川村 拓^a、吉井 裕^b、須田 充^b、佐藤 齊^a、濱野毅^b

a: 茨城県立医療大学

b: 放射線医学総合研究所

【背景・目的】原子力、航空宇宙、半導体、非破壊検査、医療など、中性子はさまざまな分野で広く利用されており、特に医療応用では近年熱中性子捕捉療法（BNCT）も着目されている。医療では中性子自体による治療のほかに陽子や炭素を用いた粒子線治療も積極的に行われており、2 次的に発生する中性子の評価も必要となる。医療において放射線利用に伴う中性子線量評価は早急に取り組むべき課題であるといえる。また、その際に 3 次元の線量情報が得られれば現在使用している線量計測手法に追加した情報となり有用である。本研究では水にビニルモノマーを配合した化学線量計を利用し、中性子線量計測を行っている。化学線量計であるポリマーゲル線量計（ゲル線量計）は 80%以上が水でできており、ビニルモノマーの放射線による重合反応を利用した線量計である。任意の容器に封入することによりさまざまな形状にすることができ、3 次元線量計として種々の線量測定技術への利用が期待されている。平成 26 年度までの実験では、ゲル線量計の中性子線量応答感度が γ 線や X 線と比較して低いことを明らかにした。26 年度までは市販キットを使用した。感度向上が困難であるため、今年度からは試薬を配合し自作ゲル線量計を作製することとした。本年度は、自作の PAGAT 線量計に切り替えたことによる線量計の基礎特性に関する検討を行った。

【方法】PAGAT 線量計は蒸留水にゼラチン、アクリルアミド、Bis、THPC（表 1）を配合して作製した。また、PAGAT 線量計の線量感度を向上させるために塩化マグネシウム[1]を添加したゲル線量計（PAGAT/MgCl₂）も作製し（表 1）、中性子 0.5～6.5 Gy をゲル線量計に照射した。

【結果・まとめ】PAGAT および PAGAT/MgCl₂ 線量計どちらも線量応答性が得られた（図 1）。線量感度は PAGAT で 0.073（1/(Gy・s)）、PAGAT/MgCl₂ で 0.190（1/(Gy・s)）となり、塩化マグネシウム添加による線量感度向上が見られた。

[1] S. Hayashi., M. Yoshioka., et al., Effect of inorganic salt on the dose sensitivity of polymer gel dosimeter. Radiation Physics and Chemistry.81(2012) 884-888.

表 1. PAGAT および PAGAT/MgCl₂ 線量計組成

	PAGAT	PAGAT/MgCl ₂
Water	89 wt%	89 wt%
Gelatin	5 wt%	5 wt%
Acrylamide	3 wt%	3 wt%
Bis: N, N'-methylene-bis-acrylamide	3 wt%	3 wt%
THPC: Tetrakis(hydroxymethyl)phosphonium chloride	5 mM	5 mM
MgCl ₂	—	0.5 M

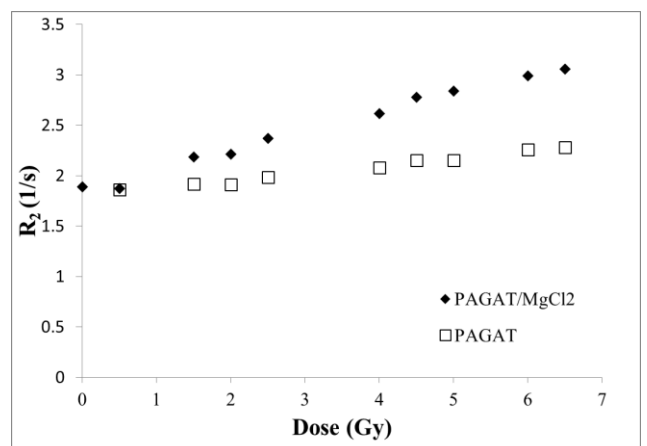


図 1. PAGAT および PAGAT/MgCl₂ 線量計の線量応答感度特性

熱外中性子線測定用電離箱による中性子場の評価

○佐藤 齊^a, 中島絵梨華^a, 川村 拓^a, 須田 充^b,
濱野 毅^b, 遠藤 暁^c, 東又 厚^d, 星 正治^c

^a茨城県立医療大学, ^b放射線医学総合研究所, ^c広島大学, ^d三樹工業

目的: 加速器中性子発生場は、ガンマ線、熱中性子線、熱外中性子線、高速中性子線の放射線混合場である。放射線混合場の線量および線質の変化などを精密に評価するためには、照射中の各放射線由来の線量を分離して測定する線量モニタシステムが必要とされている。特に、熱外中性子線の線量モニタでは高精度かつ安定した測定が求められる。

これまでに、熱外中性子線測定用電離箱として、加工性が高いホウ素入り素材により電離箱を試作し、良好な測定結果が得られた。本研究では、加速器中性子発生場における熱外中性子線の線量を高精度に評価するために開発した熱外中性子線量測定用電離箱を用い、線量モニタリングシステムを構築する。これにより、試料等への照射精度が向上し、加速器中性子発生場における実験精度の向上に寄与することが期待される。

方法: 放射線医学総合研究所低線量棟のタンデム型ダイナミトロン (HVEE) : NASBEE を用いて測定実験を行った。使用した測定システムを図 1 に示した。試作した熱外中性子線用電離箱とグラフィット壁電離箱 (IC-17: Far West Technology)、ボロン入り電離箱 (IC-17B: Far West Technology)、組織透過型電離箱 (IC-17: Far West Technology) のそれぞれの中心電極を+ 電位として 300 V の電圧を印加した。それぞれの電離箱からの出力を電位計 ((a)6517A, (b) 6517B, (c) 6823: Keithly) に接続して電離電流を測定した。また、ターゲット電流をモニタするために、サプレスした電流を IF 変換後にカウンタ ((d) Lab. Eq.) で測定し、ビーム変動を補正した。その他、タイマカウンタ(e)、気温計 (f)、気圧計(g)を用い、それぞれの計測値を PC にほぼ同時に取得するシステムとした。



図 1 測定システム

結果・考察: ポリエチレンファントム内に電離箱を挿入して深さ別に測定した結果を図 2 に示した。図は陽子加速エネルギー4 MeV (Be ターゲット) の場合である。ガンマ線量を評価するために用いた OSL 線量計による測定結果を重ねてある。電離箱の応答補正用として、OSL 線量計の校正値を適切に得ることにより線量モニタシステムを効率的に構築できることが判った。

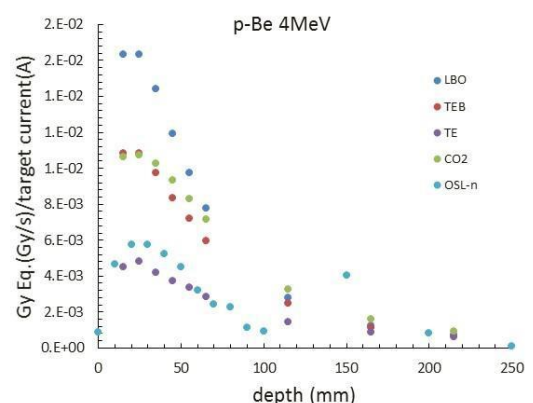


図 2 ポリエチレンファントム内の測定結果

中性子線の乳がん誘発生物学的効果比の年齢依存性

○今岡達彦^a、臺野和広^a、蒲地雄大^{ab}、森山ひとみ^{ab}、西村まゆみ^a、高畠賢^a、島田義也^a
a:放射線医学総合研究所 b:首都大学東京

二次中性子線の発生を伴う粒子線治療や高度変調放射線治療などによる人体の正常組織のがんリスクはよくわかっていない。これらの治療は小児腫瘍及び成人期腫瘍に適用されることから、リスクの被ばく時年齢依存性に関する情報が必要である。

乳腺は放射線発がんリスクが高く、放射線防護上の重要臓器の一つである。我々は、ヒトの乳がんに近い病態を示す実験動物であるラットを用いて、放射線による乳がんのリスクを研究してきた。これまで、 γ 線及び ^{12}C 炭素イオン線(monoビームの約14 keV/ μ mのプラトー領域)を様々な年齢のラットに照射する実験を行い、炭素イオン線の生物学的効果比(RBE)が思春期前には低いこと等を見いだした[1]。また、NASBEEを使用して幼若期及び成体期のラットに照射した2 MeV中性子線の生物学的効果比(RBE)を解析し、中性子線の場合も思春期前にRBEが低いことを見いだした(論文準備中)。この結果をヒトに当てはめるにあたって、RBEが年齢により変化するメカニズムがヒトにも共通しうることを確認する必要があるが、そのメカニズムは不明である。また、中年期の中性子線被ばくによる乳がんリスクについては知見がない。さらに、妊娠経験は乳がんリスクを修飾する重要な要因であるため、中年女性では妊娠経験の有無によるリスクの修飾も考慮する必要がある。

本研究課題では、乳がん誘発に関する中性子線RBEの年齢依存性をより明らかにするため、思春期前の乳腺でRBEが低くなるメカニズムの解明と、中年期のRBE及びその妊娠経験による変化の解明を目的とする。これらの研究は厳密な衛生管理下の動物施設内で中性子線を照射するというNASBEEの設計理念に合致し、新規性が非常に高い。

平成27年度のマシンタイムでは、成熟した成体(15週齢)及び中年期(35週齢)の経産及び未経産雌ラットを、麻酔下で仰臥位(乳腺の位置する腹側をビーム入射面に向ける。)に固定し、中性子線0.05 Gy、0.2 Gyもしくは0.5 Gyを全身照射する実験の設定を昨年度より継続して行い、完了した。今後は、長期飼育を行って乳がんの発生リスクを観察する。また、中性子線照射後の正常乳腺組織が示す応答の解析についても、進捗を報告する。

参考文献

[1] T. Imaoka, M. Nishimura, K. Daino, et al., Influence of age on the relative biological effectiveness of carbon ion radiation for induction of rat mammary carcinoma. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **85** (2013) 1134–1140.

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号: 14SP0008

課題名: 中性子線の乳がん誘発生物学的効果比の年齢依存性

課題代表者: 今岡達彦

学会発表(口頭発表、ポスター発表、講演等)

1. 西村 まゆみ , 今岡 達彦 , 臺野 和広 , 細木 彩夏 , 高畠 賢 , 小久保 年章 , 西村 由希子 , 須田 充 , 萩原 拓也 , 柿沼 志津子 , 島田 義也
ラット乳がんモデルを用いた中性子線による乳がんリスクの検討
日本宇宙生物科学会第 29 回大会, 2015-09-26 ~ 2015-09-27
2. 森岡 孝満 , 山田 裕 , Blyth Benjamin , 今岡 達彦 , 石田 敦郎 , 大竹 淳 , 下村 岳夫 , 竹下 洋 , 島田 義也 , 柿沼 志津子
放医研における放射線生物影響研究資源アーカイブの構築
日本放射線影響学会、放射線ワークショップ(第 1 回)-未来に繋ぐ放射線研究-, 2015-10-16 ~ 2015-10-17
3. 蒲地 雄大 , 臺野 和広 , 今岡 達彦 , 西村 まゆみ , 細木 彩夏 , 西村 由希子 , 井上 一雅 , 福士 政広 , 島田 義也
ラット乳腺における放射線応答の思春期前後と LET による違い
日本放射線影響学会、放射線ワークショップ(第 1 回)-未来に繋ぐ放射線研究-, 2015-10-16 ~ 2015-10-17

中性子照射した歯牙のインビボ EPR 信号の測定

○山口一郎¹ 佐藤 齊² 川村 拓² 濱野毅³ 須田充³ 吉井裕³ 三宅実⁴

- 1) 国立保健医療科学院 2) 茨城県立医療大学
3) 放射線医学総合研究所 4) 香川大学 医学部

1. 研究目的

放射線災害や原子力事故時のトリアージを行う際の一手段として、放射線照射で歯牙に生成される安定なフリーラジカル($\text{CO}_3^{\cdot-}$)を EPR (electron paramagnetic resonance) により測定し、被曝量を推定する手法が検討されている。本研究では、非破壊的に行う L band 測定法の可能性を検討する。L band EPR 法では、これまで γ 線について応答特性が評価されてきているが、実際のトリアージでは中性子被ばく線量についても検討が求められうる。また、価値のある試料を調べる際には非破壊的な検査が望まれる。そこで、本研究では、歯牙のインビボ EPR 測定の中性子応答特性を調べることを目標とした。

2. 研究内容

放医研の NASBEE 中性子照射場にて、歯牙試料に中性子を照射し L band で EPR 信号を計測した。また、PHITS を用いたシミュレーション計算でハイドロキシアパタイトへのエネルギー付与の特性を検討した。

3. 研究結果

放射線場の特性を把握するために既に実施していた Li-6 を用いた OSL 線量計での熱中性子のポリエチレンファントム内の深さ別の線量分布が PHITS による計算で概ね再現されることを確認した(図 1, 図 2)。中性子への応答は、中性子の照射により線量に依存して信号が増加することが確認されていたが、PHITS でのシミュレーション計算で、ハイドロキシアパタイトでは水素の含有量が少ないために、水に比べて反跳陽子によるエネルギー付与は 8%程度であることを確認した。Cs-137 線源に比べ医療現場で使われる X 線では 4 倍程度応答が大きいことを確認し、このことから、中性子による応答は、Cs-137 線源による γ 線に比べて、3 割程度になると考えられた。中性子照射後の EPR 信号のフェーディングに関して、NASBEE に L band EPR 装置を持ち込み、それが検出可能な程度ではないことを確認した。NASBEE での計測では、比較的 S/N の変動が大きく、電波暗室では S/N の変動が安定し 2 倍程度向上することを確認した。

4. 今後の研究予定

中性子の応答に関して深さ別に照射した試料の読み取りが装置のトラブルのために実施できなくなっていたために、読み取りを進める。また、 γ 線の寄与に関して、歯に照射された吸収線量の評価法を確立し、その程度を明らかにする。

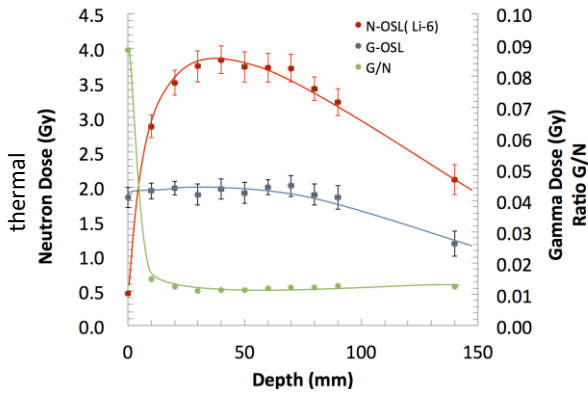


図 1. 熱中性子及びγ線の深さ分布計測結果

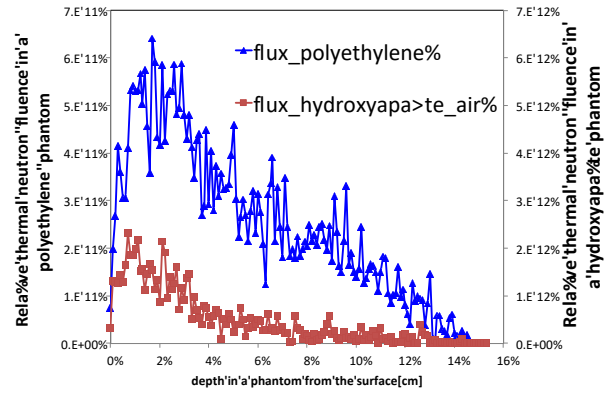


図 2. 中性子及びγ線の深さ分布計算結果

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号: 15CV0010

課題名: 中性子照射した歯牙のインビボ EPR 信号の測定

課題代表者: 吉井裕

学会発表(口頭発表、ポスター発表、講演等)

1. Ichiro Yamaguchi, Hitoshi Sato, Hiraku Kawamura, Tsuyoshi Hamano, Mitsuru Suda, Hiroshi Yoshii, Minoru Miyake, Yasuhiro Nakai, Hiroshi Hirata, Naoki Kunugita.
L-band EPR tooth dosimetry for neutron and heavy ion.
BioDose 2015. October 4-8, 2015 Hanover, NH, USA
2. 山口一郎, 佐藤斉, 川村拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実, 中井康博, 平田拓, 樺田尚樹
歯を用いた L-band EPR による線量推計法の開発
第 48 回日本保健物理学会研究発表会; 2015 年 6 月; 東京
日本保健物理学会研究発表会 要旨集 P111
3. 山口一郎, 佐藤斉, 川村拓, 濱野毅, 須田充, 吉井裕, 三宅実, 中井康博, 平田拓, 樺田尚樹
歯を用いた L-band EPR による線量推計法の基礎的な検討
第 14 回日本放射線安全管理学会; 2015 年 12 月; 茨城
日本放射線安全管理学会 要旨集 P67
4. 樺田尚樹, 山口一郎, 志村勉, 三宅実, 中村麻子, 盛武敬
緊急被ばく医療が必要とされるような事故発生時におけるトリアージのための線量評価 手法の検討
第 89 回日本産業衛生学会; 2016 年 5 月 24-27 日、福島
5. 山口一郎. 原子力災害後のリスク・コミュニケーション活動-不信の連鎖を解くために何ができるか?-. 筑波放射線安全交流会; 2015 年 7 月; 茨城

中性子線被ばくによる発がん影響とその防護効果の検討

(

○鶴岡千鶴、品川まゆみ、尚 奕、甘崎佳子、島田義也、柿沼志津子
放射線医学総合研究所 放射線防護センター 発達期被ばく影響研究プログラム

チェルノブイリの原発事故、茨城県東海村の JCO 事業所の臨界事故等において、最も重篤な放射線障害を誘発したのは中性子線被ばくである。また近年、IMRT や重粒子線・陽子線治療などが普及し、腫瘍周辺部正常組織への中性子線をはじめとする二次放射線（二次粒子線）による被ばくが問題となっている。このように中性子線被ばくによる急性影響から晩発影響までを明らかにすることは急務である。

我々はこれまでに B6C3F1 マウスにおけるガンマ線、重粒子線、中性子線による被ばく時年齢依存性について解析を行ってきた。これまでに、放射線照射後の寿命短縮率を指標とした結果から、こども期の被ばくは成体期に比べリスクが大きいことが明らかになってきた。また、ヒトの急性リンパ性白血病のモデルである胸腺リンパ腫の発生率は、こども期のガンマ線 1 回照射に比べ重粒子線（炭素線）1 回照射で生物学的効果比は約 1～1.5 であった。また、ガンマ線誘発胸腺リンパ腫に比べ炭素線誘発リンパ腫では、ゲノムに生じる変異の頻度が高くなることを明らかにした(1)。しかし、これまでの中性子線被ばく(0.05～1.0 Gy)では胸腺リンパ腫の発生を確認できていない。

そこで本研究では、B6C3F1 マウスにおける LD50/30 を明らかにするとともに、中性子線被ばくによる胸腺リンパ腫の誘発線量を明らかにし、中性子線被ばくにより生じる胸腺リンパ腫の生物学的効果比を算出することを目的とする。また、中性子線誘発胸腺リンパ腫がえられた場合にはゲノム変異の特徴を解析する。

本報告では、これまでに得られた B6C3F1 マウスの中性子線による LD50/30 の結果を報告する。また、報告会までに胸腺リンパ腫の発生が認められた場合は、その結果もあわせて報告する。

参考文献

[1] B.J. Bltlyh., S. Kakinuma., et al., Genetic Analysis of T Cell Lymphomas in Carbon Ion-Irradiated Mice Reveals Frequent Interstitial Chromosome Deletions: Implications for Second Cancer Induction in Normal Tissues during Carbon Ion Radiotherapy. *PLOS ONE*. 10(6) (2015) e0130666.

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号: 15SP-009

課題名: 中性子線被ばくによる発がん影響とその防護効果の検討

課題代表者: 柿沼志津子

学会発表(口頭発表、ポスター発表、講演等)

1. 山崎隼輔、森岡孝満、柿沼志津子、山田裕、臺野和広、甘崎佳子、島田義也
Comparison of genomic alterations in B6C3F1 mouse lung adenocarcinomas induced by gamma-rays, carbon ions or neutrons
15th International Congress of Radiation Research, 2015-05.
2. 鶴岡千鶴、上西睦美、品川まゆみ、須田充、萩原拓也、尚奕、甘崎佳子、島田義也、柿沼志津子
Ptch1 遺伝子ヘテロ欠損マウスの中性子線誘発髄芽腫と被ばく時年齢依存性
日本宇宙生物科学会第 29 回大会, 2015-09
3. 鶴岡千鶴、柿沼志津子、上西睦美、品川まゆみ、須田充、萩原拓也、尚奕、甘崎佳子、砂押正章、Blyth Benjamin、島田義也
Age-dependent effects of neutron exposure on the incidence of medulloblastoma in Ptch1 heterozygous mice
61st Radiation Research Society Annual Meeting, 2015-09
4. 山崎隼輔、山田裕、森岡孝満、臺野和広、甘崎佳子、島田義也、柿沼志津子
ガンマ線、炭素線、中性子線誘発マウス肺がんにはどのような違いがあるのか?—分子生物学的な解析から—
日本放射線影響学会・放射線ワークショップ, 2015-10

**先端研究基盤共用
プラットフォーム形成事業
関連課題**

サーベイメータ素子の放射線による劣化に関する試験

○鎌田 貴志^a、白川 芳幸^b、石川 剛弘^c、小林 亜利紗^c

a:応用光研工業(株) b:早稲田大学、 c:(国)放射線医学総合研究所

1. 背景

東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、多種多様な放射線サーベイメータが空間線量率の測定(ガンマ線を測定)、汚染検査(ベータ線を測定)に使用されている。特に汚染検査ではプラスチックサーベイメータと GM サーベイメータが有効である。その中でも大面積化(100 平方センチ以上)できるプラスチックサーベイメータには大きな期待が寄せられている。ここ数年に渡り、京都大学、放射線医学総合研究所、帝人、日立アロカメディカル、応用光研工業ではプラスチックシンチレータの開発、評価が積極的に行われている¹⁾⁻¹⁹⁾。しかしながら原発事故以降、除染作業などで毎分 $10^4 \sim 10^5$ 個の汚染が測定されることがある。ベータ線のみではなくガンマ線も存在するので検出素子にとっては過酷な環境である。これを受けて本研究ではセシウム 137 (Cs-137) のガンマ線の暴露によって検出素子の性能劣化が生じるかどうかを試験する。

2. 実験方法

使用装置は X 線棟標準線源室 ガンマ線照射装置(図 1、Cs-137)、照射素材はバイクロン社製プラスチックシンチレータ BC-408(図 2、50 mm x 50 mm x 5 mm)、照射線量・位置は、線源中心から約 60 cm で 100 mGy/h の照射条件で 5 枚の BC-408 にそれぞれ、20、40、60、80、100 Gy 照射し、照射しない 1 枚はコントロールとする。



図 1 ガンマ線照射装置(シャッター閉の状態、正面)

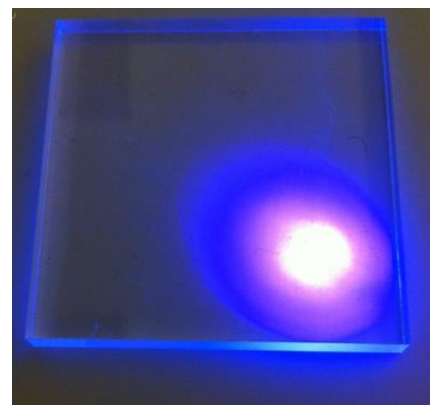


図 2 紫外線(ガンマ線代替)照射で発光する BC-408

3. 実験結果

研修棟にある NaI スペクトル解析装置で Cs-137 の法規制外微弱線源から放出される内部転換電子 625 keV (除染作業における汚染検査ではベータ線および内部転換電子が計数される) のスペクトルピークの変化を観察する。

表 1 のように 0 ~ 100 Gy の照射では計数は変化せずほぼ一定であった。

表 1 ピーク計数率と線量の関係

線量(Gy)	0	20	40	60	80	100
ピーク計数 (370ch)	1442 ±38cpm	1489 ±39cpm	1419 ±38cpm	1521 ±39cpm	1420 ±38cpm	1432 ±38cpm

つぎにスペクトルの全体 (図 3) とピーク近傍の拡大 (図 4) を示す。

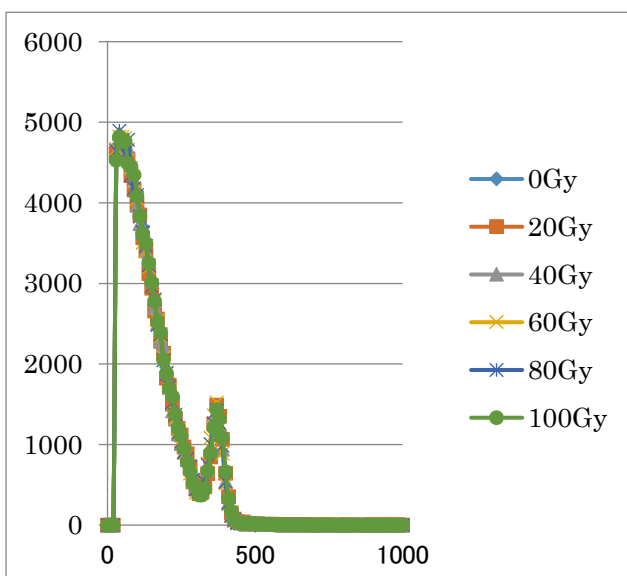


図 3 スペクトル全体 (縦軸: 計数、横軸: ch)

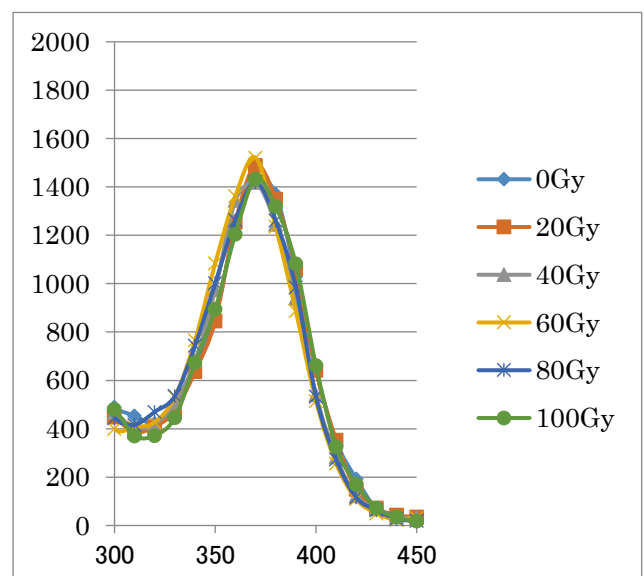


図 4 ピーク近傍 (同左)

4.まとめ

ピーク計数の変化、スペクトル形状の変化を観察すると 0 ~ 100 Gy においては優位な差はなかった。本実験はサーベイメータの限界を超える 100000cpm 以上で実施したこと、100 Gy に到達するには 1667 時間が必要であること、実際の測定はこの 1/10 程度と推定すると 1 日 8 時間作業でおよそ 2100 日に相当する。これは実質的に十分な長期であり、サーベイメータ素子の劣化を考慮する必要がないことが示された。

参考文献

- 1) Hidehito Nakamura, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, Masaya Kanakyama, Yoshiyuki Shirakawa, Sentaro Takahashi, Polysulfone as a scintillation material without doped fluorescent molecules, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A 797,206-2094 (2015)
- 2) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Nobuhiro Sato, Hisashi Kitamura, Osamu Shinji, Katashi Saito, Sentaro Takahashi, Optical characteristics of pure poly (vinyltoluene) for scintillation applications, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A 770, 131-134 (2015)
- 3) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, and Sentaro Takahashi Undoped Polycarbonate for Detection of Environmental Radiation, Jpn. J. Health Phys.,49(2), 98-101 (2014)
- 4) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Nobuhiro Sato, Hisashi Kitamura, Sentaro Takahashi Blended poly(ether sulfone) and poly (ethylene naphthalate) as a scintillation material, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A 759, 1-5 (2014)
- 5) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Nobuhiro Sato, Tatsuya Yamada, Hisashi Kitamura, Sentaro Takahashi, Optimised mounting conditions for poly (ether sulfone) in radiation detection, Applied Radiation and Isotopes, 91, 131-134 (2014)
- 6) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, Sentaro Takahashi, Detection of alpha particles with undoped poly (ethylene naphthalate), Nuclear Instruments and Method in Physics Research A 739, 6-9 (2014)
- 7) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, Sentaro Takahashi, Poly(ether sulfone) as a scintillation material for radiation detection, Applied Radiation and Isotopes, 86, 36-40 (2014)
- 8) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Nobuhiro Sato, Sentaro Takahashi, Characterizing radiation spectra with stacked plastic sheets, Physics Education, 49, 135-136 (2014)
- 9) Yoshiyuki Shirakawa*, Hidehito Nakamura, Takashi Kamata, Katunori Watai, Masaki Mitsunaga, Zenichiro Shidara, Fumio Murakawa: Radiation counting characteristics on surface-modified polyethylene naphthalate scintillators, Radioisotopes, 62, 879-884 (2013)
- 10) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Tatsuya Yamada, Zenichiro Shidara, Takayuki Yokozuka, Philip Nguyen, Tomoyuki Takahashi, Sentaro Takahashi, Blended polyethylene terephthalate and polyethylene naphthalate polymers for scintillation base substrates Radiation Measurements, 59, 172 - 175 (2013)
- 11) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, Osamu Shinji, Katashi Saito, Sentaro Takahashi: Light propagation characteristics of high-purity polystyrene, Applied Physics Letters, 103, 161111 (2013)
- 12) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, Osamu Shinji, Katashi Saito and Sentaro Takahashi: Mechanism of wavelength conversion in polystyrene doped with benzoxanthene: emergence of a complex, nature Scientific Reports, 3, 2502, DOI:10.1038/srep2502 (2013)
- 13) Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Tatsuya Yamada, Philip Nguyen, Sentaro Takahashi: Sences alone cannot detect different properties, Physics Education, 556-558 (2013)
- 14) Hidehito Nakamura, Tatsuya Yamada, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Zenichiro Shidara, Takayui Yokozuka,

Philip Nguyen, Masaya Kanayama, Sentaro Takahashi:

Optimized mounting of a polyethylene naphthalate scintillation material in a radiation detector, *Applied Radiation and Isotopes*, 80, 84-87 (2013)

15) Y. Shirakawa*, H. Nakamura, T. Kamata, K. Watai:

Using a fast response radiation detector based on a response prediction method for decontamination related to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, *Radiation Measurement*, 49, 115-119 (2013)

16) Hidehito Nakamura, Hisashi Kitamura, Osamu Shinji, Katashi Saito, Yoshiyuki Shirakawa, Sentaro Takahashi:

Development of polystyrene-based scintillation materials and its mechanisms, *Applied Physics Letters*, 101, 261110 (2012)

17) H. Nakamura, Y. Shirakawa, S. Takahashi, T. Yamano, Y. Kobayashi, R. Hazama, C. Takagi, O. Hasebe:

Cheap educational materials for understanding radiation, *Physics Education*, 17-18 (2012)

18) K. Tagami, S. Uchida, Y. Uchihori, N. Ishii, H. Kitamura, Y. Shirakawa:

Specific activity and activity ratio of radionuclides in soil collected about 20km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, *Science of the Total Environment*, 409, 4885-4888 (2011)

19) H. Nakamura, Y. Shirakawa, S. Takahashi, H. Shimizu :

Evidence of deep-blue photon emission at high efficiency by common plastic, *Euro Physics Letters*, 95, 22001-p1-p3 (2011)

中性子線照射による細胞内酸化ストレス変化 (SK-N-SH 細胞における NASBEE 中性子照射による活性酸素発現)

○馬嶋秀行¹⁾、犬童寛子¹⁾、末永重明¹⁾、島田義也²⁾、濱野毅²⁾、中西郁夫²⁾、松本謙一郎²⁾

- 1) 鹿児島大学大学院医歯学総合研究科 腫瘍学講座・宇宙環境医学講座
2) 国立研究開発法人放射線医学総合研究所

【研究の目的】

宇宙放射線は、そのほとんどが陽子 80~90%、ヘリウム (He) イオン 10~20% で構成されるほとんどが荷電粒子である。原子番号が上がるにつれてその構成成分は少なくなる。しかしながら、宇宙船内では、重粒子が線壁に衝突し、フラグメンテーションがおり、中性子線等が発生することが知られている。宇宙放射線の量は、0.2 – 1.0 mGy/day となるので宇宙飛行士におけるリスクを考える上で、特に神経細胞における障害は考慮しなければならない。今回、我々は、ヒト神経細胞株 SK-N-SH 細胞に、放医研 NASBEE (Neutron exposure Accelerator System for Biological Effect Experiments) にて中性子 (2.2 MeV) を照射した。4 MeV 連続ビームの重水素イオンをベリリウムターゲットに照射し、D-Be 反応により発生した中性子 (2.2 MeV) を照射した。線量率は 2.7 Gy/h と 0.28 Gy/h であった。凍結された細胞に照射を行い、鹿児島まで搬送し、鹿児島にて解凍、増殖を行った細胞にて実験を行った。照射を行った細胞から発現する活性酸素量をレーザー共焦点顕微鏡により観察した。生細胞を 37°C にて培養し、活性酸素を検出する試薬 2-[6-(4-hydroxy)phenoxy-3H-xanthen-3-on-9-yl]benzoic acid (HPF)¹⁾ をロードして観察した。

【結果】

図 1. に見られるように中性線照射群では細胞からの強い蛍光の発現が認められた。

図 1. HPF による NASBEE 中性子線照射後の活性酸素発生観察

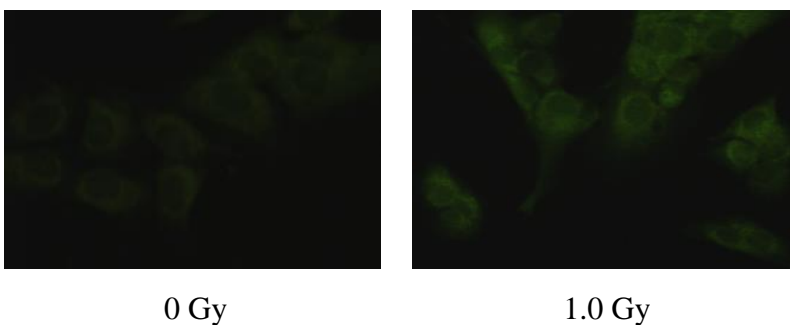


図 1

【文献】

1. Setsukinai K, Urano Y, Kakinuma K, Majima HJ, Nagano T. Development of novel fluorescence probes that can reliably detect reactive oxygen species and distinguish specific species. *J Biol Chem.* **278**: 3170-3175, 2003.

平成 27 年度研究成果一覧

課題番号: 2014-009

課題名: 中性子線照射による細胞内酸化ストレス変化

課題代表者: 馬嶋 秀行

原著論文

1. Indo HP, Matsui H, Chen J, Zhu H, Hawkins CL, Davies MJ, Yarana C, St Clair DK, Majima HJ.
Manganese superoxide dismutase promotes interaction of actin, S100A4 and Talin, and enhances rat gastric tumor cell invasion.
J Clin Biochem Nutr., 57(1), 13-20, 2015-07
2. Indo HP, Tomiyoshi T, Suenaga S, Tomita K, Suzuki H, Msuda D, Terada M, Ishioka N, Gusev O, Cornette R, Okuda T, Mukai C, Majima HJ.
MnSOD downregulation induced by extremely low 0.1 mGy single and fractionated X-rays and microgravity treatment in human neuroblastoma cell line, NB-1.
J Clin Biochem Nutr., 57(2), 98-104, 2015-09
3. Ito M, Matsui H, Hirayama A, Indo HP, Majima HJ, Hyodo I.
Reactive oxygen species induced by non-steroidal anti-inflammatory drugs enhance the effects of photodynamic therapy in gastric cancer cells.
J Clin Biochem Nutr., 58(3), 180-185, 2016-02
4. Suenaga S, Nagayama K, Nagasawa T, Kawabata Y, Indo H, Majima HJ.
Evaluation of the relationship between contrast-enhanced magnetic resonance characteristics and joint pain in patients with temporomandibular disorders.
Oral Radiol., 32(2), 87-97, 2016-03
5. Terada M, Seki M, Takahashi R, Yamada S, Higashibata A, Majima HJ, Sudoh M, Mukai C, Ishioka, N.
Effects of a Closed Space Environment on Gene Expression in Hair Follicles of Astronauts in the International Space Station.
PLoS ONE, 11(3), e0150801 (17 pages), 2016-03

学会発表(口頭発表、ポスター発表、講演等)

1. Indo HP, Saigo K, Suzuki M, Majima HJ.
Roles of mitochondria-generated reactive oxygen species on X-ray-induced cell death in a human hepatocellular carcinoma cell line, HLE.
15th International Congress of Radiation Research 2015, 2015-05
2. 河野一典、犬童寛子、川畑義裕、末永重明、馬嶋秀行、別府真広、平木嘉幸
温熱併用放射線治療が奏功した悪性黒色腫の1例
第56回日本歯科放射線学会学術大会, 2015-06

口腔粘膜および顎骨中の微量金属元素の分布と病態の関連に関する研究

○宇尾 基弘

東京医科歯科大・先端材料

1. 緒言 歯科修復物には種々の合金が用いられ、それら合金からの溶出物が粘膜疾患だけでなく全身的な疾患にも関与する可能性が示唆されている。疾患と溶出金属元素との関連を調査するには口腔粘膜中の微量元素の蓄積・分布状態を明らかにする必要があるが、対象元素濃度が低濃度であるため、過去の研究例は極めて少ない。そこで本研究では歯科用合金など歯科材料から放出され粘膜に吸収・蓄積した微量金属元素の高分解能での分布をマイクロ PIXE にて分析し、蓄積金属の病態との関連を評価した。

2. 実験方法 歯科修復用金属との関連が示唆される口腔扁平苔癬様疾患 (Oral Lichenoid Leision 以下 OLL) のパラフィン薄切切片(20 μm t)を Kapton フィルム(12.5 μm t)に貼付し、放射光 XRF およびマイクロ PIXE による元素分布分析に供した。放射光 XRF は KEK-PFBL-4A にて行い、合金成分の局在が検出された部分について、マイクロ PIXE にて歯科用合金特有の Ag などの重金属の分布を評価した。両者の分布像と病理組織像を対照し、金属局在部位と疾患の関係を考察した。

3. 結果および考察 金属に隣接した部位に発生した疾患で、OLL と診断された症例である。放射光 XRF では、Zn、Cu の局在を確認し、その局在領域の PIXE 分析では Ag の集積が確認された (Fig. 1)。Ag の集積部位における PIXE での特性 X 線スペクトル(Fig.2)で Ag 以外にも In, Ga などが検出された。これらの元素は歯科用の銀合金の主要成分であることから、本病変への金属修復物の関与が疑われた。また XAFS により Ag の化学状態を評価したところ、組織中 Ag は Ag_2S に酷似したスペクトルを示し、溶出した Ag が硫化物として集積したものと推定された。以上より、本症例は金属に起因した OLL であると診断された。この他にも複数例において、口腔粘膜疾患から歯科用合金の溶出を示唆する元素集積を明らかにした^{1,2)}。マイクロ PIXE は放射光 XRF に比べて、Ag などの重元素の元素分布像を高分解能で得られることから、口腔関連疾患の分析に有用と考えられた。

1) T. Sugiyama, M. Uo, T. Wada et al., *Sci. Rep.* 5:10672 (2015).

2) T. Sugiyama, M. Uo, T. Wada et al., *Biometals* 28, 11 (2015).

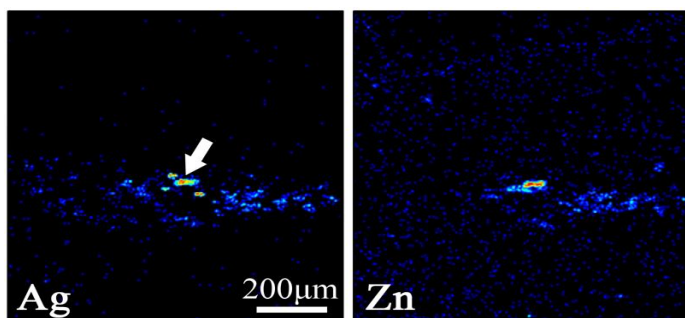


Fig.1 口腔粘膜断面のマイクロ PIXE による元素分布像

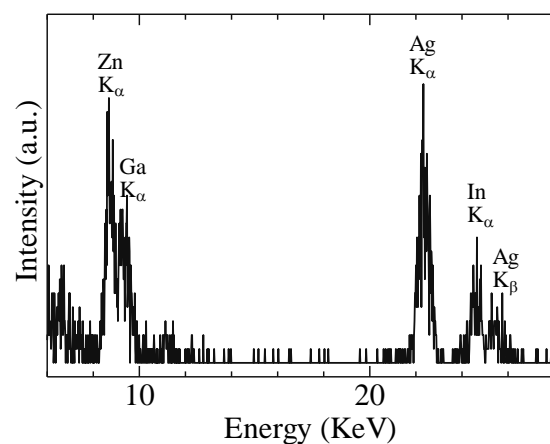


Fig.2 Ag 集積部の特性 X 線スペクトル

マイクロPIXEを用いた熱帯樹木葉組織内のリン分布の解明

○辻井 悠希^a、及川 将一^b、北山 兼弘^a

a: 京都大学農学研究科、b: 放射線医学総合研究所

研究背景と目的

リンは植物の必須元素だが、熱帯では土壌リン濃度が極めて低い。しかし、その低リン土壌上には巨大な森林が成立しているため、熱帯樹木のリン不足への適応機構の解明は植物生態学の重要な研究課題とされている。一般に、リン不足に適応した樹木は、葉のリン濃度が低いことが知られるが、これまでの生態学研究では、葉の全組織を混ぜたバルクのリン濃度を化学分析してきたため[1,2]、リン濃度低下の仕組みやその適応的意義についてはほとんど分かっていない。

近年、元素分析技術の発展により、葉の光合成組織(柵状組織や海綿状組織)、表皮組織、維管束などの組織間で、リン濃度が異なることが示されている[3]。これら組織間ではリン濃度低下のパターンが異なる可能性があるため、その違いを明らかにすることは樹木のリン不足への適応機構の解明に貢献すると期待される。このような背景から、本研究では、マイクロPIXE法を用い、葉横断面について、組織間のリン濃度の濃淡を検出することで、解剖学的観点からリン欠乏に適応した樹木における葉のリン濃度低下の仕組みを解明することを目的とした。

材料と方法

キナバル山(ボルネオ島・マレーシア)の土壌リン可給性が異なる3つの森林に生育する13樹種について、葉横断面(右図)におけるリン分布をマイクロPIXE法によりマッピングした。組織ごとに単位ピクセル当たりの平均X線強度を算出し、その差から組織間のリン濃度を比較した。土壌リン傾度に沿った葉のリン濃度低下が、以下のどの組織のリン濃度の低下によるのかを考察した; 上部表皮組織、柵状組織、海綿状組織、下部表皮組織、維管束(右図)。

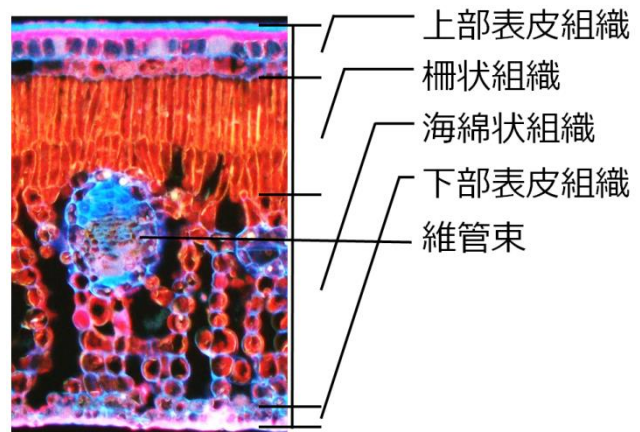


図. 葉横断面の解剖構造

結果と考察

本研究は、土壌リン可給性の異なる森林を構成する野生樹木に関して、葉横断面のリン分布を比較したおそらく初めての研究であり、樹木のリン不足への適応に関する新しい視点を提供することが期待される。以下に、本研究の主要な結果を報告する。

葉の全リン濃度は土壌リン濃度の低いサイトほど有意に低い値を示した。これは、低リン環境に適応した樹種が、葉のリン濃度を低下させることで葉でのリン要求量を減らすことを示唆している[1,2]。そのようなリン濃度の低下にも関わらず、樹木は全サイトを通して柵状組織にリンを局在させていた(下図)。すなわち、低リン環境下の樹木は葉のリン濃度

が低いにもかかわらず、柵状組織のリン濃度を高く維持していた。光合成組織（柵状組織）における高いリン濃度は、光合成へのリン分配を増加させると考えられるので、リン濃度が低下した葉における高い光合成速度の維持に貢献すると考えられる [4]。今後は、このメカニズムの詳細を解明するために、葉内リン分布と葉解剖構造および他の元素の葉内分布との関係を明らかにする予定である。

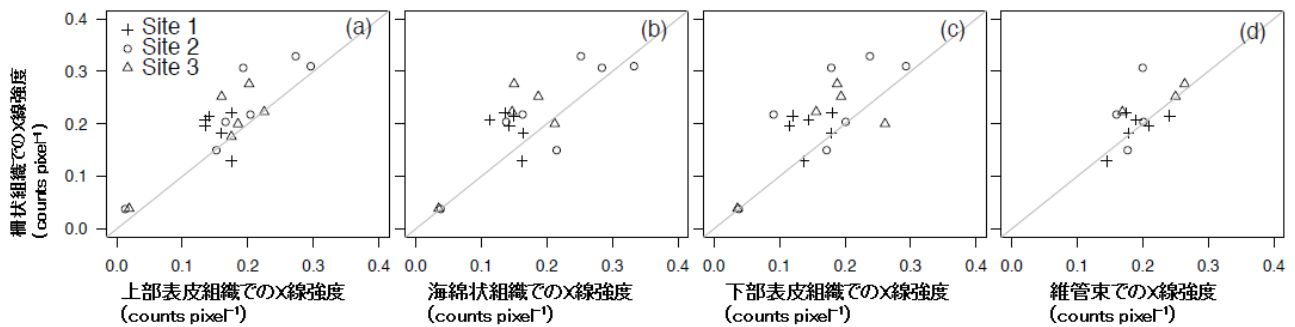


図. 柵状組織とその他の組織の単位ピクセル当たりの平均 X 線強度（リン）の関係
+は最もリン欠乏、△は中間、○はリンが最も豊富なサイト、グレーラインは 1:1 ライン
1:1 ラインより上部に位置する点は、柵状組織のリン濃度が X 軸の組織のリン濃度より大きいことを示す。

参考文献

- [1] Hidaka, A. & Kitayama, K. (2011) Allocation of foliar phosphorus fractions and leaf traits of tropical tree species in response to decreased soil phosphorus availability on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology*, **99**, 849–857.
- [2] Lambers, H. *et al.* (2012) Proteaceae from severely phosphorus-impooverished soils extensively replace phospholipids with galactolipids and sulfolipids during leaf development to achieve a high photosynthetic phosphorus-use-efficiency. *New Phytologist*, **196**, 1098–1108.
- [3] Conn, S. & Gilliham, M. (2010) Comparative physiology of elemental distributions in plants. *Annals of Botany*. **105**, 1081–1102.
- [4] Shane, M. W., Mccully, M. E. & Lambers, H. (2004) Tissue and cellular phosphorus storage during development of phosphorus toxicity in *Hakea prostrata* (Proteaceae). *Journal of experimental botany*, **55**, 1033–1044.

BNCT 用中性子モニターの開発 (ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)における線量測定系の開発)

○滝 和也、赤堀 清崇
住友重機械工業株式会社

要旨本文

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT: Boron Neutron Capture Therapy) とはホウ素と熱中性子の反応を利用してがん細胞へ選択的にダメージを付与する放射線療法である。これまで中性子源として原子炉が利用されてきたが、その規模や安全性から加速器中性子源の開発が活発に行われている。これによって中性子源の小規模化が見込まれ、治療法のさらなる普及が期待できる。その反面、治療の安全管理や品質保証、照射精度の向上の観点から多くの課題が残されているのも事実である。その一つが中性子ビームの品質管理であるが、それには中性子ビームを多角的な視点で計測することが不可欠である。中性子計測にはこれまで金の放射化法が一般的に用いられてきたがリアルタイム測定や分布測定を行うには難点が多く、技術的な改善が求められてきた。そこで我々は用途の異なる二つの中性子計測手法を提案する。

一つ目は、LiCAF (LiCaAlF_6) シンチレーターと石英ファイバーを用いた中性子検出器、SciFiND を用いる手法である。SciFiND はセンサー部を先端に有したファイバー状の検出器であり、様々な場所へ容易に取り付け可能である。また複数の場所に配置し同時計測することも可能であるため、患者など動くことが予測される測定対象の点測定に適している。

二つ目は、単一光子放射断層撮影 (SPECT) を利用して患者体内中の中性子強度分布測定を行う手法である。あらかじめ CT や MRI によって測定された体内中の水素濃度分布と、照射中に測定された水素中性子捕捉反応による 2.2 MeV 即発ガンマ線強度分布より、患者体内中の中性子強度分布を三次元的に非接触でリアルタイムに算出できる手法である。これによって正常組織や患部における中性子線量を正確に把握することができる。

これら二つの手法により中性子ビームの品質や照射の安全を管理することができるだけでなく、より精度の高い治療や安全管理等が可能になる。現在、我々はこれらの中性子計測手法を搭載した加速器 BNCT システムの検討を行っている。今回、システムにおける各手法の利用方法と放射線医学総合研究所加速器中性子源 NASBEE での試験結果について報告する。

金属繊維製材料の放射線防御特性の評価

坂本 智^a、〇八高隆雄^a、小杉雄史^b

a: 横浜国立大学

b: (株)総合マーケティング・ビューロー

要旨本文

金属粉末成型技術の進歩により、高融点金属の微細・高精度加工が可能になり、数十ミクロンの太さの高融点金属ワイヤーの成型が可能となってきた。この様な高融点金属の中でタングステン(W)は鉛に相当する放射線遮蔽特性を有する事が知られている。そこで今回の研究では、W 微細繊維や粒子を用いた加工製品に対する放射線遮蔽特性を、鉛、銅、鉄などの板材を比較材として、調べた。放射線としては比較的透過能力が高い γ 線とX線を用いた。具体的には放医研のスタンド型ガンマ線装置(^{137}Cs : 3.7 TBq)による10 mGy (662 keV)で300s、ならびに工業用X線照射装置(PANTAK HF-320S)によりWターゲットで実効エネルギー38 keV (100 kV, 10 mA)と74 keV (150 kV, 0.15 mA)で60 sの放射線照射実験を行った。

実験に用いた試料は、太さ15 μm のWを100 μm 間隔でメッシュ状に編み込んだWメッシュ15、太さ50 μm のWを170 μm 間隔でメッシュ状に編み込んだWメッシュ50、太さ15 μm のWワイヤーをポリエステル繊維に対して縦糸として編み込んだW縦糸織物、横糸として編み込んだW横糸織物、ネル織物の表面にW粒子を面積率で35%吹き付けたW粒子35%織物、およびネル織物の表面に WO_3 粒子を面積率で35%吹き付けた WO_3 粒子35%織物、並びに0.2 mmのCu、Al、Pb、Wおよび軟鋼板と0.1 mmのW板である。

γ 線(662 keV)に対しては、Wメッシュ15、W縦糸織物、W横糸織物、W粒子35%織物および WO_3 粒子35%織物の場合には遮蔽材がある場合の方が放射線が強くなる負の遮蔽効果が表れた。この現象は γ 線の場合でのみ認められた。しかし、全体として遮蔽率を単位面積当たりの質量で整理すると、 γ 線でも2種類のX線でも、放射線遮蔽率 η は第一義的には質量に比例した。しかし、X線ではAl、Cu、軟鋼の値はこれらの関係より僅かに小さくなり、この傾向は実行エネルギーが低くなるにしたがって著しくなることがわかった。

中性子線照射量が植物に与える影響評価

○佐々木 伸大、西原 昌宏
公益財団法人岩手生物工学研究センター

【研究の目的】

これまで様々な農作物がヒトの手に依って育種され実用化されてきた。しかし、多年生の植物や樹木については交配してから形質を評価するまで長い期間を要することから育種には大変な労力を要している。また、選抜や慣行の育種においては多くの場合、自然突然変異が利用されているが、その発生頻度は低く、有用な突然変異系統(育種素材)の作出が重要な課題となっている。そこで、放射線等を変異原として用いて新たな品種を作出する試みが続けられてきた。これらの放射線育種法は育種を促進する技術として用いられてきたが、変異を誘起するための照射量や、変異体の選抜は経験則や勘に頼っている面が強かった。申請者らは最近実用化されてきた重イオンビームを用いて、多年生植物であるリンドウや果樹であるリンゴを用いて、放射線の核種や照射量が植物の生育に与える影響と、突然変異が誘起される頻度について検討を行っている。作用機序の異なる中性子線についても植物に与える影響を比較検討することは、効率的な放射線育種技術を確立する上で重要な知見となると期待される。そこで、本研究では多年生植物で培養個体として維持可能であるリンドウを用いて中性子線照射が与える生物影響評価を行うことを目的として実験を行った。

【実験方法】

リンドウの品種“アルビレオ”(*Gentiana scabra* × *G. triflora*) 及び“あおこりん”(*G. scabra*) の培養個体を 5 ml の個体培地を入れたポリプロピレン製のねじ口チューブに移植し、7 ～10 cm 程度まで生育したものを照射材料として用いた。リンドウ培養個体を入れたねじ口チューブを中性子発生装置 NASBEE の照射台に設置し、2 Gy、8 Gy となるように中性子照射を行った。照射サンプルを節ごとに切り出して、あらたな個体培地を入れた培養容器に移植し、その後の生長の観察を行った。2 回目の照射実験では 0.1、0.2、0.5、1、3 Gy となるように照射を行い、1 回目の実験と同様に節を切り出して新たな培地に移植し、その後の生長を観察した。

【結果及び考察】

1 回目の実験ではリンドウ植物個体の生長に影響が現れる中性子線の照射量を大まかに把握するために、2 Gy と 8 Gy となるように照射を行い、19 日間育成した後に節を切り出して継代した。継代後 52 日目に伸長した地上部の長さを測定したところ、2 Gy 照射区では、未照射の場合と比較

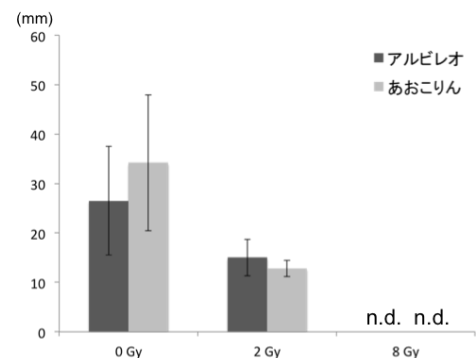


図1 リンドウ培養個体に中性子線 2 Gy と 8 Gy 照射した場合の生物影響評価

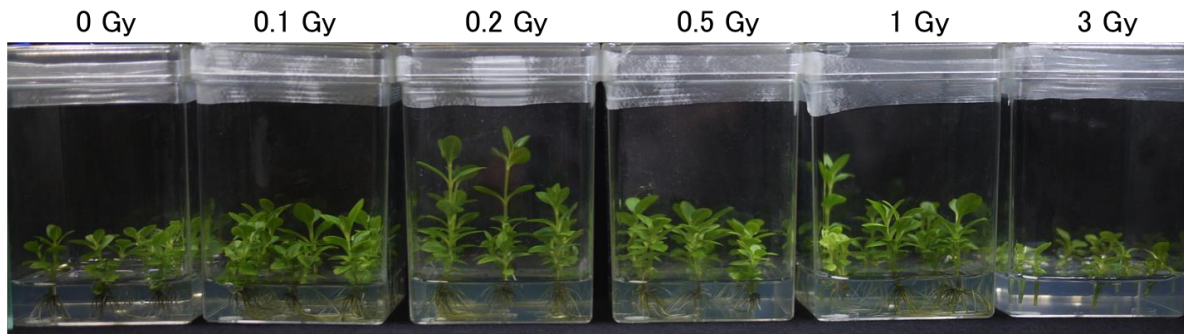


図2 中性子線 0.1 Gy～3 Gy 照射したリンドウ培養個体を節培養した後の生育

して、“アルビレオ”では57%、“あおこりん”では37%の成長率に留まることが示された(図1)。8 Gy 照射区では継代後まもなく枯死することが観察された。このように中性子を照射した場合は、2 Gy 程度で生長量が半分程度になることが判明したため、更に細かい照射量での検討を行った。

2回目の実験では、0.1、0.2、0.5、1、3 Gy となるように“アルビレオ”培養個体に中性子線照射を行い、8日後に節を切り出して新鮮培地に移植した。53日後に生長した地上部の長さの測定を行った(図2、3)。その結果、0.1 Gy 照射区では未照射ほぼ同等の生育を示したが、0.2 Gy では未照射よりも高い成長率を示した。これに対して、3 Gy 照射した場合は約半分の生長量に留まっていた。これらの結果から中性子をリンドウ培養物に照射した場合、2～3 Gy の照射量で約半分の生長量に抑制されることが示唆された。重イオンビームを照射した場合、Ne イオンビーム(LET 計算値: 30 keV/ μ m)では6 Gy、Ar イオンビーム(LET 計算値: 89 keV/ μ m)では4 Gy 程度で生長量が半分程度になっていたことから、NASBEE を用いた中性子照射の生物影響はこれらの重イオンビームを用いた場合と同等か少し大きいことが示唆された。

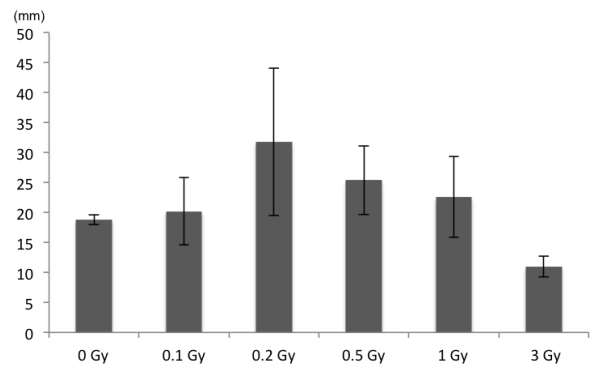


図3 リンドウ培養個体に中性子線 0.1 Gy～3 Gy 照射した場合の生物影響評価

《平成 27 年度 共用施設(PASTA&SPICE、NASBEE、X/γ線照射装置)成果報告会 報告書 編集事務局》

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所
加速器工学部 静電加速器運転室

石川 剛弘

事務局連絡先 e-mail: infopixe@qst.go.jp

ホームページ <http://www.nirs.qst.go.jp>

《編集発行》

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

加速器工学部 静電加速器運転室

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

TEL: 043-206-3031 FAX: 043-255-3192

平成 27 年度 共用施設(PASTA&SPICE、NASBEE、X/γ線照射装置)

成果報告会 報告書

2016 年 12 月発行

印刷 (株)エイ・エフ・エイ

©2016 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

Printed in Japan

QST-M-1