原子力委員会

2020.3.24 於中央合同庁舎8号館





第10回原子力委員会 資料第1号

放射化学とは 現状と課題、そして未来へ

篠原 厚

大阪大学 大学院理学研究科/放射線科学基盤機構 日本放射化学会 会長



1. はじめに

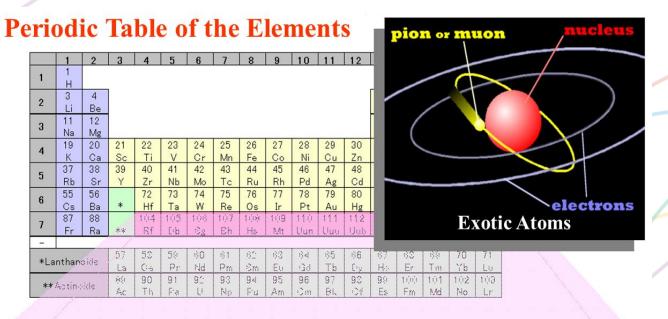




自己紹介 +私の研究分野

核化学 放射化学、中間子化学、環境放射能、核医学利用、、

当研究室は「新しい原子の創造—超重元素とエキゾチックアトムの 化学」を旗印に、放射化学に関連する種々の研究を進めています。



104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	FI	Мс	Lv	Ts	Og

1. はじめに





自己紹介

趣味など

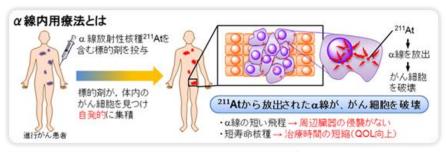
+私の研究分野

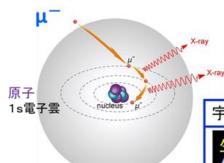
核	nem.sci.osaka-u.ac.jp 利用、、								
台研究	-5415								
2学」	-6999 - *								
	↓ 博士後期課程修了								
	(PD)								
	1987 名古屋大学助手 理学部化学教室 1998 京都大学助教授 原子炉実験所								
主な職歴									
	3,50,7,00								
	B.長								
→ +>T∏ 7tc									
王な研究で									
	環境放射能								
#mn± + > 13	.、剣道の観戦 18								
100 To 10 TO 100 MINE	-6999 ・博士後期課程修了 (PD) 学教室 験所 研究科(化学専攻) ・長 トープ総合センター長 機構・機構長 に用								

酒類の賞味、酒にあう肴の賞味、運動不足

g

放射化学が関連する最近のトピックス





ミュオン原子の形成

- ・エネルギーは200倍
- ・軌道半径は1/200

宇宙地球試料分析







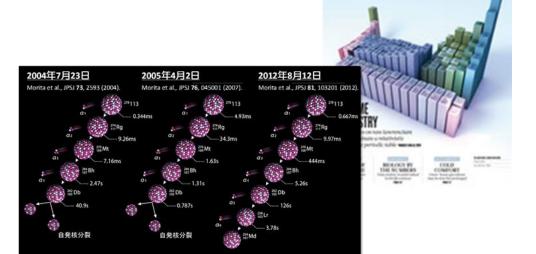
太陽系形成とその発達 過程の解明

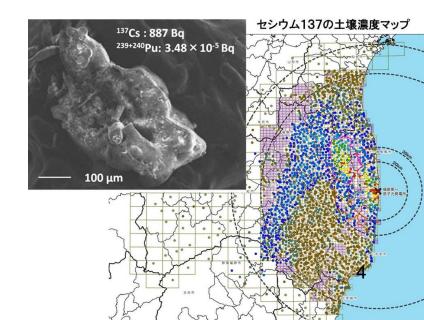
生命材料有機物の探索

腫瘍モデルマウスにおける腫瘍への高集積画像(右)。

放射化学はココに

nature









本日の予定(コンテンツ)

- 1. はじめに(自己紹介、放射化学はここに)
- 2. 放射化学とは(放射化学とは、日本放射化学会)
- 3. 我が国の放射化学研究(分科会、研究分野の現状と将来)
- 4. 放射化学研究の新領域
- 5. おわりに(放射化学の課題、取り組みと提言)





2. 放射化学とは

- 1. 放射化学とは(歴史と概要)
- 2. 日本放射化学会

1 放射化学の歴史と概要





我が国の放射化学の始まり

わが国の放射化学研究の端緒は、岡本要八郎先生による北投石の発見(1906年)とされている。1920年代には、飯盛里安先生が研究室を主宰し放射化学を新しい研究分野として開拓し、木村健二郎先生や仁科芳雄先生らに引き継がれ、放射化学の基礎が築かれた。その後、放射化学は研究用原子炉や加速器の整備と歩調を合わせて大きく発展してきた。

放射化学とは

放射化学は自然科学の中でもベースになる学問の一つであり、ベクレルの放射能の発見以来、強い力や弱い力と係わる基礎化学として物質観の拡張に貢献し、化学からの核現象研究、核現象による化学研究を発展させ、広い応用分野も含む学際的科学としても進化を遂げている。今日では、新元素の科学、宇宙科学、ミュオン科学、加速器・量子ビーム利用、福島関連科学、新しい核プローブ・分析手法、そして最近急増している医学応用、更に、放射線、放射性同位体(RI)や核燃料物質(核燃)の関連する安全規制や核鑑識関連も放射化学が絡んで行くべき重要分野となっている。核現象と核エネルギーを安全に利用するためには、その基礎研究部分を担う放射化学・核化学の発展、そしてその教育と人材育成は重要かつ必須である。

放射化学とは(私見的位置付け)





放射性同位体や原子核を扱う化学、日本では無機化学の一分野?

領域: 素粒子・原子核 原子(電子) 分子 クラスター マクロ(生命、環境、、、)

核化学 放射化学

主題: 1)核現象の化学的研究

→ 本来の核化学: 核反応、核分裂、核壊変、(核分光)

新規核現象の探求

- 2)核現象による化学研究
 - → ホットアトム化学、トレーサー技術、放射化分析、Ps、μSR、 メスバウァー分光、環境、年代測定、宇宙・地球科学
- 3)物質の拡張 → 放射化学の歴史
 - → 新元素の合成と化学(TRU、TRA、SHE)、放射性元素の化学 人工原子(エキゾチックアトム)、
- O) 応用 → 医学・生命科学、エネルギー、工業利用、、、核鑑識 原子力(炉化学、バックエンド、、、廃炉) 8

2. 日本放射化学会

Since 1957年 第1回放射化学討論会大阪大学



1999年創設 URL=http://www.radiochem.org/index-j.html



学会創設の経緯と概要





放射化学の歴史

1896年 Becquerelの放射能の発見

1906年 岡本要八郎 北投石の発見

(放射化学黎明期、放射化学研究室が大学に設置)

1920年代 飯盛里安→木村健次郎→仁科芳雄

(終戦後、原子力関連研究は禁止、1950年に再開)

1954年 第5福竜丸事件

1957年 第1回放射化討論会(斎藤信房、東大)

1986年 チェルノブイリ原発事故

1997年 **APSORC**(放射化学に関するアジア太

平洋国際シンポジウム)(熊本)を開催

1999年 JCO臨界事故

1999年 日本放射化学会創設(つくば)

2011年 東日本大震災(福島原発事故)

2019年 学会創設20周年・日本放射化学会第63

回討論会(いわき)

2020年 日本放射化学会→一般社団法人へ 2021年 日本放射化学会主催・国際シンポジウ ム APSORC21(第7回、福島・郡山)

設立趣意書(抜粋)

現代の放射化学は学際研究の性格が強く、核・放 射化学研究者だけの組織に固執している時では ないと考えます。放射化学は、H.A. Becquerel、 Curie夫妻、G. Hevesy、O. Hahn、G.T. Seaborg、 W. F. Libbyといったノーベル賞受賞者を輩出しま したが、・・・関連分野として放射線化学、無機・分 析化学、宇宙・地球化学、素粒子・核・原子物理学 、放射線物理学、保健物理学、加速器科学、材料 科学、環境科学、放射線生物学、核薬学、核医学 、放射線医学などを視野に入れ、学問の発展と人 類の福祉に貢献することを念願しています。また 、原子力研究開発の一環として、核燃料サイクル 技術の確立、特に、バックエンド技術の確立や環 境問題の解決にも貢献したいと考えています。・・ 本学会は、放射科学(サイエンス)研究の重要 性に対する社会的認識の向上を図るため、放射 能および放射線教育の普及活動を積極的に支援 することも念頭に置いています。また、国外にも積 極的に情報を発信し、本会会員が世界で指導的 役割を果たす機会の創出を念じています。 学会としての実績を積み重ね、近い将来、日本学 術会議会員を推薦できる学術団体への飛躍をめ ざします。

研究分野・分科会の活動





■ 討論会の研究主題例

- S. 福島事故関連の化学・環境
- 1. 核化学
- 3. 放射化分析
- 5. 医薬・生物学におけるRI利用
- 7. 宇宙·地球化学、年代測定

- S. 超重元素の化学
- 2. 環境放射能
- 4. 原子核プローブの化学
- 6. アクチノイド・バックエンド化学
- 8. 放射線教育、放射線防護
- 9. その他(計測技術、原子力関連化学、核鑑識技術、、)

他分野研究者も参画

核化学分科会

(活動例:核化学夏の学校)

放射化分析分科会

<mark>(活動例</mark>:放射化分析研究会)

日本放射化学会

原子核プローブ分科会

(活動例:メスバウア―研究会)

若手の会

α放射体·環境放射能分科会

(活動例:環境放射能研究会)

放射線教育 (放射線教育フォーラム、、)

APSORC-IC(国際委員会)





3. 我が国の放射化学

- 1-4. 各分科会(研究分野)の現状と将来
- 5. 放射化学の課題

1. 核化学分科会 (放射化学の基盤分野)





物理

核物理 原子物理 宇宙物理 素粒子物理 ほか

核化学

(新元素·新同位体探索、 核構造·核壊変·核反応、 電子構造·化学反応)

化学

分析化学(RIトレーサ) 無機化学(RI化合物、構造) 有機化学(RI化合物、構造) 量子化学(Rel. AO&MO) ほか

放射化分析

RI製造・分離・ トレーサ利用・規制・管理

原子核プローブ

環境科学

(環境動態)

環境放射能

工学

原子力(核データ・核燃料、廃棄物・除染・核消滅) 加速器科学(イオン源、RI製造、RIビーム加速) 検出器(放射線計測) ほか 医学•薬学

核医学 (生体機能、診 断・治療) 生物学

植物学 (生体機能) ほか

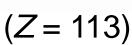
■アジア初、日本発の新元素誕生

核融合反応 ²⁰⁹Bi

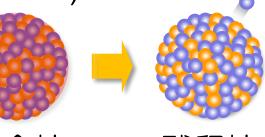
(Cold Fusion)

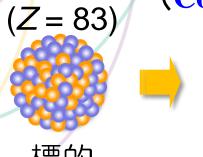


(RIKEN)

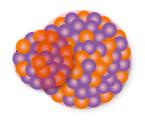








標的



核融合

複合核

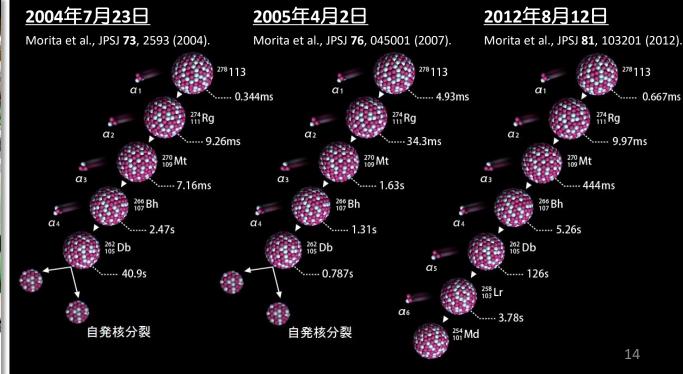
残留核



⁷⁰Zn

(Z = 30)

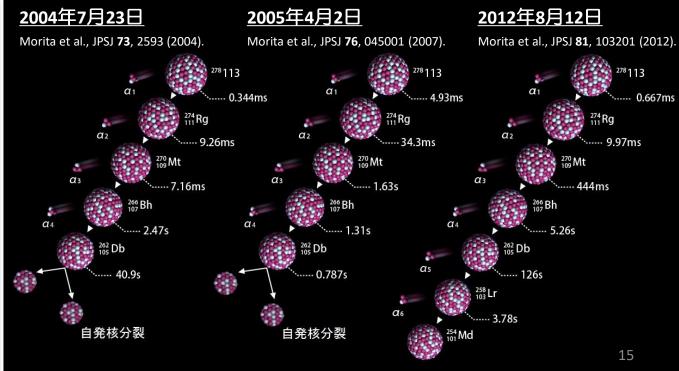
入射粒子



■アジア初,日本発の新元素誕生 2016年11月30日 >

								_		(4)	
原子	*	元美	素名	元素	统所	RIKEN	理化学研究所	RIKEN	理化学研究所	RIKEN	理化学研究
番号	発見国	英語	日本語	元素記号		理化学研究所	(6)	理化学研究所	25	理化学研究所	P. DINEH
113		nihonium	ニホニウム	Nh	研究所	RIK			理化学工	1	理化学研究系
115		moscovium	モスコビウム	Мс	P. T						R
117		tennessine	テネシン	Ts	研究所	R					飞研究用
118		oganesson	オガネソン	Og	S.	1					





重・超アクチノイド元素の化学的研究



(単一原子の化学、超重元素の化学を目指して)

OPEN 20

_																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1	1																	2
		Η		_	//	_	E +	/-	k4L	==									He
	2	3	4			2	卡 : 	义为"	性刀	杀				5	6	7	8	9	10
	2	Li	Be				Jna	I	T 5	一表				В	С	N	0	F	Ne
	3	11	12			Np~:人工元素							13	14	15	16	17	18	
	J	Na	Mg											Al	Si	Р	S	CI	Ar
	1	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Со	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	3	Rb	Sr	Υ	Zr	Nb	Мо	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	6	55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	U	Cs	Ва	*	Hf	Та	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	TI	Pb	Bi	Po	At	Rn
	7	87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	′	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Мс	Lv	Ts	Og
	_																		
	*I ^	anthanoids		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
	"La	illiali	Jius	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu	
	**	Actino	ide	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
L	ብጥ/	AGUIIO	103	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

化学的研究最前線(RIKEN,GSI, PSI, LBNL, Dubna) 気相化学: Hs(ハッシウム)、溶液化学: Sg(シーボーキ・ウム)

第7周期における新しい化学の開拓

重元素化学の特徴

短寿命・放射性 単一原子の化学

'Atom at-a-time chemistry"

化学研究に適した超重元素の生成





原子	核種	半減期	合成反応	生成	生成率*
番号		(秒)		断面積	
				(ナノバーン))
104	²⁶¹ Rf	78	²⁴⁸ Cm(¹⁸ O, 5 <i>n</i>)	13	4 原子/分
105	²⁶² Db	34	²⁴⁸ Cm(¹⁹ F, 5 <i>n</i>)	1.3	0.4 原子/分
106	²⁶⁵ Sg	7.4	²⁴⁸ Cm(²² Ne, 5 <i>n</i>)	0.24	5 原子/時間
107	²⁶⁷ Bh	17	²⁴⁹ Bk(²² Ne, 4 <i>n</i>)	0.06	1 原子/時間
108	²⁶⁹ Hs	14	²⁴⁸ Cm(²⁶ Mg, 5 <i>n</i>)	0.006	3 原子/日

•10¹⁸原子/cm²のターゲットに毎秒3 x 10¹²個のイオンを照射した場合

化学実験後の検出数 さらに1/10に減

相対論的効果→ 周期表の変更? 短寿命&極微量→ シングルアトム化学(新しい化学体系)

超重元素化学の方法論: 加速器オンライン実験



単一原子の化学



単一原子化学の概念図

重元素実験における制限

重元素は加速器でのみ生成できる人工元素 低生成率、短寿命

単一原子レベルしか扱えない(同定:α線測定)

加速器オンライン実験概要

加速器により元素を合成

KCI/Heガスジェットにより 化学実験室へ搬送

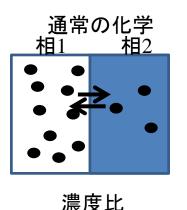
化学実験室

溶液化(溶液化学の場合)

化学操作、α線測定

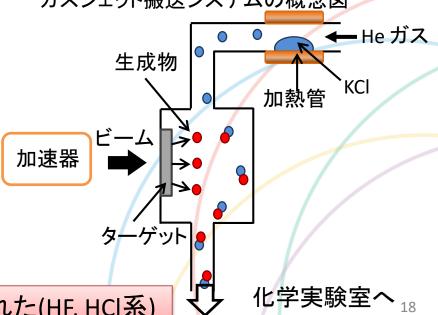
実験操作を迅速に、多数回繰り返し行う。 (自動実験装置が必要)

重元素化学では主にクロマト法で研究された(HF, HCI系)



回数 相2 確率比

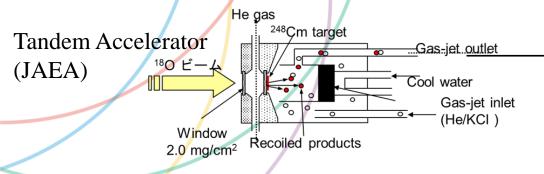
ガスジェット搬送システムの概念図



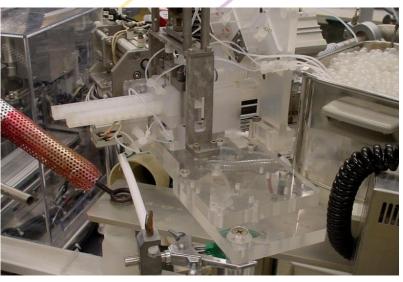
溶液系の例:104番元素ラザホージウム(Rf)の化学

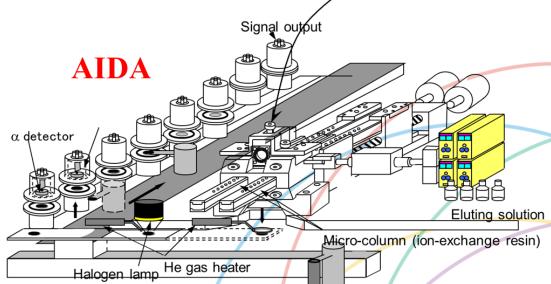












溶液系の例:104番元素ラザホージウム(Rf)の化学



Tandem Accelerator
(JAEA)

He gas

248Cm target

Cool water

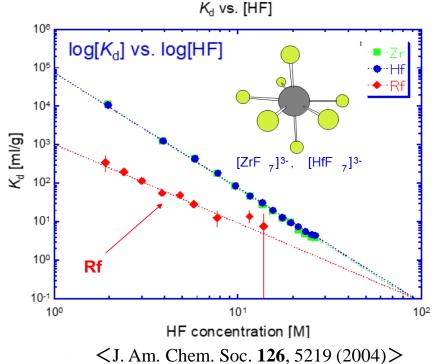
Gas-jet_outlet

Cool water

Recoiled products



フッ酸系におけるイオン交換挙動



陰イオン交換樹脂への親和性 Zr = Hf > Rf <2nd generation chemistry>

錯形成定数 (化学結合性)

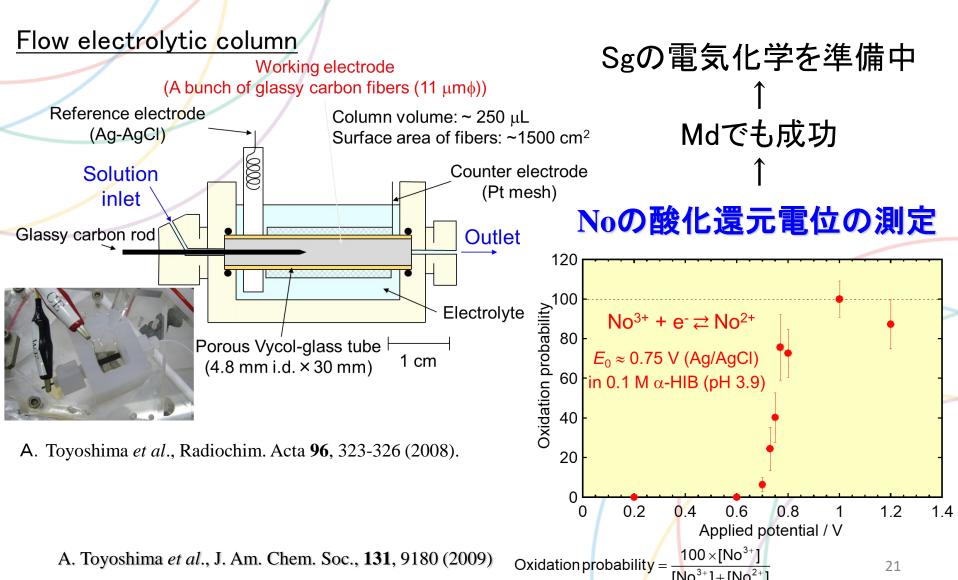
→ 相対論的効果?

単一原子電気化学の開発





一重元素では世界初の電気化学ー



気相系の例: 106番元素シーボーギウム(Sg)の化学(RIKEN)

GARIS

Q1

²²Ne, ²⁴Mgビームの軌跡

➡理研が超重元素化学の世界的メッカに

国際共同研究:GSI, Mainz Univ., JAEA, ...

Sgが第6族元素であることを実証

- Sgのカルボニル錯体の化学合成
 - ➡ 超重元素初の有機金属錯体
- 吸着エンタルピー(揮発性) $Sg(CO)_6 \approx W(CO)_6 \approx Mo(CO)_6$

D2

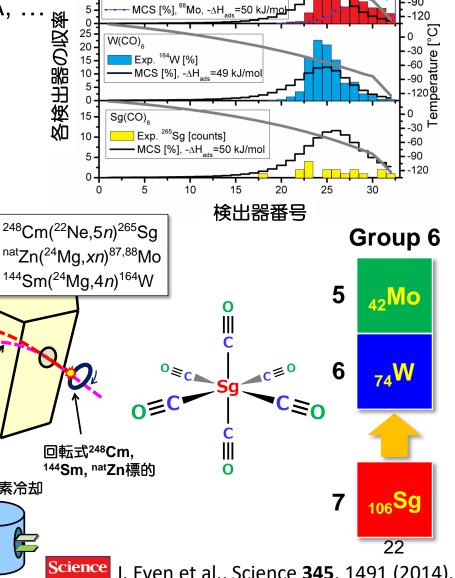
²⁶⁵Sa, ^{87,88}Mo, ¹⁶⁴Wの軌跡

マイラー真空窓

カルボニル錯体合成用 He/COガスジェット

チャンバー

テフロン管



Mo(CO)

Exp. 87,88 Mo [%]

- MCS [%], ⁸⁷Mo, -∆H_{ads}=50 kJ/mol

照射室 化学室

32対のシリコン半導体検出器で構成 液体窒素冷却 されるガスクロマトグラフカラム 低温ガスクロマトグラフ装置(COMPACT

Q₂

J. Even et al., Science **345**, 1491 (2014).



単一原子のイオン化ポテンシャル測定

佐藤さん(JAEA)の提供資料

中間評価

(1) 原子力を支える基礎基盤研究、先端原子力科学研究及び中性子利用研究等の推進

103番元素ローレンシウムのイオン化エネルギー測定に成功、周期表の周期律の概念を再考する成果に

【中長期計画】

イオン化エネルギー (eV)

● 新しい概念の創出を目指した原子核科学や 重元素科学に関連したアクチノイド先端基礎 科学を強化・推進し、分離変換等の研究開 発に資する。

> (97) (98) (99) (100) (101) (102) (103) Bk Cf Es Fm Md No Lr



【活動の成果】

- アクチノイド系列末端の103番元素ローレンシウム原子の電子構造を明らかにするため、アクチノイド標的 を用いた重イオン核反応が可能な原子力科学研究所タンデム加速器棟を使用し、世界で初めて原子番 号が100を超える重元素の第一イオン化エネルギー測定に成功
- 103番目の元素でアクチノイド元素群が終了する事を初めて実験的に証明
- イオン化エネルギー測定に表面電離法を用いるという独自のアイデアで世界初の成果に

100番元素フェルミウムから103番元素ローレン シウムまでの系統測定に成功。 102番元素ノーベリウム(No)まで5f軌道に電子

がひとつずつ充填されることを実験的に証明

102番元素ノーベリウム(No)で安定な準閉殻 構造をとることを確認

103元素ローレンシウムの最も外側の電子が緩 く結合していることを発見。

理論計算値との比較から、ローレンシウムの電 子構造が周期表からの予想と異なることを示唆 nature

重ランタノイド(◇)と重アクチノイド(○●)領域の原子番号 に対する第一イオン化エネルギーの変化。 第一イオン化エネルギーの変化から、アクチノイド系列を確立

Tb Dv Ho Er Tm Yb Lu

(65) (66) (67) (68) (69) (70) (71)

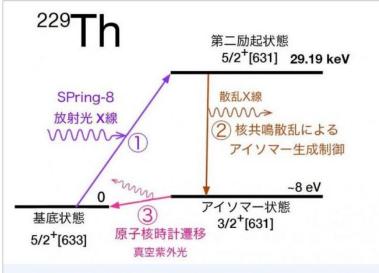
- 平成27年4月 Nature誌に掲載、表紙を飾る
- 平成27年5月プレス発表、科学新聞、サイエンスポータル、 雑誌「化学」、「Natureダイジェスト」掲載
- 平成30年10月Journal of American Chemical Societyに100 番元素から103番元素までの研究成果が掲載される。

- 100番、101番元素も同手法で世界初測定に成功するなど、この分野の中心的な拠点に
- 周期表の周期律の概念を再考する成果に



■ 核と電子系の 相互作用

- 化学環境による半減期変化(7Be@フラーレン、^{229m}Th、^{235m}U等)
- •原子核時計への応用



(図) トリウム229準位図(関係する基底状態及び励起状態) ①-②の順番でアイソマーを生成。今後は③に示したアイソマー状態からの光遷移を観測する計画

- ▶本研究成果の詳細はこちら(岡山大学のホームページ)
- ▶ <u>論文全文をNature(ウェブページ)で閲覧する(英語のみ)</u>

、学HP トアクセスマップ トお問い合わせ トモバイルサイト トサイトマップ トサイトポリシー

高校生・受験生の方

在学生・卒業生の方

一般・地域の方

企業・研究者の方

HOME > 研究トピックス > 自然界で最小の励起エネルギーをもつ原子核状態の人工的生成に成功 -超精密「原子核時 計」実現に大きく前進-

研究トピックス

2019/09/12 投稿

自然界で最小の励起エネルギーをもつ原子核状態の人工的生成に成功 - 超精密「原子核時計」実現に大きく前進 -

自然界には約3300種以上の原子核が存在しますが、この中で最小の励起エネルギーをもつ原子核がトリウム229です。この励起状態(アイソマー状態と呼ばれる)は、レーザーを用いて励起することができる唯一の原子核励起状態であり、これとレーザーを組み合わせることにより超精密時計("原子核時計")を実現することが可能となります。またトリウム229は宇宙膨張の謎の解明など、基礎物理研究の舞台(プラットフォーム)としても有益であると予想されています。

トリウム229アイソマー状態に関する研究は40年以上にわたる歴史を持ちますが、大まかなエネルギー準位はわかっているものの、いまだレーザー励起には成功していません。困難な理由の一つが、この状態の生成方法にありました。すなわち、これまではウランからの放射線に伴う複雑な崩壊を利用する以外にその生成手段が存在しませんでした。

岡山大学、産業技術総合研究所(産総研)、理化学研究所、大阪大学、京都大学、東北大学、ウィーン工科大学、高輝度光科学研究センター(JASRI)の共同研究グループは、世界で初めてアイソマー状態を人工的に生成することに成功しました。本方法は大型放射光施設(SPring-8)の高輝度X線を用いるもので、放射線の少ないクリーンな環境下でアイソマー状態を自在に生成できるという利点があります。これによりアイソマー状態の研究が進展し、原子核時計の実現に向けて大きく前進するものと期待されます。

本研究成果は英国時間9月11日午後6時(日本時間9月12日午前2時)、英国学術雑誌「Nature」のオンライン版に掲載されました。また、日本経済新聞(ウェブ)にも取り上げられました。

2019年 周期表誕生150周年





CONTACT

HOME anum

The International Year of the Periodic Table

PARTNERS

A Common Language for Science

The Periodic Table of Chemical Elements is one of the most significant achievements in science, capturing the essence not only of chemistry, but also of physics and biology.

1869 is considered as the year of discovery of the Periodic System by Dimitry Mendeleev. 2019 will be the 150th anniversary of the Periodic Table of Chemical Elements and has therefore been proclaimed the "International Year of the Periodic Table of Chemical Elements (IYPT2019)" by the United Nations General Assembly and UNESCO.

Discover everything about IYPT2019 via this website. Join the celebrations!

DEAD MODE

Share your IYPT2019 activities with the world via #IYPT2019 on Instagram, Facebook and Twitter.

ffacebook.com/IYPT2019

¥twitter.com/IYPT2019

@instagram.com/IYPT2019



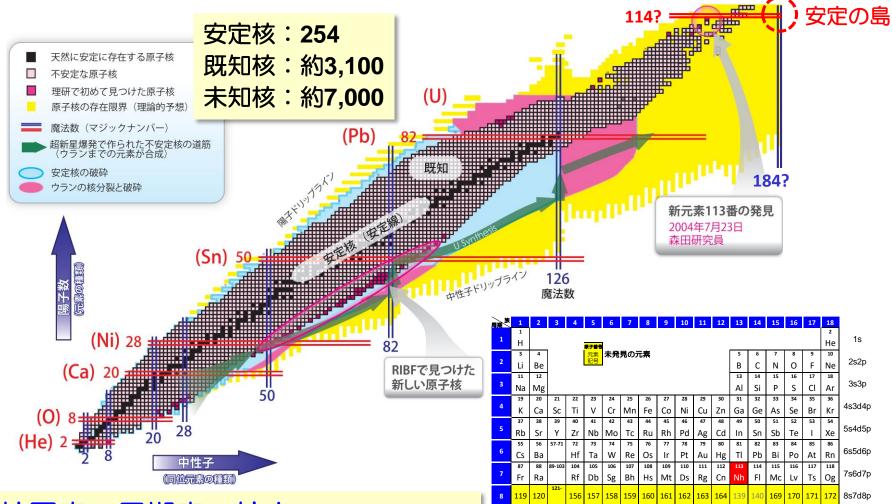
News about IYPT2019

Vilas Pol (chemical engineering professor at Purdue University) set the official Guinness World Record on the 15th of August for the fastest time to arrange all 118 chemical elements on the... ..

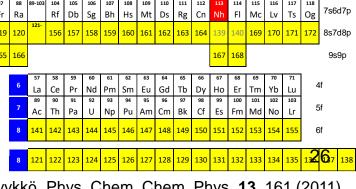
LEARN MORE



核化学のテーマ~周期表200周年に向けて~



- ・核図表, 周期表の拡大
- 究極の原子核,量子化学理論の構築
- 元素の起源の解明
- •新しい応用,産業利用を開拓



Pyykkö, Phys. Chem. Chem. Phys. 13, 161 (2011).

2. 放射化分析分科会





- 中性子、光子、荷電粒子で原子核反応を起こし、生成した放射性核種から放出される放射線を測定する分析法
- 目的元素の存在状態に影響されない。
- 試料を分解・溶解することなく全量分析が可能。
- トレーサビリティ確立が容易。
- ・ ハロゲン等の揮発性元素、溶液化が難しい貴金属元素 の定量に有効
- 国際度量衡委員会物質量諮問委員会で正確な分析法 として認知

代表的な応用例

- ・完全分解が困難な試料 土壌、鉱物、岩石、隕石、セラミックス
- ・水素、炭素、窒素、酸素が主成分の試料 植物、生物試料
- 溶液化に伴い汚染の危険がある試料 超高純度物質(半導体材料)、 極微少量試料(宇宙塵・大気浮遊塵)
- ・正確な値付けが必要な試料認証標準物質、科学捜査、美術・考古 学試料

放射化分析が実施できる施設

研究用原子炉: KUR、JRR-3(2020年度再稼働予定)

加速器施設:J-PARC-BL04、東北大学LINAC、KURNS-LINAC



KURNS-KUR



JAEA JRR-3



J-PARC-BL04





東北大LINAC

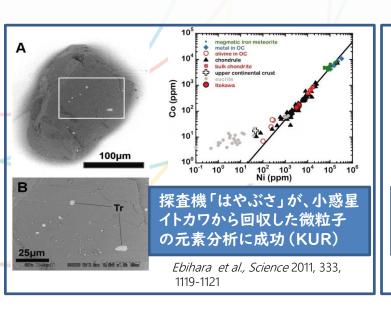


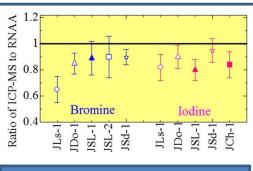
KURNS-LINAC

放射化分析法の代表的な成果



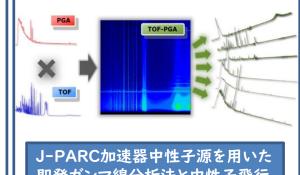






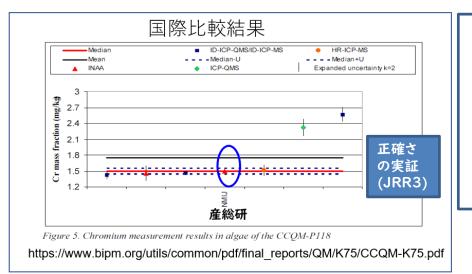
化学分離/中性子放射化分析法 による岩石試料中の微量ハロゲン の精密定量(KUR)

Sekimoto & Ebihara, Anal. Chem. 2013, 85, 13, 6336-6341



J-PARC加速器中性子源を用いた 即発ガンマ線分析法と中性子飛行 時間法の融合(J-PARC-BL04)

Toh et al., Anal. Chem. 2014, 86, 24, 12030-12036



国家標準開発への応用

- •NMIJ CRM 5206-aデルタBN多層膜(AsドープSi基板)
- •NMIJ CRM 5603a, 5604a低エネルギーAsイオン注入けい素
- •NMIJ CRM 5605-a Hf定量用酸化/ハフニウム薄膜
- •NMIJ CRM 7901-aアルセノベタイン水溶液
- •NMIJ CRM 8137-a 臭素分析用PP樹脂ペレット
- •NMIJ CRM 8155-a ABS樹脂(ペルフルオロオクタン化合物分析用)
- ・NMIJ CRM 3633-a チタン標準液
- •NMIJ CRM 3635-a イットリウム標準液

放射化分析法の今後の展開





• 2020年度中のJRR-3の再起動による定常中性子源の増強

秒単位の照射による迅速放射化分析や、民間素材産業からの ニーズが強い即発ガンマ線分析による固体試料中水素非破壊 分析が可能になる

- KUR、JRR-3でのk₀標準化法の導入。
- ハヤブサ2サンプルでの放射化分析技術の活用
- J-PARCでの中性子イメージング、核反応励起発光メスバウアー、核励起γ線核相関測定等との融合による高度化。



自動試料交換機構を備えたJRR3即発ガンマ線分析装置



http://www.jaxa.jp/projects/sas/hayabusa2/images/hayabusa2_main_001.jpg

- 14MeV中性子・荷電粒子による軽元素放射化分析の再現
- 原子炉・中性子源施設・装置の運用者の育成・教育

3. 原子核プローブ分科会

核プローブの物性研究 ~現状と展望~

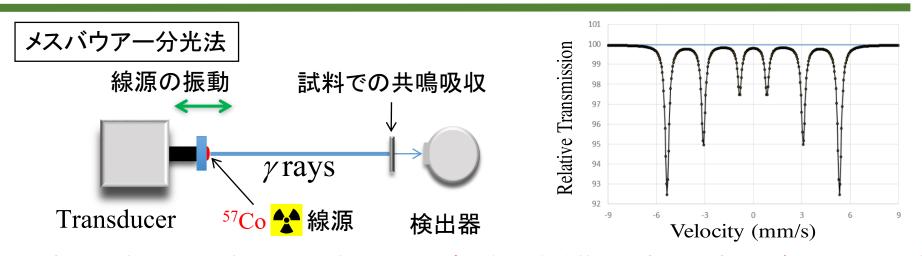
核プローブによる研究

不安定核や素粒子をプローブとして、それらの崩壊過程で放出される 放射線を測定することにより、物質の性質(内部磁場、局所構造、プローブやその周辺の動的振舞など)を微視的視点で研究する手法

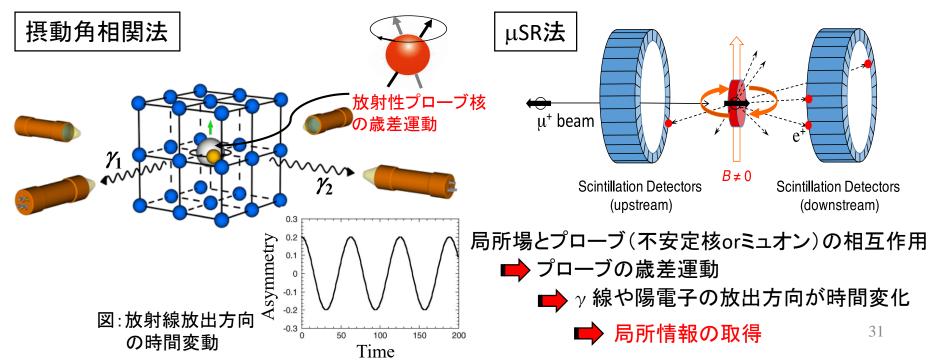
研究手法

- ✓メスバウアー分光法
- ✓ µSR法
- ✔ 摂動角相関法
- ✓ β⁻-NMR法
- ✔低温核偏極法
- ✔陽電子消滅分光法
- ✓その他

核分光法による物性研究(物質中の局所情報の取得)



線源と試料中の同一核種の原子核のエネルギー差(存在状態を反映)を γ 線の共鳴吸収により測定



核分光法の利点と今後の展望

利点

バルクの物性観測では得られない微視的状態観察が可能

研究対象:あらゆる凝縮系物質(固体~ソフトマター~液体)

- ✔機能性金属化合物の局所場測定 半導体、磁性体、誘電体、、、、
- ✓物質中の希薄不純物の超微細場と動的挙動 イオンの拡散、ホッピング、回転、、、
- ✓材料の劣化(損傷・疲労・脆化)の観察 水素吸蔵合金、原子炉材料、、、、
- ✓天然物試料(岩石、堆積物、隕石、食物、、)の組成

今後の展望

加速器を利用した新しい方法論・新規プローブの開発による研究対象の拡張

- ✔インビームメスバウアー分光法
- ✓オンライン摂動角相関法
- ✓シンクロトロン放射光利用の核共鳴散乱・摂動角相関法²

4. 環境放射能分科会(背景とキーワード)





年代	状況
1945年~	環境中に広島・長崎原爆による <mark>残留する放射能</mark> の研究
1950-1960年代	放射化学研究がグローバルフォールアウトによる被ばく線量増加を止める役割
1970年代	原発の増加と環境放射能研究の発展。地球化学研究への応用
1980-1990年代	1986年4月 チェルノブイリ原発事故、1999年9月 JCO臨界事故
2000年代	環境放射能研究費は削減
2010年代	2011年3月 東日本大震災-福島第一原発事故

キーワード

1.【全般】

天然放射能 / 人工放射能、環境被ばく線量、環境トレーサーと環境モデリング、生物地球化学 / 学等分野横断的利用の拡大、 (自然状態における)物理的化学的形態、ニュークリアフォレンジ 射性廃棄物

2.【分析法】

超微量放射化学分析(放射化学分析における新技術開発)、超微量測定(加速器質量分析計、アローブ電界イオン顕微鏡、高感度XAFS)

3.【福島第一原発事故関連】

環境動態(現存、廃炉作業、中間貯蔵)、放射化学分析を駆使した原発事故発生プロセスの解明

日本放射化学会における環境研究の方向性





● より微量へ、より実態へ

最先端/最高峰の放射化学分析開発とその利用、それらをこれまでの標準的な方法と組み合わせる等、目的とする環境研究に合った手法の開発による、人工および天然放射性核種を使った基礎から先端科学研究を推進

●実用学だからこそのアウトカム重視

放射性物質の環境動態ばかりではなく、人と環境の放射線防護も重視。 そのために過去~現在の環境から人工および天然放射性核種の挙動 と人への到達過程を学び、将来予測に資する。

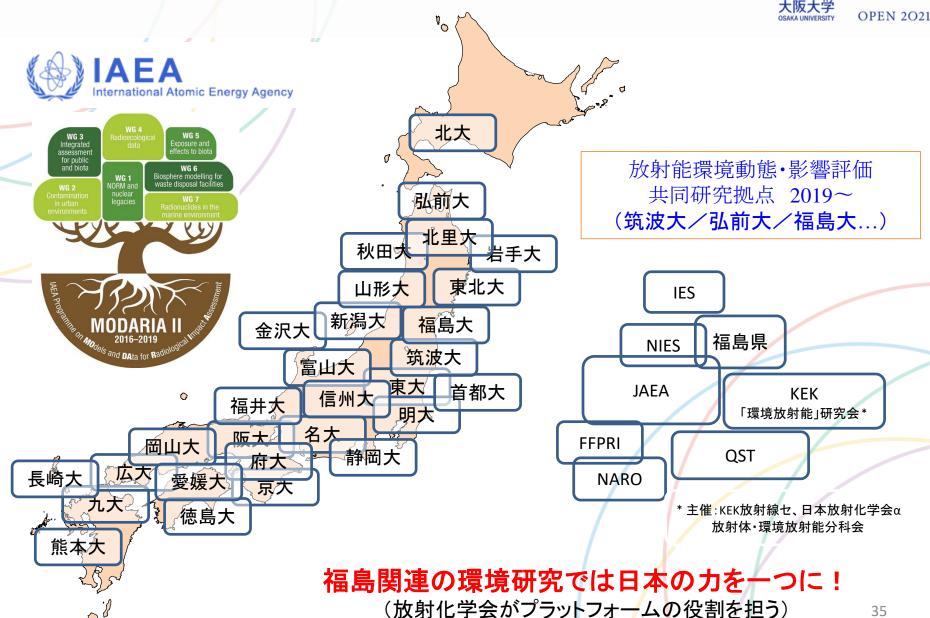
● 世界への貢献

これまでの研究成果、特に福島原発事故の経験や教訓を生かし、世界へ環境研究成果を発信するとともに、若い世代へ知識と経験を受け渡す(教育)

オールジャパンの研究体制作り: 関連大学と研究機関





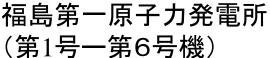


福島事故由来の環境放射能 ―放射性微粒子の発見―









東京電力が1971年(1号機)から 運転開始し、1979年(6号機)まで に6機の原子力発電所を作り、営 業運転を行ってきた。



3.11東日本大震災→津波の到来

- ・ 福島第一原発の想定津波最高水位を5.7mとして、対策がされていた。
- 実際は、14~15mの津波が来て、 地面に対し4~5m浸水した。
- 全電源喪失→炉心溶融へ(レベル¾)

アカデミア(大学等)の活動

大阪大学 OSAKA LINIVERSITY



(環境放射能測定を中心に)

(3/15-16と3/20-21の放射性物質の放出)

スピーディーのション

結果とほぼ合致

風に乗って拡散、

土壌に蓄積

環境汚染調査

個人、学協会(放射化学会等)で可能な活動

国や県からの要請への対応

→徐々に組織化

(スクリーニング、試料測定、放射能教育など)

住民の避難、帰宅の判断、被曝評価、、

社会貢献

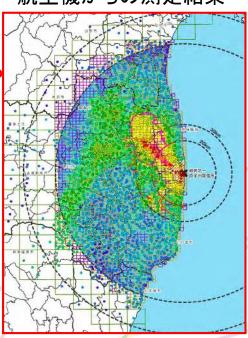
積量の直接精密測定の必要性 射能の系統的測定の必要性

科学研究

汚染の未来予測、環境回復、廃炉

→継続的・科学的研究の必要性

航空機からの測定結果



文部科学省中心に調査プロジェクト

福島土壌調査プロジェクト

試験調査:5/上旬

本調査:6/5-14、6/27-29

分析:6/7-7/上旬

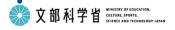
37

土壌調査プロジェクト

€ 放射線量等分布マップの作成に向けた空間線量

放射線モニタリング情報

Monitoring information of environmental radioactivity level



上ップ > 放射線量等分布マップ等 > 東京電力株式会社福島第1及び第2原子力発電所周辺の放射線量等分布マップ > 放射線量等分布マップ O 作成に向けた空間線量率測定及び土壌調査の開始について(平成23年6月3日)

放射線量等分布マップの作成に向けた空間線量率測定及び土壌調査の開始について(平成23年6月3日)

1. 放射線量等分布マップの作成に向けた空間線量率の測定・土壌調査について

文部科学省は、「環境モニタリング強化計画」(平成23年4月22日原子力災害対策本部)及び「原子力被災者への対応に関する当面の取組方針」 (平成23年5月17日原子力災害対策本部)に基づき、放射性物質の分布状況の把握、各区域における線量評価や放射性物質の蓄積状況評価のための材料として活用するため、放射線量等分布マップを作成することとした。

■パイロットスタディー

(試験調査:5/2-3,5/7-8)

密度:10kmメッシュ

領域:南北100km、東へ80km



サンプリングポイント: 2200点(2kmメッシュ)

(サンプル数:12000個)

述べ参加人数:1000人・日(94機関、440人)

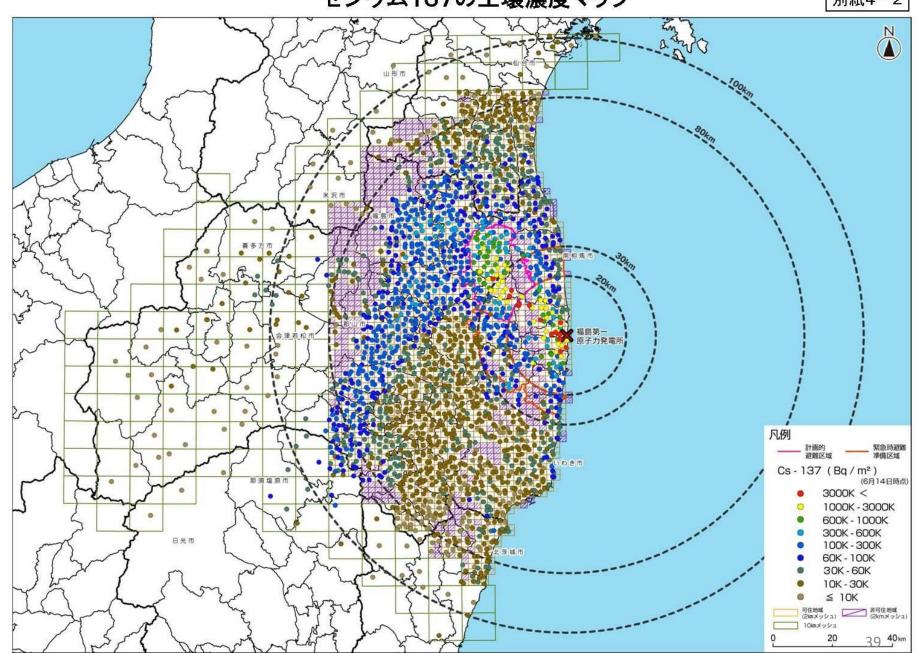






セシウム137の土壌濃度マップ

別紙4-2

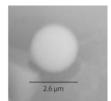


組織的な研究体制へ(→文科省、環境省)

環境中の放射能汚染の状態、 未来予測、環境回復へ 対出核種の大気、陸域、海洋における動態の解明

→ 分野横断的な環境動態の学術研究が必須

「新学術領域研究」 2012年度-2016年度



不溶性放射性 微粒子の発見 Adachi et al. (2013)

環境試料から 炉内事象へ迫る

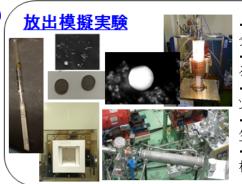
一次放出の 化学形態決定と 炉内事象

放射化学からの アプローチ

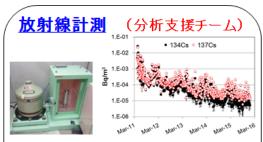
炉内事象、 未来予測、環境回復

A04班: 化学形態解明、測定技術開発

放射性物質は、事故時にどうやって、どれぐらい出たのか?今後の環境挙動は?

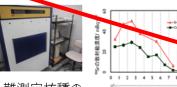


・マイクロエアロゾル 分析システムの開発・加熱模擬実験による揮発性物質の研究・加速器によるエアロゾル発生場の整備・人エエアロゾル発生システムの開発・不溶性粒子の生成模擬実験



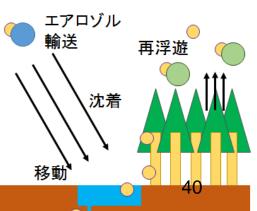
- ・大気班と連携して年間2000を超える大気 試料の分析・長期変動の解析
- ・測定の標準化(標準試料)、IAEA-PT対応 、・依頼測定への対応





- ・難測定核種の 分析法の開発
- 緊急時のSr分析 マニュアルの整備
- ・微量元素の分布 経時変化測定 (⁹⁰Sr, ^{110m}Ag, Pu, ,,

原子力事故
放射性核種
の漏えい



番組をみつける



総合 午後 10:00

ホーム

放送予定

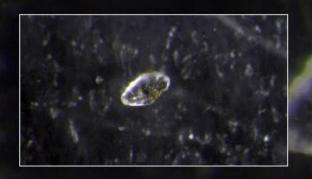
ショート動画

記事

これまでの放送

番組紹介

よくある質問



2017年6月6日(火)

原発事故から6年 未知の放射性 粒子に迫る

シェアする?







福島第一原発事故の際、過去の事故では見つかっていないタイプの放射性粒子が 放出されていたことが明らかになった。大きさは1/1000ミリ以下から0.5ミリ ほど。微細なガラス玉に放射性セシウムが閉じ込められている。水に溶けないた め、体内や環境中に長期間、残留する懸念がある。従来、考えられてきた放射性 セシウムとは影響が異なる可能性があるという。「さらなる研究が必要」としつ つ、研究者たちは、今、分かっていることを伝えようしている。未知の放射性粒 子とは、どのようなものなのか?影響と対策は?探っていく。



継続的観測(阪大Grが中核)

(5年目の帰還困難区域での^{134,137}Cs分析)

帰還困難区域での除染作業も始まるという状況を踏まえて、2011年の大規模土壌調査の5年後調査として 2016年6-9月に7市町村(南相馬市、飯舘村、浪江町、 双葉町、大熊町、葛尾村、富岡町)において土壌採取 を実施 (105地点、1050試料)



破壊分析や不溶性粒子 探索に利用

表面より5cm の土壌を採取







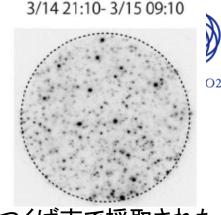


不溶性放射性微粒子の発見

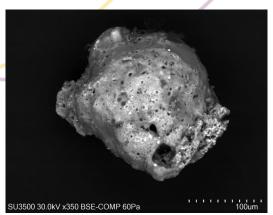
福島事故由来の¹³⁷Csを濃集した不溶性粒子が見つかっている



- ・ 粒子の放出量は初期被曝の評価に影響
- ・生成プロセスの解明は事故時の炉内状況の 解明に役立つ



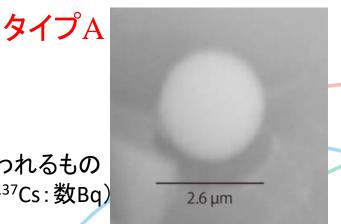
つくば市で採取された フィルタのIP像



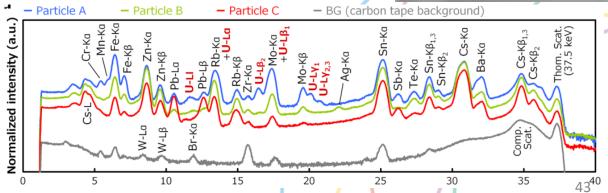
タイプB

1号炉由来と思われるもの (大きさ:数十~数百μm、 ¹³⁷Cs:数十~数千Bg)

> 2号炉由来と思われるもの (大きさ:数μm、¹³⁷Cs:数Bq)







K. Adachi, et. al., Sci. Rep. 2013, 3, 2554., Y. Abe, et. al., Anal. Chem. 2014, 86, 8521

ストロンチウムとプルトニウムの化学分離、分析過程





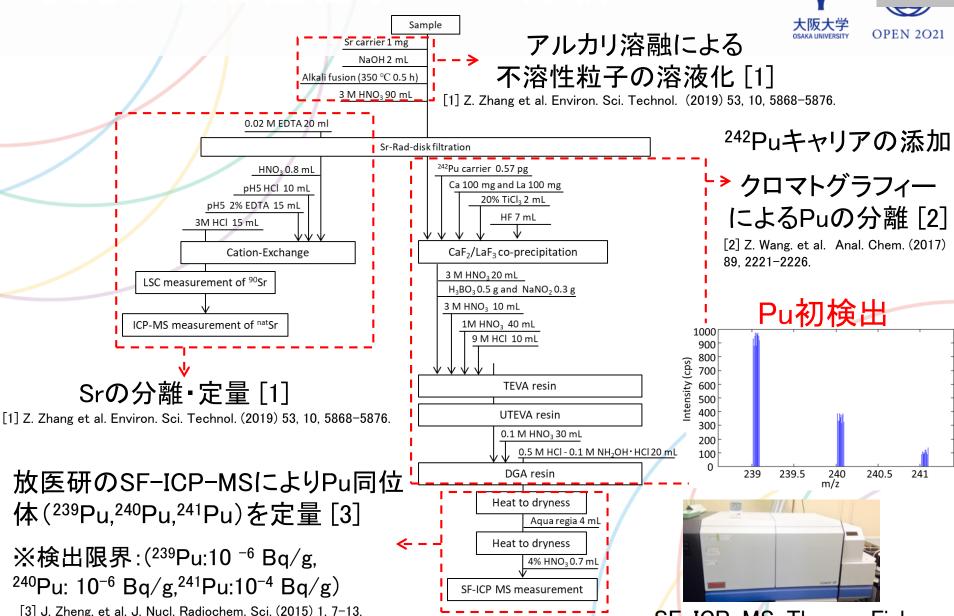


Fig. 不溶性粒子中のPu分析スキーム

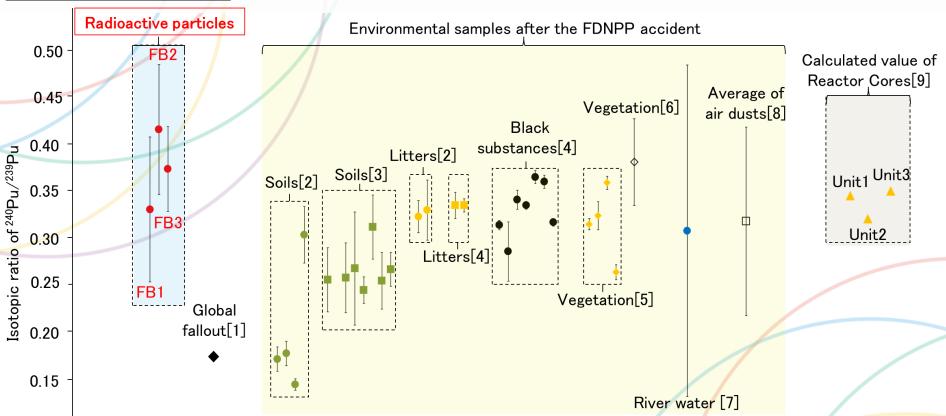
SF-ICP-MS :Thermo Fisher Scientific, Element XR,

■Pu同位体比の比較の比較: ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu









- ・土壌の値は粒子の値よりも小さく、GFの影響を大きく受けていると推測
- ・ 粒子の値は落ち葉、黒い物質、植物の値と良く一致
- ・粒子の値は炉内インベントリー計算値と良く一致

^[1] J. Kelly et al. Sci. Total. Environ. (1999) 238/238, 483-500. [2] J. Zheng et al. Sci. Rep. (2012) 2, 030. [3] G. Yang. et al. Sci. Rep. (2017) 7, 13619. [4] M. Yamamoto et al. J. Environ. Radioact. (2014) 132, 31-46. [5] J. Dunne et al. Sci. Rep. (2018) 8, 16799. [6] S. Schneider. et al. Sci. Rep. (2013) 3, 2988. [7] A. Sakaguchi et al. Geochem. J. (2012) 46, 355-360. [8] T. Shinonaga et al. Environ. Sci. Thechnol. (2014) 48. [9] K. Nishihara et al. JAEA-Data/code. (2012) 2012-018, 65-117.





高校生・受験生の方

在学生・卒業生の方

一般・地域の方

Scientific Reports 9, 11807 (2019)

HOME > 研究トピックス > 放射性微粒子に含まれる極微量プルトニウムを分析 一原子炉から放出の微粒子が 発事故状況の解明へ期待―

理学研究科

理学部

- 概要・教員一覧
- 学部
- ▶ 大学院
- 附属施設・教育研究支援組
- 入試情報
- キャンパスライフ
- 国際交流・留学



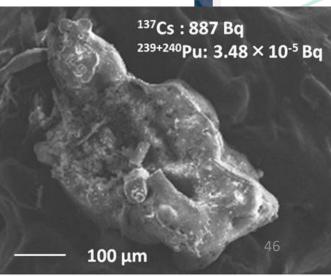
研究トピックス

2019/08/14 投稿

放射性微粒子に含まれる極微量プルトニウムを分析 一原子炉 から放出の微粒子分析による原発事故状況の解明へ期待一

篠原厚教授(大阪大学大学院理学研究科)と二宮和彦助教(大阪大学大学院理学研究科) は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(OST)量子医学・医療部門高度被ばく 医療センター福島再生支援研究部の鄭建上席研究員らの研究グループ、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構(JAEA)福島研究開発部門廃炉国際共同研究センターの佐藤志 彦研究員と共同で、東京電力ホールディングス株式会社(TEPCO)福島第一原子力発電 所(福島原発)事故により放出された極微量のプルトニウムを含む放射性微粒子を定量し発 牛源を明らかにしました。

2011年3月に起こった東日本大震災により、TEPCO福島原列 事故で、多くの放射性物質が環境中に放出されました。放射 子炉内で生成した放射性微粒子が環境中に放出されたことが 子の性質は世界的な関心を集め、様々な研究機関などで分析 で重要視されている元素である、プルトニウムは見つかって 子に含まれているプルトニウムが極めて微量であることが原 今回、篠原教授らの研究グループでは、放射化学的な手法を に含まれる放射性同位元素の分析を実施しました。今回、超 ることで、放射性微粒子に含まれる極微量のプルトニウムを (図)。これにより、放射性微粒子が生成したときの原子炉 が期待されます。そしてこれからの福島原発の廃炉作業にも



英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 (国際協力型廃炉研究プログラム(日英原子力共同研究))

H30-R2





放射性微粒子の基礎物性解明による廃炉作業

リスク低減への貢献





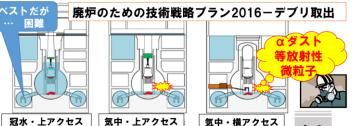












• 放射性微粒子の性状

理学的アプローチ

「安全な作業環境の

• 効果的な放射性微粒 子の分離方法の検討 確立・一般環境への 漏洩防止」

※ 英国側パートナー

The UK's 2 leading academics in nuclear waste management







UK Lead Investigator: RAEng Professor in Actinide

Materials, specialist in behaviour of spent fuel materials in environmental and engineered environments. >140 peer-reviewed papers and member of NIRAB (2017-2020). Extensive experience in working in Japan with Kyoto University and its Research Reactor Institute (KURRI), as well as JAEA, MRI and other Japanese Universities. Recently signed a strategic partnership agreement for research on fuel particle and corium analysis with the JAEA.







RAEng Professor of Nuclear Materials Chemistry specialising in radioactive waste management and disposal. He is Director of the Immobilisation Science Laboratory, is a member of the Government's NIRAB advisory board (2014-20) and is co/author of >100 peer-reviewed papers. He

is PI for the EPSRC JUNO

UK Nuclear Opportunities.

network for collaborative Japan-

UK Co-Investigator:

Prof John Beddington

University of OXFORD Project Wentor:

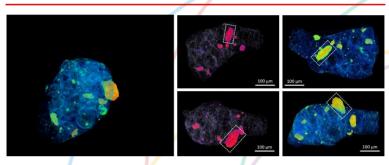
Sir John Beddington, former UK Chief Scientific Adviser, awarded the Order of the Rising Sun, Gold Rays with Neck Ribbon (Kyokujitsu Chu-Jusho) from the Emperor of Japan.

Introduced Scott to working in Japan to support Fukushima issue with Kvoto University in

18 March 2020



X-ray Tomography of large ejecta



Feasibility measurements of larger ejecta particles (from close to FDNPP collected by JAEA) contain a low-density, highly-porous matrix with complex surface texture. There are also smaller balls of volatised Cs and UO.

Within the large ejecta you can see fragments of heavier material – steel, 47 concrete, fuel.

まとめ(アカデミアにおける福島原発事故)





2011.3.11. 東日本大震災、津波

福島第一原子力発電所電源喪失

2011.3.12. ~ 放射性物質の大量放出

原子炉の 安全神話

崩壊

炉心溶融(メルトダウン)

環境汚染

¹³⁷Cs放出量: ~15 PBq

環境調査、被爆調査

環境放射能

/環境動態/廃炉関連研究

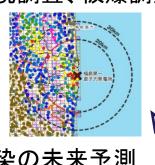
放射能・放射線教育の見直し

基礎研究・学術としての展開・継続 (大学の研究分野として定着)

学生にとって 魅力有る分野へ

建設中含め世界で500基起の原子炉

世界における日本の責任



<mark>汚</mark>染の未来予測 /環境回復へ

廃炉へ

人材育成

40年間続く課題・日本の研究力の真価

5. 放射化学の課題





■ 教育・人材育成

背景·現状

2006年現在:放射化学関連研究室を有する大学=約35

[50周年時] (放射化学関連授業提供大学・部局数=約70)

2020年現在:35 → 22?大学(研究室)

放射化学技術 · 研究者

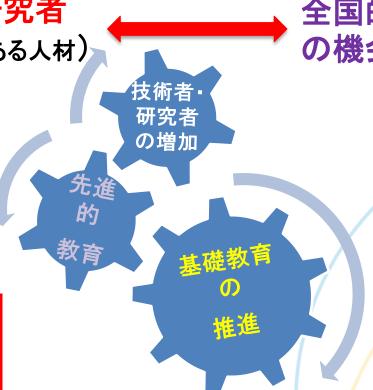
(ものを触ったことのある人材)

の必要性の増加

放射化学会による 放射化学教育の仕組 みの提案

学会内に教育部会を 組織する

学会HPでのe-learning, VEDEO講義など教材の共有 および開発 講師派遣制度など



全国的な放射化学教育の機会減少

大学・研究室の減少 RI施設の陳腐化

アカデミア人材の不足 人材供給能力の低下

学校教育の中の放射線 教育の位置づけ

■ 研究面での課題

- 新元素の発見、新しい量子ビーム利用、新規核プローブ、高度分析手法、医学・薬学分野での新規診断や治療法開発など、新しい基礎科学や応用研究を推進。
- → 福島事故に関連する今後の環境回復、廃炉、健全な 原子力社会の実現に向けた人類的課題に大きく貢献。



特色ある面白いテーマは盛沢山

が味趣に入るく貝似。 マポスト、予算> ―― (研究の) 活性化)

人的資源、大型設備 教育研究の機能強化

■ (RI·核燃料取扱)施設、法規制の問題

RI·核燃の使用=専用施設→研究、教育・人材育成に必須 法規制の強化→施設更新・人材の維持→大学では困難に

合理的運用へ ←社会的コンセンサス

➡ 放射線教育・アウトリーチ活動、RI施設の連携拠点化

(JAEA、理研、京大複合研、東北大金研、阪大放射線機構、主要大学RIセンターなど)





4. 放射化学研究の新領域

- 1. ミュオンによる新奇元素分析法(新学術研究分野)
- 2. アルファ線核種によるがん治療

1. ミュオンによる新奇元素分析法 🖓





ミュオンとミュオン原子

地表に到達する宇宙線の 主な成分はミュオン 掌に毎秒1個程度の強度 量子ビーム利用には大量生成 可能な大強度加速器が必要

K中間子 中性子 ニュートリノ パイ中間子 原子核 ミュオン

超高エネルギー宇宙線 大気中の Or San 原子核と衝突 **大気シャワ** 大気 イ粒子やK粒子 **電子やガンマー線** ミュー粒子 地上

加速器による ミュオンなど様 々な粒子生成

反陽子

陽子

原子 1s電子雲

ミュオン原子の形成 エネルギーは200倍 X-ray

・軌道半径は1/200

■世界のミュオン施設

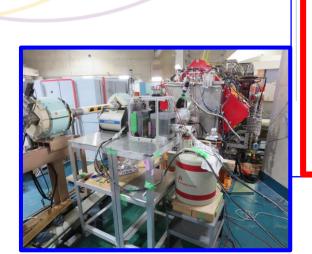
→日本はミュオンのメッカ



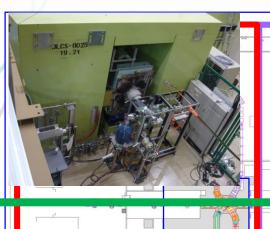


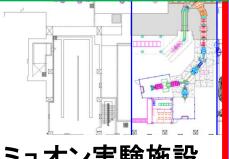
MUSE in 物質・ 生命科学実験 施設(J-PARC)

3 GeV陽子

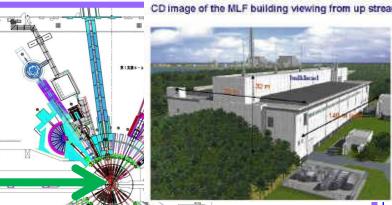


MuSIC in 核物理 研究センター(OU)

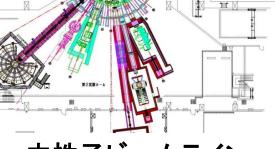




ミュオン実験施設 (MUSE)







中性子ビームライン



スイス・ ポールシェ ラー研究 所(PSI)



英国・ラザ フォードアッ プルトン研 究所(ISIS)

カナダ・TRIUMF研究所

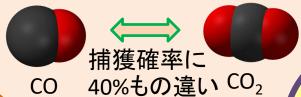
■ 負ミュオンの化学研究





化学効果を利用した物性研究

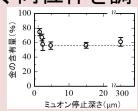
原子の化学的環境に応じてたミュオン 原子の形成過程の違いから電子状態 を明らかにする



ミュオン特性X線を用いた非破壊の元素・同位体分析

高エネルギーの特性X線を用いて、物質内部のあらゆる元素、同位体を調べる





小判の 内部 分析

Z-1原子の化学反応

ミュオン原子はZ-1原子に見える。 本当にZ-1原子と同じなのか?ミュオン原 子の化学反応というフロンティアに挑む



ミュオン原子

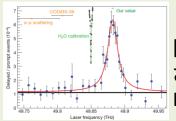
ミュオン

原子核(Z)

ミュオン原子形成の基礎物理

ミュオン原子はどのようにできるのか?

ミュオン原子の特徴を生かした基礎物理研究



陽子の大き さの研究 Nature(2010)

■ 負ミュオンによる元素分析の実例

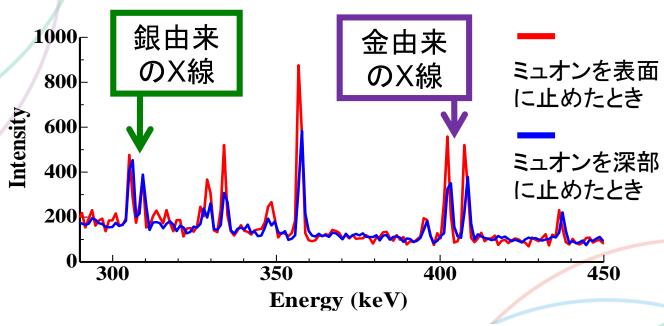






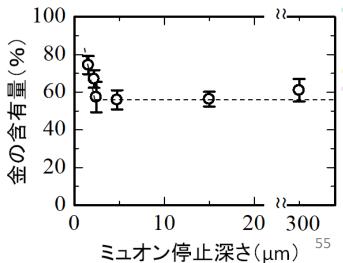
天保小判の分析

(19世紀:日本)





小判の表面のみ 金が多いことを、 資料に触れることなく、非破壊で 明らかに!





新学術領域発足(H3O-H34)

「宇宙観測検出器と量子ビームの出会い。新たな応用への架け橋。」

A02: 高エネルギー光子ビームで探る原子核内部と中性 子星深部

A01: 負ミュオンビームによる原子分子物理の精密検証と宇宙物理観測への展開

で、マーム (仮想光子) e・電子ビーム (表記) ない (仮想光子) を で 電子ビーム

B01: <u>負ミュオンビーム</u>を用 いた新たな非破壊元素分析 注

C02: 最先端<u>負ミュオンビー</u> ム開発 第一年 19 日本 19 日本

B02: マッハ衝撃波緩衝領域 での飛行中ミュオン触媒核 融合の創生

C01: 宇宙硬エックス線・ガン マ線検出テクノロジーの異分

野への展開

B03: 高偏極RIビームの生成と 核・物質科学研究への応用

06

■ ミュオンによる非破壊元素分析法の展開



B01班プロジェクト

先進検出器による測定システム

- 三次元元素イメージング
- 非破壊同位体分析

新学術領域研究:量子ビーム応用

A01, B02:ミュオン基礎物理研究

C01: 宇宙観測検出器の開発

CO2: 高品質ミュオンビーム開発



異分野連携に よる新展開

宇宙地球試料分析



三迫る

太陽系形成とその発達 過程の解明 生命材料有機物の探索 考古学試料分析







古代技術の再構築 古代の文化伝播、 物流の解明

生物試料分析

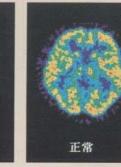




過去、現在、未来 の環境変動解明 生体イメージング



2. アルファ線 核種による がん治療

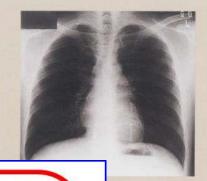


放射性物質による脳の検査

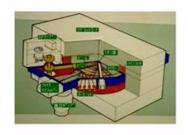
特定の放射性物質を体内に入れると、脳や肝臓な どの特定の器官や組織に集まり、その器官や組織の 働きを調べることができます。(4ミリシーベルト/1検査)







RIイメージング (診断) PET 粒子加速器



気体ターゲット

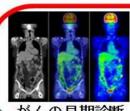
照射

18**F**

11C

15**O**

13N



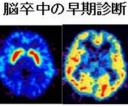
がんの早期診断





認知症の早期診断





精神疾患の解明

胸部疾患検査

は結核などの有無を調 リシーベルト/1検査)





診断

+治療

杏によく使われます。腫 瘍のあるところにはバリ ウムがなく、その形が見 きます。(0.6ミリシーベ



新規核医学用RIの開発

X線CT

細いX線ビームでいろいろの方向から透 過量を測定し、コンピューター処理により断層 写真を作り上げるのが、X線CTと呼ばれるも ので、頭、胸、腹等での出血や腫瘍58診断に 対して用いられます。(6.9ミリシーベルト/1検査)

核医学治療への貢献

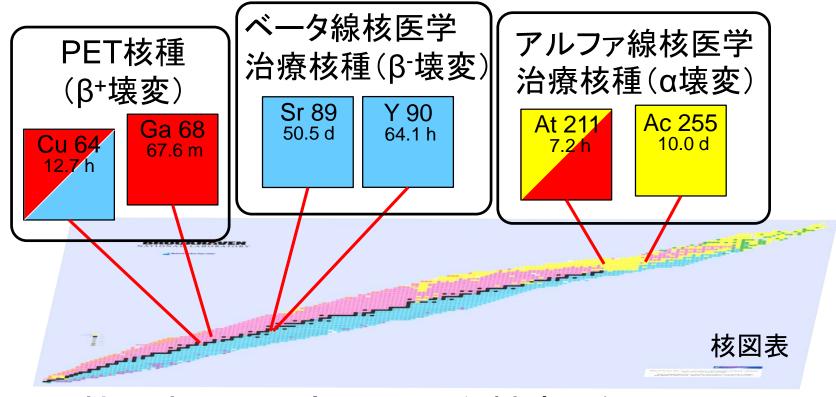


核種製造:新たな医学応用核種の製造

(放射線医療イノベーションの基盤技術)

分離精製:供給核種の化学分離

→ 診断薬、治療薬の原料となる短寿命RIを供給



核図表上の大部分のRIを製造可能

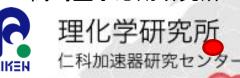
短寿命RI供給プラットフォーム(2016~)



- 基礎開発・研究用RIの安定供給
- 安全取り扱いのための技術支援

放射化学グループによる 製造分離供給・技術開発 の推進

量子科学技術 研究開発機構 高崎量子応用研究所



大阪大学 核物理研究センター



新学術領域研究(研究領域提案型) 学術研究支援基盤形成リソース支援プログラム 東北大学 サイクロトロン・ ラジオアイソトープセンター 電子光理学研究センター

量子科学技術 研究開発機構 放射線医学総合研究所



RCNP website http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp

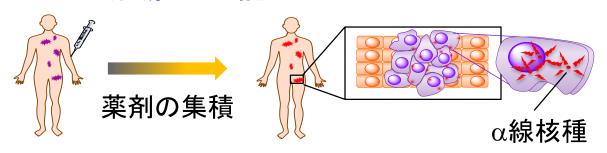
アルファ線核医学治療法

PSA = 0.26 ng/mL

PSA = 2.923 ng/mL



- ・短寿命のα線放出核種(短い飛程、高いLET)をプローブとして使用
 - →腫瘍に集積できれば、高治療効果で副作用の少ない、 革新的ながん治療が可能



治療例(独ハイデルベルク大学病院): ²²⁵Ac薬剤 ▲治療前 B治療開始2カ月 **C** 4力月 リンパ節に転移 225Ac-PSMA 225Ac-PSMA 常範囲まで低下 12/2014 7/2015 9/2015

PSA < 0.1 ng/mL

治療前:前立腺がんが多数の骨及び

治療後:血液マーカー(PSA)値が正

国内外で大きな注目

²¹¹At標識医薬品の候補(大阪大学)



化合物	予定効能	分子構造
²¹¹ At標識アスタチン化Na (²¹¹ At-NaAt)	甲状腺がん	²¹¹ At-NaAt
²¹¹ At標識フェニルアラニン (²¹¹ At-Phe)	脳腫瘍	LAT1特異性 (F) O OH NH ₂
²¹¹ At標識αメチルチロシン (²¹¹ At-AAMT)	すい臓がん	LAT1特異性 O OH NH ₂
²¹¹ At標識抗CD20抗体 (²¹¹ At-MAb)	悪性 リンパ腫	H O O O O O O O O O O O O O O O O O O O

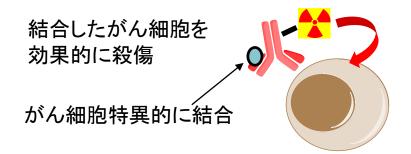
ターゲッティング分子合成と試験



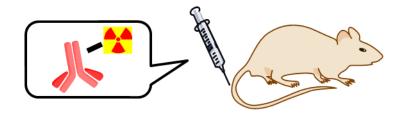
1. ²¹¹At標識がん標的剤の合成 ⇒ 既に調製法を確立

→多くの候補薬剤へ

2. 細胞を用いた²¹¹At標識がん標的剤 の効果検証

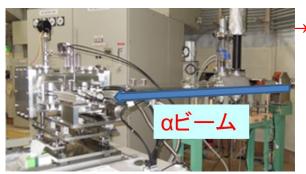


3. ²¹¹At標識がん標的剤をマウスに投与し, 効果を検証



4. ⇒ 非臨床試験、治験へ

■ アスタチンの化学的性質の研究



RCNP-AVF加速器 M実験室 ²⁰⁹Bi(α,2n)²¹¹At反応で生成

→次世代製造システム開発

- ・分離精製されたアスタチンの化学形の探求
- ・微量At化合物(pmol ~ fmol)の分析装置開発 (レーザー分光、質量分析)



[²¹¹At]-NaAtの集積と腫瘍増殖抑制効果に



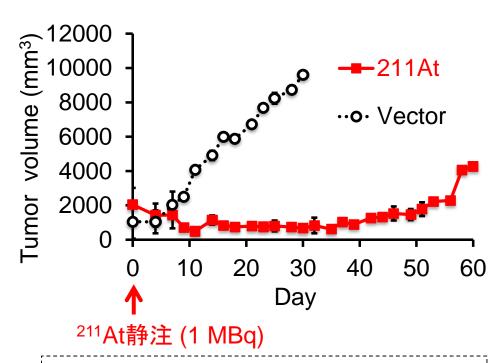
- 甲状腺がんへの集積 -

Н

マウス 1 腫瘍 マウス2 3 h

²¹¹Atは腫瘍部位に著明に集積

- 甲状腺がんの増殖抑制効果 -



単回投与したマウスの腫瘍サイズは著明に縮小し、約30日後まで腫瘍の増殖を持続的に抑制

Watabe et al., JNM 60 1301-1307 (2019).

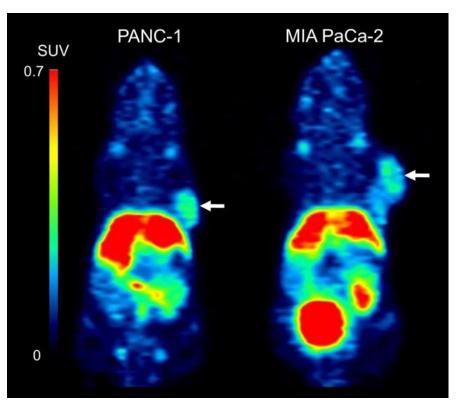
がん間質をターゲットにしたα線治療



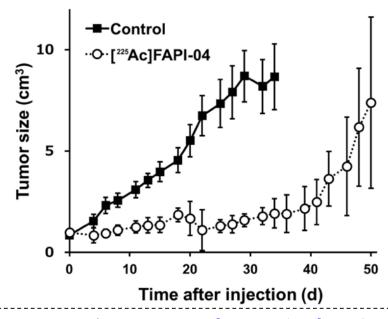
²²⁵Ac-FAPI-04(膵臓癌モデル)

国際共同研究

⁶⁴Cu-FAPI-04 PET

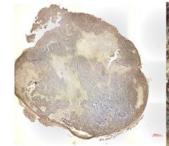


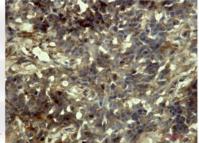
(ヒト膵臓癌細胞をヌードマウスに皮下移植)



約40日後まで腫瘍の増殖を抑制

FAP免疫組織化学染色





Watabe *et al.*, JNM. (2019)

プレスリリースと新聞報道





国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

Press Release



2019年3月27日

キーワード: 核医学、放射性医薬品、放射線、加速器、核・放射化学

体内から原子の力でがんを攻撃



(毎日新聞 2019年3月28日)



国立大学法人 大阪大学

TEL: 06-6877-5111 /ft www.osaka-u.ac.jp

2019年10月4日

分野: 生命科学·医学系

Press Release

キーワード:核医学治療、膵臓がん、アルファ線治療、がん間質

膵臓がんのバリアを攻撃して、**難治性がん**を制圧

。に異常があ 替えて動か の正常な振 たところ、 みのAI 部から機械 サーで集め

たAIが どうかを センサーを く。古い学にリアルタ

どうかを 1H す

けを転写する「RNAスプラ 授と白髭克彦教授らは、DN 東京大学の泉幸佑客員准教 A転写異常原因 害や骨格の変形などの症状を 持つ、特定の病名がついてい 人について

や脊椎の異常が発生し、人間 で作製。卵が育つ過程で神経 同様の変異が入ったゼブラフ ィッシュをゲノム編集の技術

イシンゲーと呼ぶ仕組みの異一プライシングこ関わる、NK一の患者でみられる正伏と合致

者を治療できる可能性があっているできる可能性があっているで治療効果を確かった。抗がん剤が効かない患した。がんを支える間質を狙した。がんを支える間質を狙した。がんを支える間質を狙した。がんを支える間質を狙 う)がんをたたく技術を開発 の共同研究の成果で、 強力な放射線で膵臓(すいぞ く質などを出す間質に注目。 阪大などは膵臓がんの周囲

療しない場合の4分の1に抑 膵臓がんを移植したマウスへ アクチニウムを付け、 低分子化合物に、α線を出す 間質が持つたんぱく質に付く うため、抗がん剤が届きにく で間質をたたけば、がんを効 く治療が難しい。阪大の手法

め、今回の技術で治療できるがんの周囲にも間質があるた 果的に治療できる可能性があ 食道や肺、大腸や肝臓の

部直史助教らは、α線という 大阪大学の篠原厚教授や渡 線 で膵臓 傷つける恐れが少ない。 ん間 質を攻撃

がんを増やすたんぱ 体を狙うことが多かった。 ある。だが従来はがん細胞自 臓がんは周囲を厚い間質が覆 世界で盛んになりつつ

上へロボットを

来てもらうようにした。ただ、こちらは一十分に集められないからだ。 学業優先なので当然ながら雇える時期は

とで、JAが6台を導入した。ただ、フ ル稼働していない。収穫機に乗る人さえ JAによると、20年後に農家の平均的

「日経産業新聞 2019年10月17日)





5. おわりに

- 放射化学の課題
- 取り組み(学会、RI施設、阪大、、、)
- 国への要望と提言

放射化学の課題と取り組み





- ▶ 放射線やRIは、エネルギーはもとより、医療や産業利用では、もはや欠くことのできない必須のものとなっている。
- ▶ 研究面でも、これまでRIの主要なユーザーであった生物科学関連が激減した一方で、新しい量子ビーム利用、新元素の発見、医学・薬学分野での新規診断や治療法開発など、新しい基礎科学や応用研究が増えている。
- ➤ 福島事故に関連する今後の環境回復、廃炉、原子力社会のいろいろな意味での健全化などの 人類的課題がある。
- ▶ 一方で、大学の関連講座は減少し、人材育成や教育研究にかかわる人的資源が危機的状況にある。また、放射線や原子力に対する風当たりはきつく、関連規制は厳しくなっているが、特に大学では、老朽化した施設の更新が出来ず厳しい状況にある。

大学における教育人材育成、学校や社会における放射線教育の重要性放射線・RI施設の維持強化(機能集約・最適配置)、人的資源の強化へ

国への要請・ 提言の発信 (日本学術会議、 原子力規制庁、 文科省、原子力 委員会、・・・)

放射化学会の取り組み

→ロードマップ、学会員の連携、 国際連携(APSORC等)

RI施設の取り組み

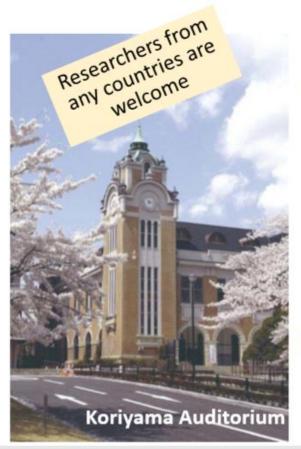
→RI施設の連携拠点化

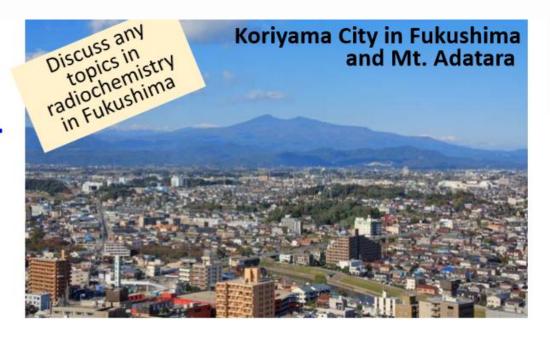
大阪大学の取り組み

- →放射線科学基盤機構の創設
- →産学連携の推進OPERA(QiSS)
- →放射線を軸にした卓越大学院

7th Asia - Pacific Symposium on Radiochemistry 2021

September 19 (Sun) - 24 (Fri) Koriyama, Fukushima, Japan





Scope:

- 10 years from Fukushima NPP accident
- Nihonium (Nh) and trans-U elements
- Nuclear chemistry
- Radioanalytical Chemistry
- Actinide chemistry
- Nuclear probe in chemistry
- Activation analysis
- Nuclear forensics
- Radiopharmaceutical chemistry
- Environmental radiochemistry, and other related topics

Site tour:

Visit to Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station



Contact: Yoshio Takahashi (The Univ. of Tokyo) E-mail: ytakaha@eps.s.u-tokyo.ac.jp http://www.radiochem.org/apsorc2021/

非密封放射線施設のネットワーク型拠点化構想(案)

(日本学術会議・分科会小委員会+全国RIセンター長会議)

加速器施設等 原子力規制庁、 (短寿命RIプラットホームなど)文科省、IAEA・・



各連携機関 (研究所、 私学など)

大学・研究機関 企業など

地域中核拠点

* * RIセンター

地域拠点

RIセンター (連携機関) 大学・研究機関 企業など

日本学術会議•提言

目的:

- 放射線教育・人材育成の機能強化
- ▶ 特色有る教育研究の推進、新分野の創出
- ▶ 地域拠点形成、施設の統廃合・機能集約
- ➤ 全国RI関連施設配置の最適化(セキュリティー、リスク管理面の改善)

想定される機能

- ・各地域における大学・研究機関の放射線RI教育研究拠点
- ·外交全般(規制庁、文科省、IAEA等国際機関)
- ・企業の受け入れ(共同研究、産学連携)
- ・将来構想、施設整備等の推進、予算要求など

実現までのロードマップ案

- 1)モデルケースの実施(重点テーマとして?) <3-4年間> 施地域連携による教育・共同研究、施設廃止のモデルケース
 - 施設廃止の予算枠創設の提案(文科省→財務省)など
- 2) 中核拠点の選定、地域ネットワークの構築(段階的に) ↓ 共同利用予算・人員、拠点整備予算など **<~5年後>**
- 3) 全国のネットワーク、研究分野拠点 <5~10年>

70

大阪大学放射線科学基盤機構の設置





2018.4.1.創設



機構の紹介

放射線科学

放射線管理

放射線教育

内部専用ページ ■

附属RIセンター

English



🖰 2018年8月1日

放射線科学基盤機構発足記念行事

Institute for Radiation Sciences (IRS)

ホームページ: http://irs.osaka-u.ac.jp

大阪大学 概算要求 組織整備(H30~R4)

放射線科学基盤機構の設置による放射線医療イノベーションの推進

➡全学体制による、放射線関連科学、放射線教育・人材育成、安全管理の推進

71

多様な知の協奏による先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム

博士人材育成プログラム



組織と概要(調書 p.9, p.19)

大阪大学

理学研究科 医学系研究科 情報科学研究科

核物理研究センター 放射線科学基盤機構

社会経済研究所 高等教育 入試研究開発センター

データビリティフロンテイア機構

ナノサイエンスデザイン教育研究センター

東北大学

電子光理学研究センター

サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

東京大学

Kavli IPMU-カブリ数物連携宇宙研究機構

アイソトープ総合センター

京都工芸繊維大学

工芸科学研究科

大型加速器施設

J-PARC

理研RIビームファクトリー

SPring-8/SACLA

海外機関•大学

TRIUMF

Heidelberg University Hospital

The University of Queensland

新たなイノベーショ

高い専門性

国際通用力

量子ビーム応用

広い俯瞰力

海外研修 共同研究

国内研修ダブルメンター 加速器学

量子ビーム

応用科目群

化学

宇宙

医学 情報科学

多様な知の協奏による 先導的量子ピーム応用卓越大学院プログラム

研究所・センター

QST-放射線医学総合研究所

KEK 素粒子原子核研究所

KEK·物質構造学研究所

理研・仁科加速器科学研究センター

理研・放射光科学研究センター

理研・生命機能科学研究センター

国立医薬品食品衛生研究所

企業•法人

(株)アトックス

テリックスファーマジャパン(株)

株ソシオネクスト

㈱日立製作所

東芝デバイス&ストレージ(株)

イーピーエス(株)

日本メジフィジックス(株)

住友重機械工業㈱

富士フイルム富山化学㈱

(株)京都メディカルテクノロジー

ヤマト科学(株)

金属技研㈱

(社)日本アイソトープ協会

アンダーソン・毛利・友常法律事務所

まとめ





- ▶ 放射線やRIは、基礎科学やエネルギーはもとより、医療や産業利用では、 もはや欠くことのできない必須のものとなっている。
- ➤ 新しい基礎科学や応用研究、福島事故等の人類的課題にも放射化学が大きく貢献する。
- ▶ 放射線人材の育成、学校や社会における放射線教育(我が国は世界で一番充実しているべき)において放射化学は大きな役割を果たす。
- □人的資源の強化、RI施設の機能強化
- □放射線規制の合理的運用、安全文化
- □各種加速器、原子炉、大規模RI製造供給体制の国としての整備(99mTc、211At、225Ac、、など)

研究者 学術団体 関連省庁•国

放射化学は基礎科学として、人類社会とその物質観(←元素の拡張) に寄与する。

サブアトムの世界を人類は享受するかどうか?これは、未来の人類 の行動範囲に大きな影響を及ぼす。