

福島県の一般市民が着用した マスクから採取された 不溶性セシウム粒子

○森井志織、鍵裕之

(東京大学大学院理学系研究科)

桧垣正吾

(東京大学アイソトープ総合センター)



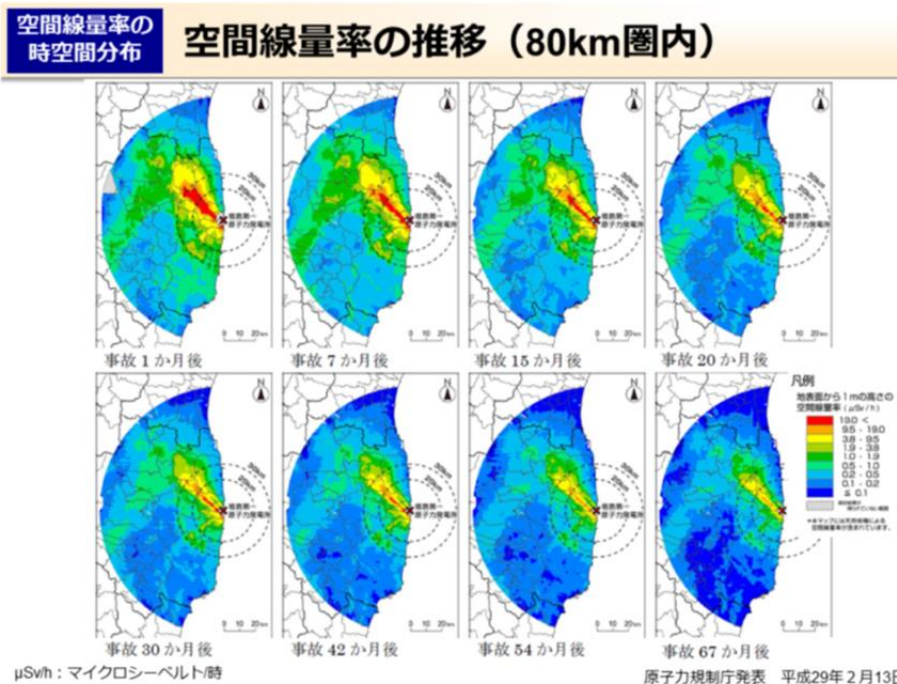
- 2011年3月11日、東日本大震災によって福島第一原発事故の発生
発電用原子炉の水素爆発によって大量の放射性同位体が環境中に放出された
- 放出された放射性同位体：放射性ヨウ素、放射性セシウム
- 放射性セシウム (^{137}Cs 、 ^{134}Cs) は半減期が長いので、
現在も環境中に存在している

< 放射性核種の半減期 >

^{131}I 8.04日

^{134}Cs 2.06年

^{137}Cs 30.2年

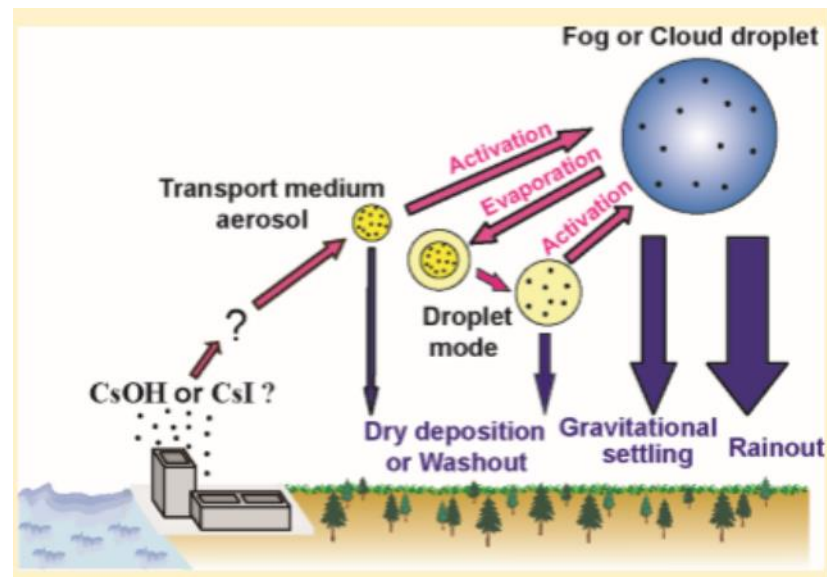


不溶性セシウム粒子についての研究のはじまり

当初、事故由来の放射性セシウムはエアロゾル中に可溶体として存在していたと考えられていた



ところが・・・

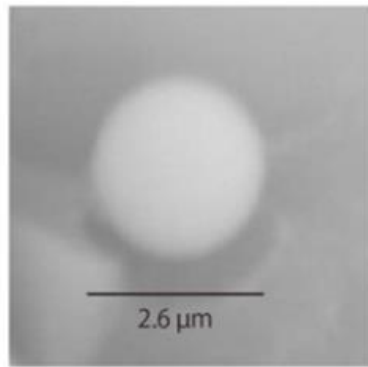


(Kaneyasu et al., 2012)

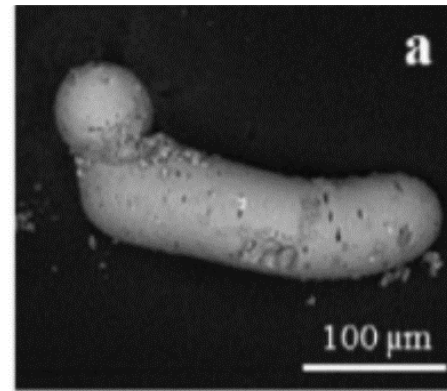
初期の大きなプルーム時のエアロゾルサンプルフィルターから水に不溶である球形のセシウムの単体粒子

Cs-bearing micro particle (通称：セシウムボール)

の存在が明らかになった(Adachi et al., 2013)



Type A (Adachi et al., 2013)



Type B (Ono et al., 2017)

	Type A	Type B
原子炉	2号機	1号機
形状	球状	不定形
大きさ	1~10 μm	10 μm~ under 1 mm
Csの放射能	1~数十 Bq	~数千 Bq
$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$	およそ 1.0	およそ 0.9

● 大きさ、形は原子炉の核燃料に依存する

(Higaki et al., 2017 etc)

→ $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ によって粒子が放出された原子炉を判断できる

背景

不溶性セシウム粒子(CsMPs) とは?

- 主成分：SiO₂
- 含有物：核燃料、核分裂核種(Cs, U)
原子炉由来の金属(Fe, Zn)
(Adachi et al., 2013 Abe et al., 2014 Furuki et al., 2017)
- 構成成分はSEM-EDSによって分析することができる
(Adachi et al., 2013 Higaki et al., 2017 Miura et al., 2018 etc)

水に不溶である性質から、体内に取り込んだ場合に
鼻腔や肺胞に吸着する可能性がある



局所的な内部被ばくの恐れ

<重要>

事故由来の放射性セシウムの性質を明らかにする必要がある

サンプルの詳細



(ユニ・チャームホームページより)



着用者から回収したマスクサンプル

- 約 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上の粒子をフィルタリングすることができる
- それぞれの着用者に対して8週間分のマスク (56~100枚程度)
- マスクには詳細な着用記録あり



福島第一原子力発電所

いわき市
(Bさん)

着用者の在住地域(Higaki et al., 2014)

2012年春に福島県の一般市民が着用した
不織布製マスクの分析から
環境中に存在する不溶性セシウム粒子についての情報を得る

- 構成成分、形態は？
- 環境中での挙動は？
- 人体への影響は？

環境学

保健物理学

- 事故から約1年後の2012年春という、比較的早い段階の試料を用いている
- 精度の高い着用記録が残されているマスクサンプルである
- ただセシウムボールについて調べることができるだけでなく、着用者の実際の内部被ばく線量の評価に直結するデータを得ることができる

将来的には・・・

- ◆ 避難区域の一時帰宅者のマスクの分析など室内汚染の分析
- ◆ 公衆の吸入による低線量内部被ばく線量の精密な評価
- ◆ Cs-bearing particleによる内部被ばくの評価
- ◆ 粒子の吸入を防ぐ方法の開発

マスクの放射能の測定
Ge半導体測定器



マスク上の放射能が高いスポットを探す
イメージングプレート



CsMPsの単離
イメージングプレート、**Ge**半導体分析装置



CsMPsの形態、構成成分の分析
SEM-EDS

Ge半導体分析装置



装置とサンプルチェンジャー

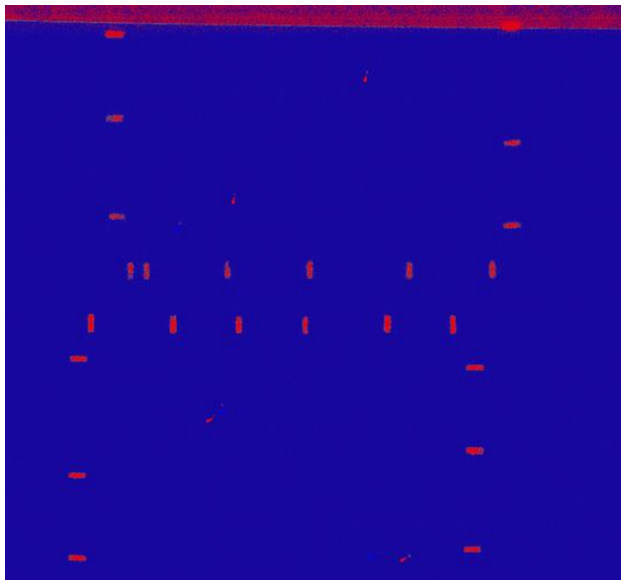


マスク試料

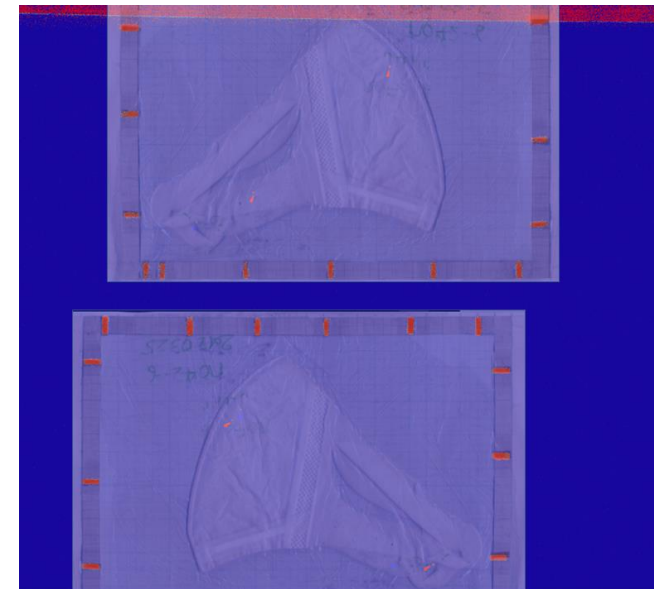
イメージングプレート (IP) による スクリーニング



マスクサンプル

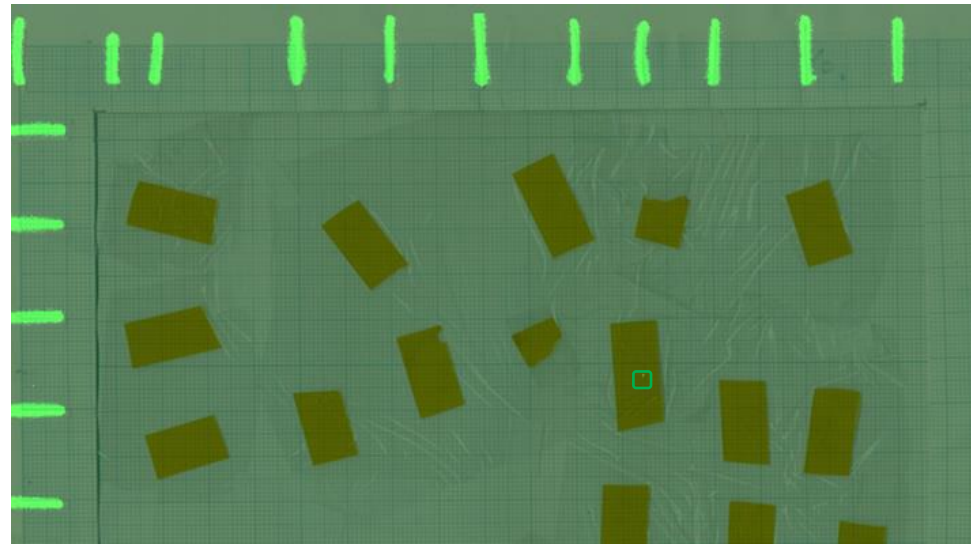
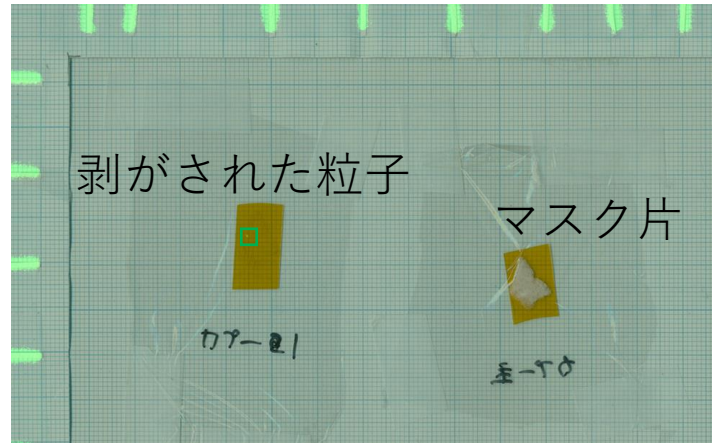
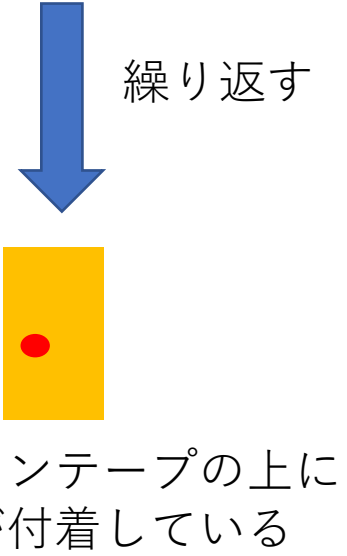
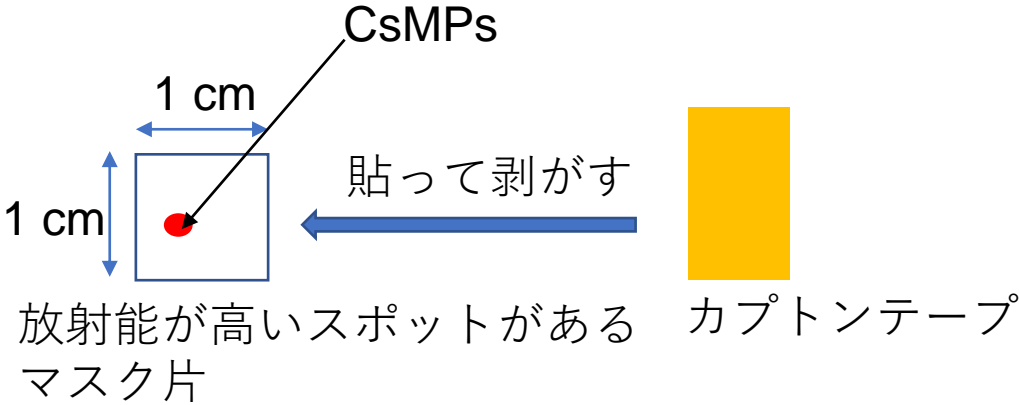


IPの画像



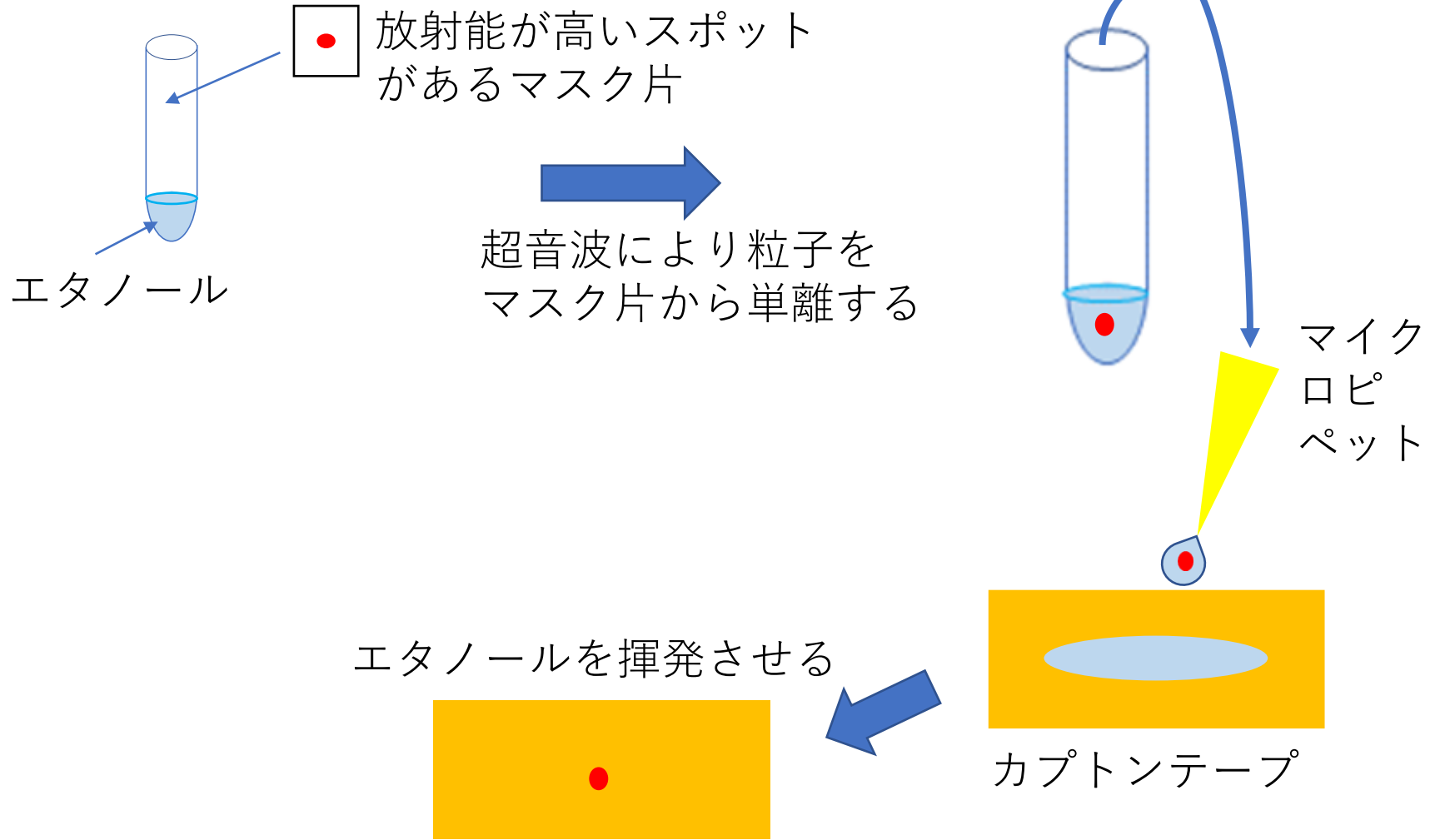
スキャンしたマスクの画像と
IP画像の重ね合わせ

粒子の単離



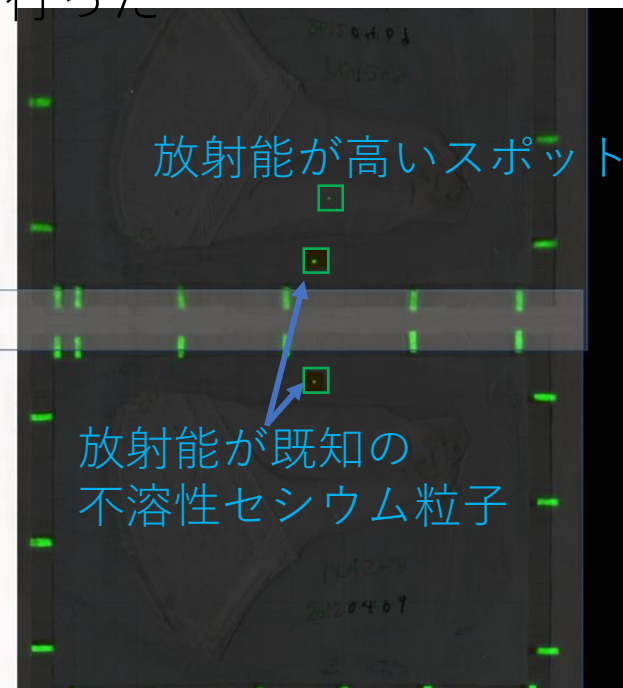
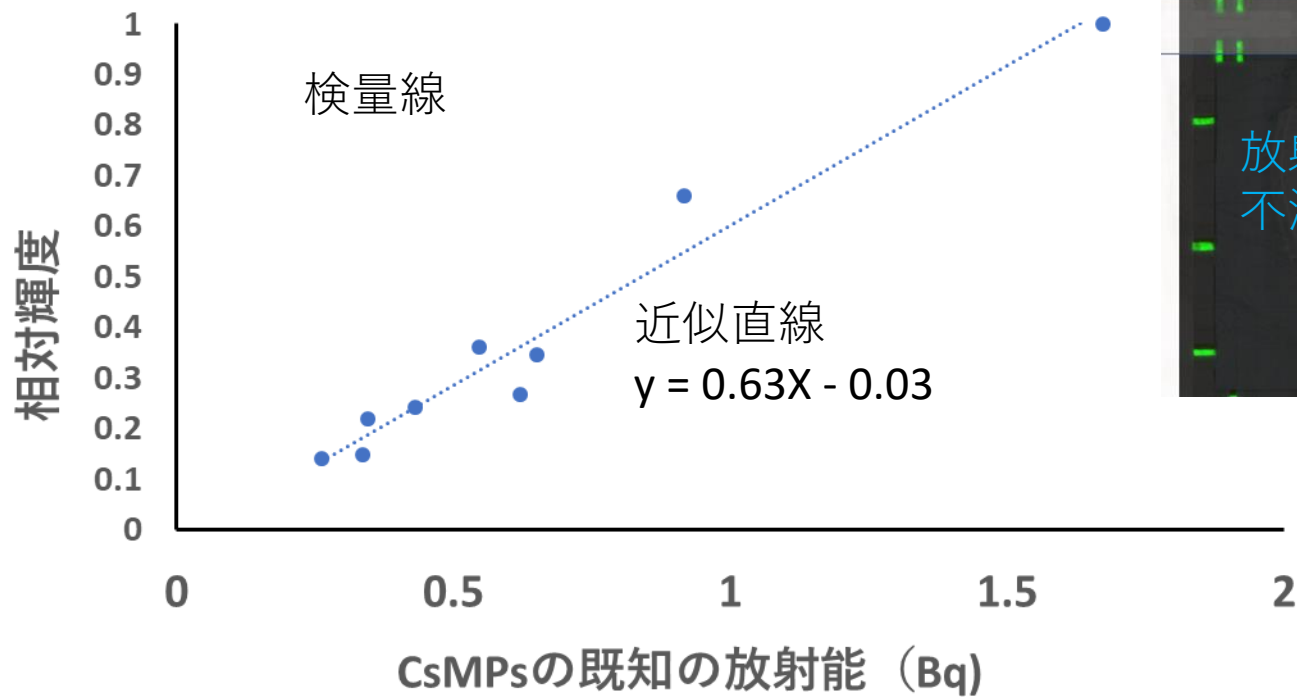
1 cm

粒子の単離



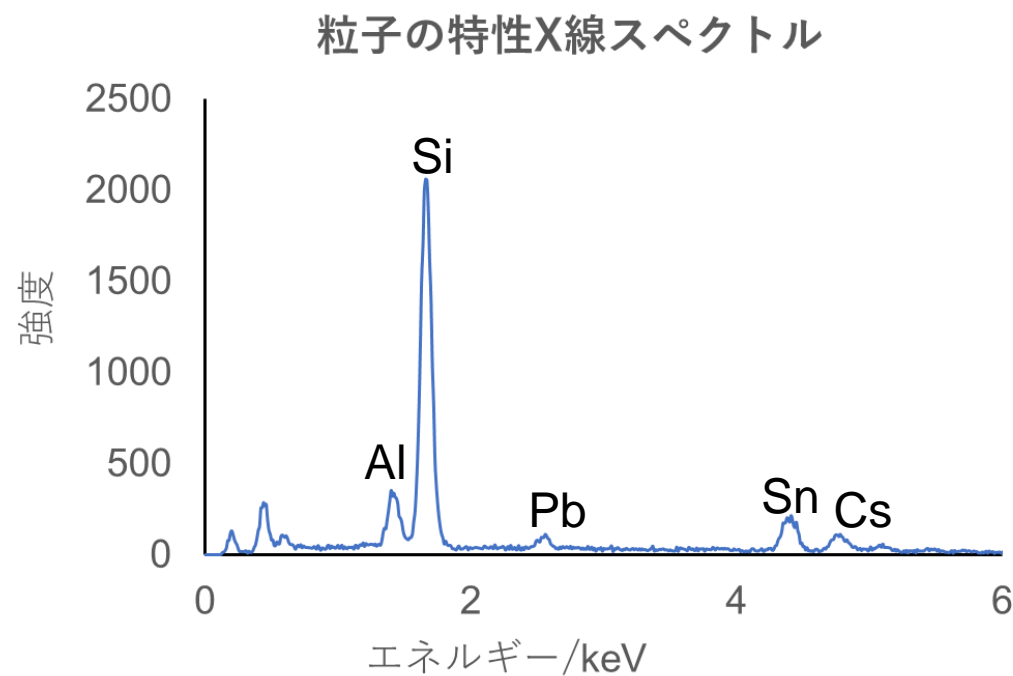
マスク上の微小なCsMPsの放射能の見積もり

放射能が低い微小な不溶性セシウム粒子については
イメージングプレート（IP）の輝度を用いて見積もりを行った





マスクから単離された
粒子の例



マスクサンプルのスクリーニングの結果 使用した装置：Ge半導体分析装置

	Person A (郡山市)	Person B (いわき市)	Person C (福島市)
分析したマスク (枚)	55	58	75
放射性セシウムが検出されたマスク (枚)	44	35	37
1 Bq以上の放射性セシウムを含有していたマスク (枚)	3	0	1
Cs-137の放射能の平均(Bq)： 全てのマスク	0.279	0.105	0.111
Cs-137の放射能の平均(Bq)： 放射性セシウムが検出されたマスク	0.324	0.169	0.227

マスク	¹³⁷ Cs (Bq)	¹³⁴ Cs (Bq)
Aさん-2012/3/25	2.28±0.08	1.67±0.15
Aさん-2012/4/5	1.15±0.06	検出限界以下
Aさん-2012/4/9	1.04±0.05	検出限界以下
Cさん-2012/3/19-1	1.76±0.08	1.31±0.17

結果と考察

放射能が見積もられた微小なCsMPs

サンプル名	マスク上の放射能が高い地点 (Bq)
PersonA-2012/3/10	0.814
PersonA-2012/4/9	0.167

結果と考察

< 単離した不溶性セシウム粒子の分析結果 >
放射能は全て2011年3月11日時点

粒子名	^{137}Cs (Bq)	^{134}Cs (Bq)	マスクの放射能に対する 粒子の ^{137}Cs 放射能(%)	Cs放射能比
PersonA-2012/3/25	0.59 ± 0.0	0.60 ± 0.20	26	1.1
PersonA-2012/4/5	0.39 ± 0.0	0.38 ± 0.0	34	0.99
PersonC-2012/3/19-1	1.6 ± 0.0	1.5 ± 0.20	91	0.98

< 不溶性セシウム粒子が見つかったマスクの着用記録 >

	天気	着用場所	着用時間 (h/日)	行動
PersonA-2012/3/25	降雨なし	郡山市	9	市内外出
PersonA-2012/4/9	降雨なし	郡山市	10.5	市内外出
PersonC-2012/3/19-1	晴れ	福島市	10.5	在宅、農作業

まとめ

- 本研究では福島県在住の一般市民が**2012年春**に日常生活の中で着用したマスクに付着した放射性セシウムについて分析をした。
- マスクから**3つのCsMPs**を単離した

<今後>

- マスクに付着した**CsMPs**のデータから、水に不溶な放射性セシウムによる内部被ばくを評価する
- 帰宅困難区域の一時帰宅者のマスクの分析、内部被ばくの評価に応用
- マスクの着用データとマスクの分析結果を照らし合わせ、**2012年春**当時の放射性セシウムの環境中での動態について明らかにしていく