

タバコ煙中のポロニウムの含有量と
その測定法に関する研究の報告
(平成24年度厚生労働科学特別研究事業)

国立保健医療科学院
生活環境研究部
櫻田 尚樹



タバコ煙中のポロニウムの含有量と
その測定法に関する研究
(平成24年度厚生労働科学特別研究事業)

• 背景

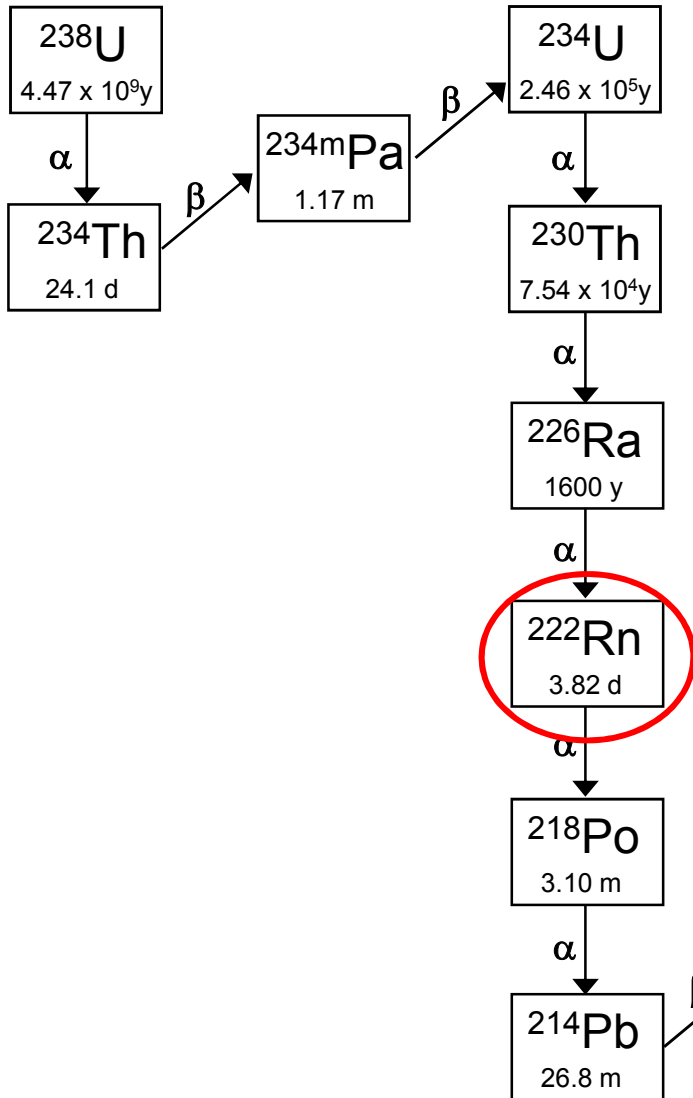
- タバコ葉及びタバコ主流煙中には自然放射性物質由来のポロニウムが含まれている。
- 東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の環境汚染以降さらに注目されている。
- 飲食品中の自然放射性物質由来の内部被ばく線量評価が見直され年間0.98mSv。その過半をポロニウムが占める。

• 方法

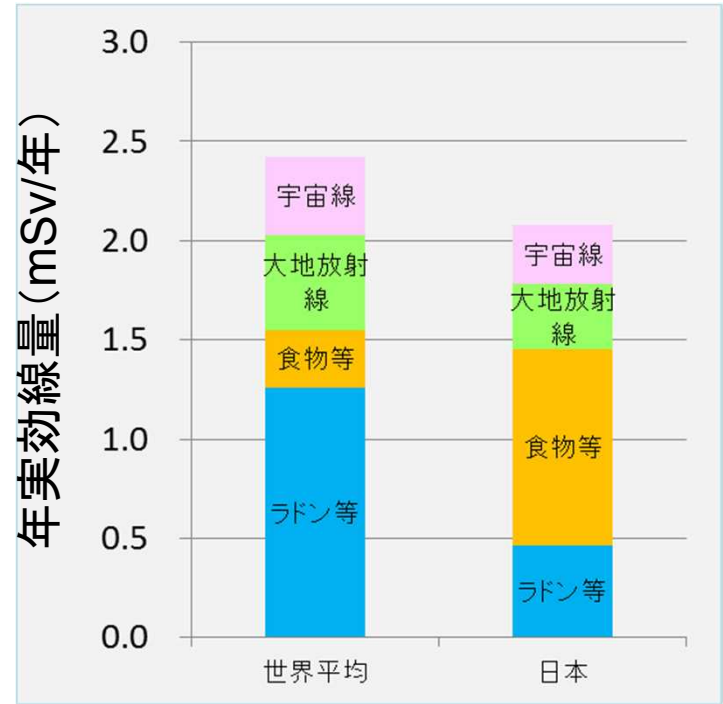
- タバコ葉及び主流煙は、マイクロウェーブ処理を行い、Srレジンカラム抽出、電着後、 α 線スペクトロメトリーで測定

タバコ中ポロニウム-210の分析

ウラン (^{238}U) 壊変系列



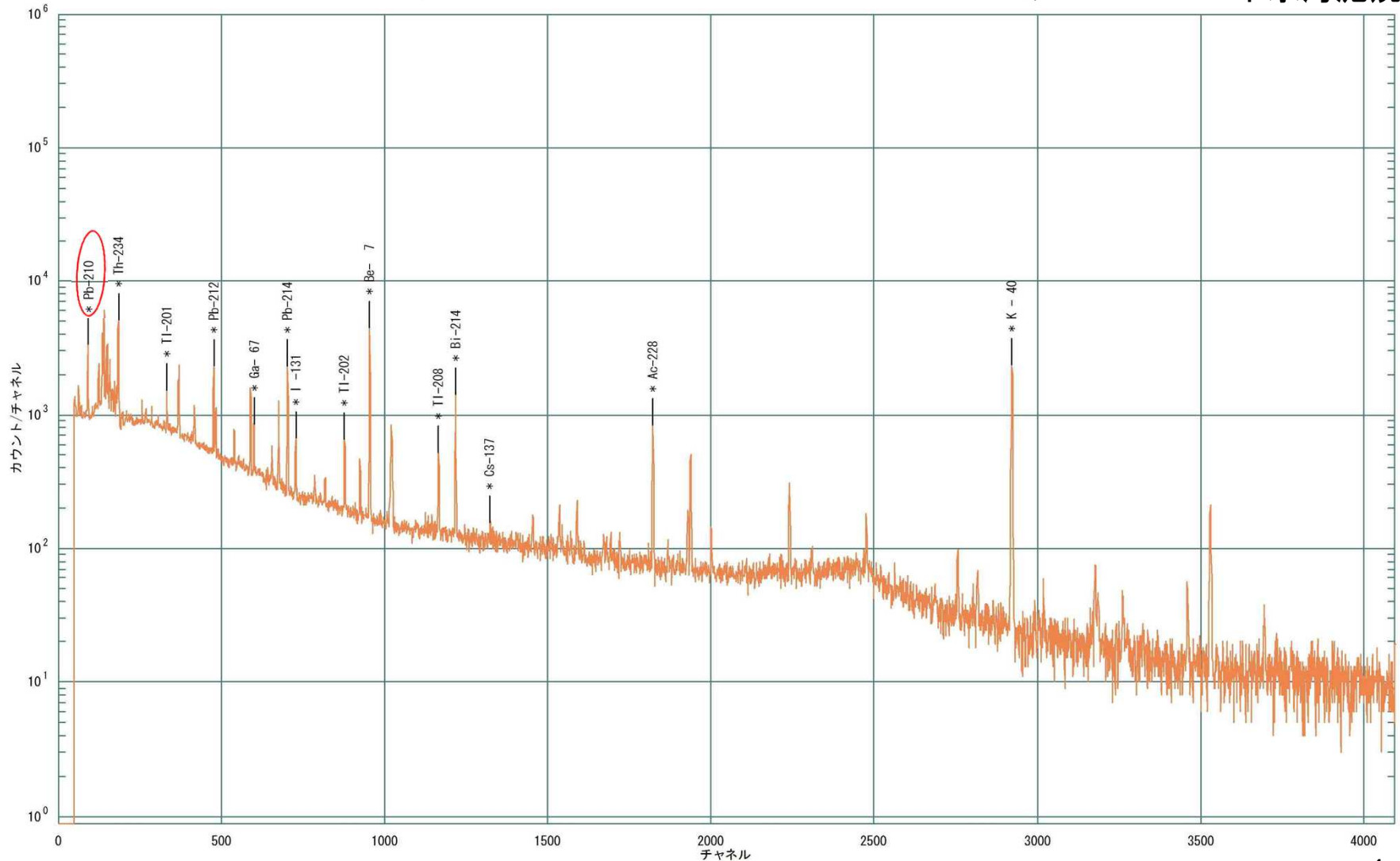
自然放射線源による被ばく線量



ゲルマニウム半導体検出器による ガンマ線スペクトロメトリの一例

Acquired:2007-03-02 08:35:19 Real Time:264430.7(sec) Live Time:264349.7(sec)(=3日計測)

下水汚泥焼却灰



ポロニウム (^{210}Po) の測定法

サンプル調製

タバコ葉 or 主流煙フィルター



酸&マイクロウェーブ処理による有機物分解



硫化物沈殿



Srレジンカラム抽出操作



電着

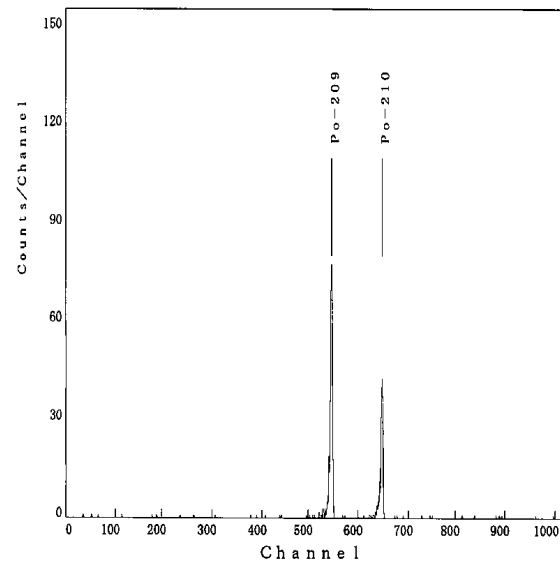


測定

測定



α 線スペクトロメータと電着用セル

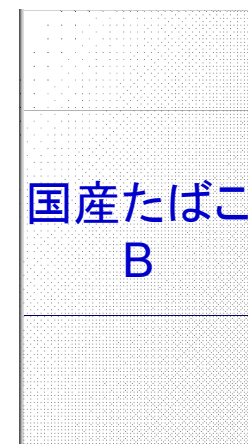
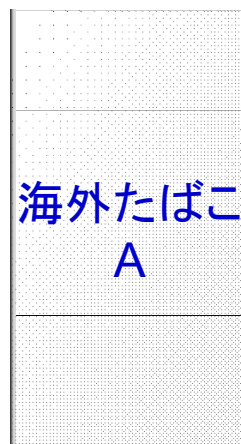


α 線スペクトル (Po-209:内部標準)

タバコ中ポロニウム-210の分析結果

標準タバコ

市販タバコ



3R4F

タバコ葉

タバコ葉 (n=5, mBq/cigarette)

11.4±1.5

13.0±1.4

24.1±0.9

主流煙

ISO法 (n = 3, mBq/cigarette)

(粒子成分のみ)

0.4±0.1

0.9±0.2

1.4±0.1

HCI法 (n = 3, mBq/cigarette)

1.1±0.1

2.0±0.4

3.2±0.2

(ガス成分は未評価)

たばこ葉中のポロニウム

Cigarette brands	No.	leaf weight (g/cigarette)	Po-210(mBq/g)	Po-210 (mBq/cigarette)	Average (mBq/cigarette)	SD*
標準タバコ 3R4F	1	0.74	13.7	10.1	11.4	1.5
	2	0.74	14.4	10.7		
	3	0.74	14.9	11.0		
	4	0.74	18.9	14.0		
	5	0.74	15.1	11.2		
海外タバコA	1	0.63	21.6	13.6	13.0	1.4
	2	0.63	21.5	13.6		
	3	0.63	20.4	12.8		
	4	0.63	22.6	14.2		
	5	0.63	16.8	10.6		
国産タバコB	1	0.64	39.9	25.5	24.1	0.9
	2	0.64	36.7	23.5		
	3	0.64	36.5	23.3		
	4	0.64	37.3	23.9		
	5	0.64	38.0	24.3		
国産タバコC	1	0.60	30.3	18.2	19.0	1.4
	2	0.60	35.2	21.1		
	3	0.60	29.0	17.4		
	4	0.60	32.8	19.7		
	5	0.60	30.7	18.4		

たばこ主流煙中のポロニウム

Cigarette brands	Smoking protocol	No.	Po-210 (mBq/cigarette)	Average (mBq/cigarette)	SD*
標準タバコ 3R4F	ISO	1	0.3	0.4	0.1
		2	0.3		
		3	0.5		
	HCI	1	1.1	1.1	0.1
		2	1.1		
		3	1.3		
海外タバコA	ISO	1	0.8	0.9	0.2
		2	0.8		
		3	1.1		
	HCI	1	2.5	2.0	0.4
		2	1.9		
		3	1.6		
国産タバコB	ISO	1	1.3	1.4	0.1
		2	1.4		
		3	1.5		
	HCI	1	3.0	3.2	0.2
		2	3.3		
		3	3.4		

*SD:standard deviation

ポロニウムの移行率と預託実効線量

Smoking protocol	Polonium-210 (mBq/cigarette)		Ratio smoke/leaf	Committed effective dose* (mSv/year)	
	Mainstream	Tobacco leaf			
標準タバコ3R4F	ISO	0.4	11.4	0.03	0.012
	HCI	1.1		0.10	0.036
海外タバコA	ISO	0.9	13.0	0.07	0.029
	HCI	2.0		0.16	0.063
国産タバコB	ISO	1.4	24.1	0.06	0.043
	HCI	3.2		0.13	0.102

*1日1箱を1年間吸い続けた場合の線量

精度管理 1

IAEAの値付けされた試料を測定し、確認した結果

カラムワーク 2013.4.18
測定日 2013.4.19

Alish and North Seas Fish Flesh

Sample	Number	サンプル重量 g	Po-209 Area	Po-209添加量 mBq	Po-210 Area	Po-210 (mBq/g)		
	1	1.004	3426.0	75.12	107.8	2.35		
	2	1.005	1955.0	75.12	62.5	2.39		
IAEA414	3	1.004	3092.3	75.12	129.0	3.12		
	4	1.006	4620.0	75.12	62.0	1.00		
	5	1.004	2344.0	75.12	72.0	2.30	IAEA	
						Ave.	2.23	2.1
						SD	0.77	(1.8-2.5)
						CV (%)	34.3	

精度管理 2

外部測定機関との相互比較

		本研究班 (n = 5)			委託機関		
		Average		SD*	Average		EC**
タバコ葉 (mBq/cigarette)	標準タバコ3R4F	11.4	±	1.5	10.0	±	0.7
	国産タバコB	24.1	±	0.9	22.8	±	1.2
	海外タバコA	13.0	±	1.4	10.8	±	0.9
主流煙*** (HC条件 ; mBq/cigarette)	標準タバコ3R4F	1.7	±	0.1	1.6	±	0.1
	国産タバコB	3.8	±	0.2	3.8	±	0.2
	海外タバコA	2.6	±	0.4	2.1	±	0.1

*SD:standard deviation, **EC:error coefficient

***主流煙の測定結果は、石英フィルターブランクPo-210を含んだ値を表記している

タバコ煙中のポロニウムの含有量と

その測定法に関する研究

(平成24年度厚生労働科学特別研究事業)

• 成果

- ①たばこ葉およびたばこ煙中のポロニウムの測定法を検討し、測定可能であることを検証した。
- ②2銘柄を測定し、ポロニウム-210が1本あたり、タバコ葉中に24mBq、主流煙粒子成分中3.2mBq含有(1日1箱喫煙で0.1mSv/年)していることを示した。

• 今後の課題

- ①国内主要銘柄を測定することが必要
- ②ガス相における検討が必要
- ③副流煙における検討が必要
- ④標準測定法の開発が必要

最近の論文から: タバコ葉中のポロニウム

Radioactive concentration of ^{210}Pb and ^{210}Po in Japanese cigarettes.							
Sample code	Tar (mg)	Nicotine (mg)	Tobacco weight (g cig ⁻¹)	^{210}Pb concentration		^{210}Po concentration	
				(mBq g ⁻¹)	(mBq cig ⁻¹)	(mBq g ⁻¹)	(mBq cig ⁻¹)
A	14	1.2	0.69±0.02	16 ± 3	11 ± 2	16 ± 3	11 ± 2
B	14	1.2	0.69±0.02	21 ± 3	14 ± 2	21 ± 3	14 ± 2
C	10	0.8	0.63±0.03	17 ± 3	11 ± 2	17 ± 3	11 ± 2
D	7	0.7	0.65±0.01	19 ± 3	12 ± 2	19 ± 3	12 ± 2
E	7	0.7	0.54±0.02	11 ± 4	6 ± 2	11 ± 4	6 ± 2
F	12	0.8	0.64±0.03	9 ± 3	6 ± 2	9 ± 3	6 ± 2
G	10	0.8	0.66±0.02	18 ± 3	12 ± 2	18 ± 3	12 ± 2
H	8	0.7	0.64±0.03	15 ± 3	9 ± 2	15 ± 3	9 ± 2
I	6	0.5	0.62±0.02	11 ± 6	7 ± 4	11 ± 6	7 ± 4
J	3	0.3	0.57±0.01	14 ± 3	8 ± 2	15 ± 4	8 ± 2
K	8	0.7	0.63±0.04	7 ± 3	4 ± 2	7 ± 3	4 ± 2
L	3	0.3	0.56±0.02	13 ± 4	7 ± 2	13 ± 4	7 ± 2
M	1	0.1	0.50±0.00	14 ± 4	7 ± 2	14 ± 4	7 ± 2
N	1	0.1	0.50±0.01	20 ± 4	10 ± 2	20 ± 4	10 ± 2
O	1	0.1	0.60±0.01	15 ± 3	9 ± 2	15 ± 3	9 ± 2
P	6	0.5	0.72±0.02	12 ± 3	9 ± 2	12 ± 3	9 ± 2
Q	5	0.4	0.63±0.01	20 ± 3	13 ± 2	21 ± 3	13 ± 2
R	1	0.1	0.64±0.03	7 ± 3	4 ± 2	7 ± 3	4 ± 2
S	8	0.6	0.60±0.00	4 ± 3	2 ± 2	4 ± 3	2 ± 2
T	12	1.0	0.70±0.02	9 ± 3	6 ± 2	9 ± 3	6 ± 2
U	8	0.6	0.62±0.02	12 ± 3	8 ± 2	13 ± 3	8 ± 2
V	1	0.1	0.66±0.02	6 ± 3	4 ± 2	6 ± 3	4 ± 2
W	1	0.1	0.51±0.03	6 ± 4	3 ± 2	6 ± 4	3 ± 2
X	14	1.1	0.67±0.03	13 ± 3	9 ± 2	13 ± 3	9 ± 2
Mean				13 ± 5	8 ± 3	13 ± 5	8 ± 3
Maximum				21	14	21	14
Minimum				4	2	4	2

ゲルマニウム半導体検出器による
Pb-210の分析から

最近の論文から: タバコ煙による実効線量

Table 3. Activity intakes and annual committed effective doses from smoking inhalation of ^{210}Pb and ^{210}Po .

Sample code	Activity intake		Effective dose	
	$(\text{Bq } \text{v}^{-1})$		$(\mu\text{Sv } \text{v}^{-1})$	
	^{210}Pb	^{210}Po	^{210}Pb	^{210}Po
A	29 ± 5	29 ± 5	32 ± 6	96 ± 17
B	36 ± 6	37 ± 6	40 ± 6	120 ± 19
C	28 ± 5	28 ± 6	30 ± 6	92 ± 18
D	31 ± 5	32 ± 5	34 ± 6	100 ± 18
E	15 ± 5	16 ± 5	17 ± 6	52 ± 17
F	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	48 ± 17
G	30 ± 5	30 ± 6	33 ± 6	100 ± 18
H	24 ± 5	24 ± 5	26 ± 6	80 ± 18
I	18 ± 10	18 ± 10	19 ± 11	59 ± 33
J	21 ± 5	22 ± 5	23 ± 6	71 ± 17
K	11 ± 5	11 ± 5	12 ± 6	38 ± 17
L	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	62 ± 17
M	18 ± 5	18 ± 5	20 ± 6	61 ± 17
N	25 ± 5	26 ± 5	28 ± 6	85 ± 17
O	23 ± 5	23 ± 5	25 ± 6	76 ± 18
P	22 ± 5	22 ± 5	24 ± 6	73 ± 18
Q	33 ± 5	33 ± 5	36 ± 6	110 ± 18
R	11 ± 5	11 ± 5	12 ± 6	37 ± 17
S	6 ± 5	6 ± 5	6 ± 5	19 ± 17
T	15 ± 5	16 ± 5	17 ± 6	51 ± 17
U	20 ± 5	20 ± 5	22 ± 6	66 ± 18
V	11 ± 5	11 ± 5	12 ± 6	36 ± 17
W	8 ± 5	8 ± 5	9 ± 5	27 ± 16
X	22 ± 5	22 ± 5	24 ± 6	73 ± 18
Mean	20 ± 8	21 ± 8	22 ± 9	68 ± 27
Maximum	36	37	40	120
Minimum	6	6	6	19

最近の論文から：タバコ葉中のポロニウム

紙巻きタバコに含まれるポロニウム210（鉛210）の放射能濃度

(mBq/本)

販売国	ポロニウム210（鉛210）				文献
	銘柄数	平均値*	最小値	最大値	
日本	8	11.5	10.1	15.0	Takizawaら、1994 ⁵⁾
中国	1	12.5	12.5	12.5	Takizawaら、1994 ⁵⁾
イタリア	17	11.8	6.8	17.5	Desideriら、2007 ⁶⁾
ポーランド	14	13.3	4.2	24.1	Skwarzecら、2001 ²⁾
エジプト	2	16.6			Khaterら、2004 ³⁾
ギリシャ	7	10.5 (10.7)	2.9	13.4	Savidouら、2006 ¹⁾
中国	7	14.6	11.1	18.3	Tokonamiら、2008 ⁷⁾
ハンガリー	29	22.0 (20.9)	10.0	33.5	Kovacsら、2007 ⁸⁾
日本	5	18.8	12.1	27.8	Okabayashiら、1975 ⁹⁾
フィンランド	8	11.0	7.8	14.4	Mussaloら、1985 ¹⁰⁾
アメリカ	2	12.2	11.8	12.6	Rajewskyら、1966 ¹¹⁾
アメリカ	4	15.7	14.4	17.8	Radfordら、1964 ¹²⁾
中国	12	23.5 (21.2)	18.0	29.0	Schayerら、2009 ⁴⁾
アメリカ	3	9.3 (7)	6.0	11.0	Schayerら、2009 ⁴⁾
エジプト	5	15.0	11.3	19.2	Khaterら、2006 ¹³⁾
フィリピン	16	11.7	5.5	16.6	Enriquezら、2008 ¹⁴⁾
日本	16	13.0	10.1	14.5	Enriquezら、2008 ¹⁴⁾
アメリカ	14	11.8	9.2	14.1	Enriquezら、2008 ¹⁴⁾
算術平均値**		14.2			

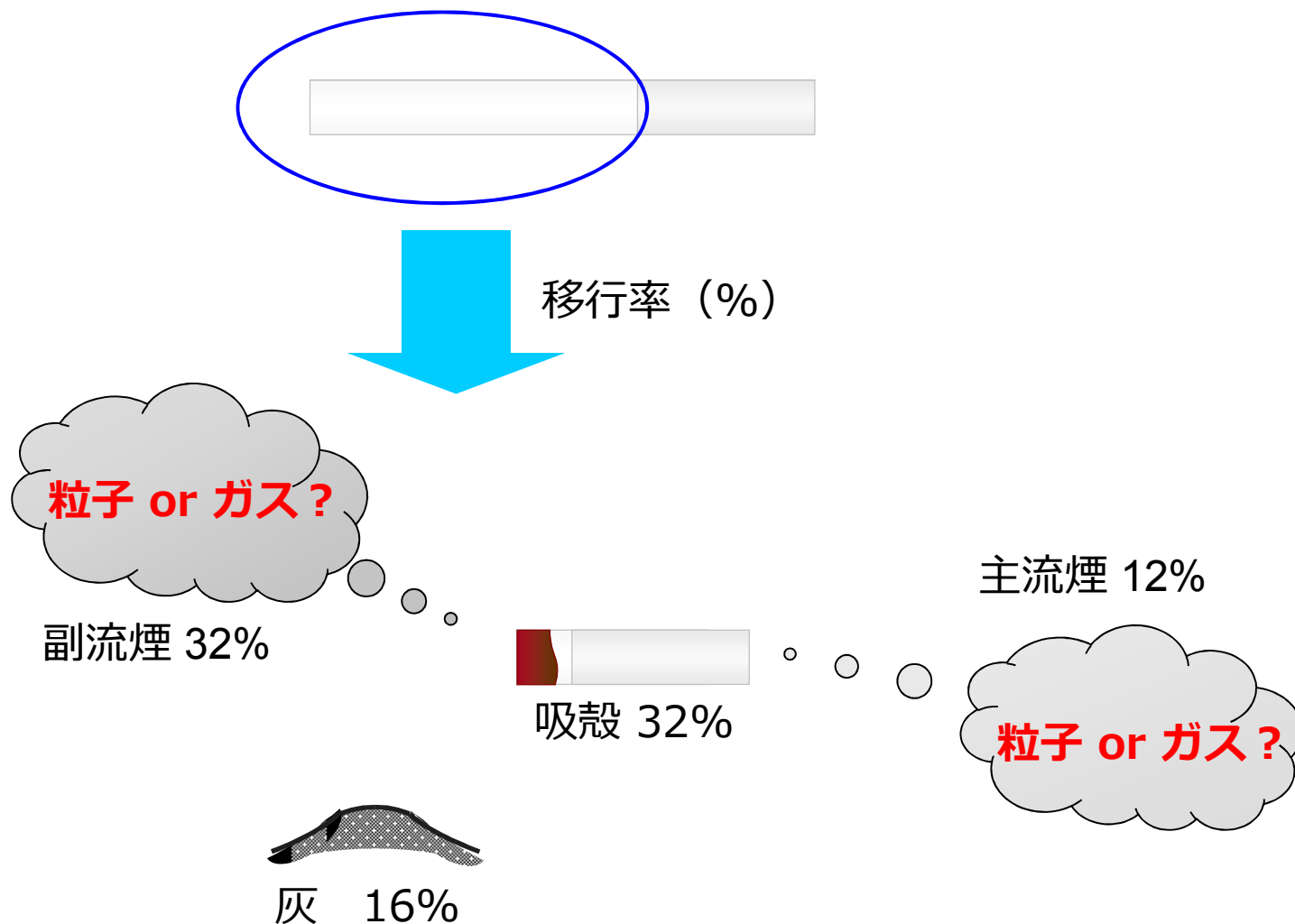
* : () 内は²¹⁰Pbの放射能濃度

** : 平均値の算術平均

原子力安全研究協会. 新版生活環境放射線(国民線量の算定) pp166, 2011.より引用

たばこに関連するポロニウムの分布

たばこ1本 9.3–24 mBq



参考文献：喫煙者の実行線量評価 岩岡和輝，米原英典. Radioisotopes. 2010

ベクレル (Bq) とシーベルト (Sv)

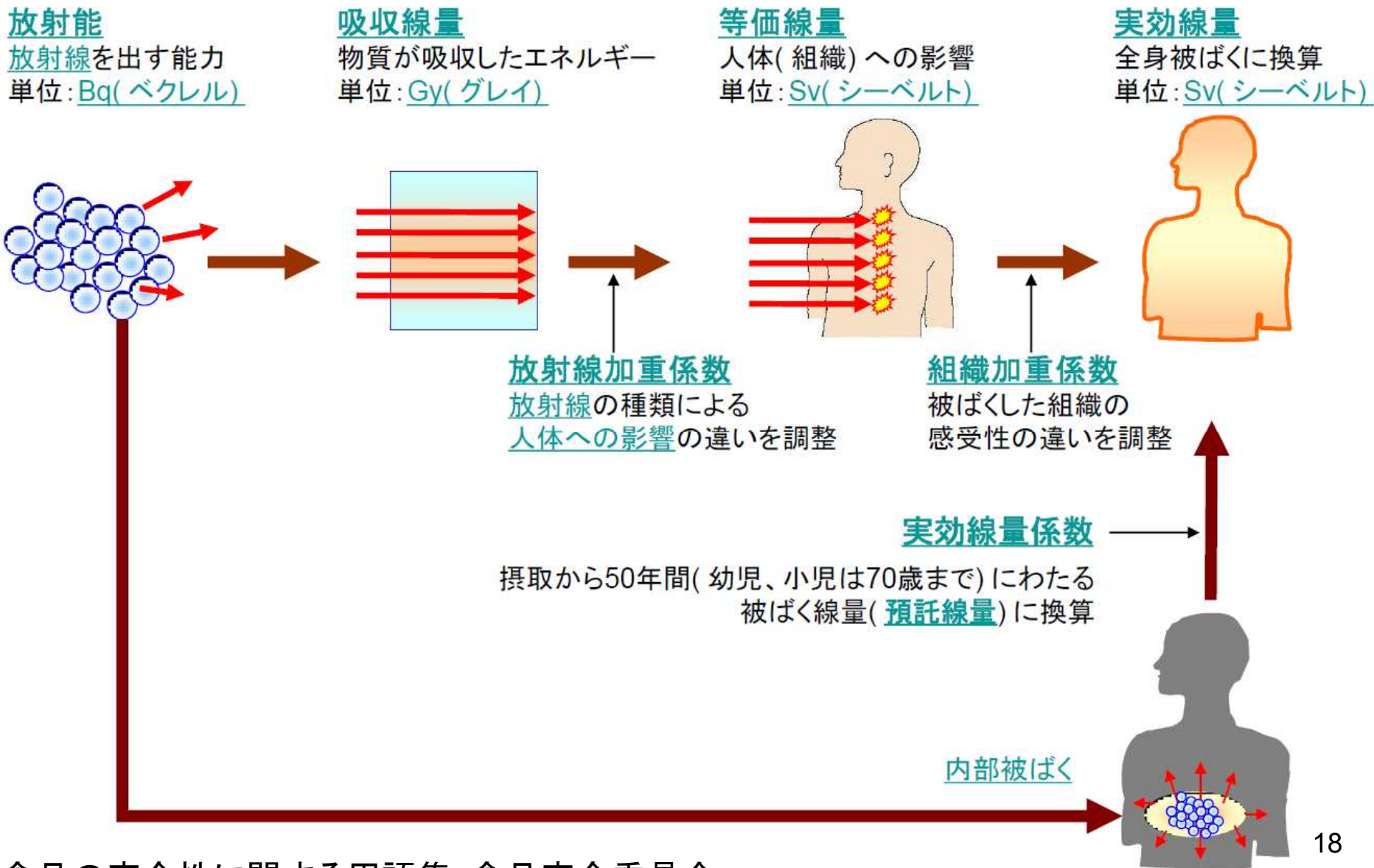
ベクレル (Bq)

- 放射性物質の量を表す単位

シーベルト (Sv)

- 放射線による人体への影響を表す
- 人体に吸収されたエネルギーだけではなく、放射線の種類、組織による影響の違いを考慮
- 外部被ばくと内部被ばくを同じ尺度で評価するための単位

放射能、線量、単位、係数の関係



放射線の単位

【放射線加重係数と等価線量】

$$\text{等価線量 (Sv)} = w_R \times \text{吸収線量 (Gy)}$$

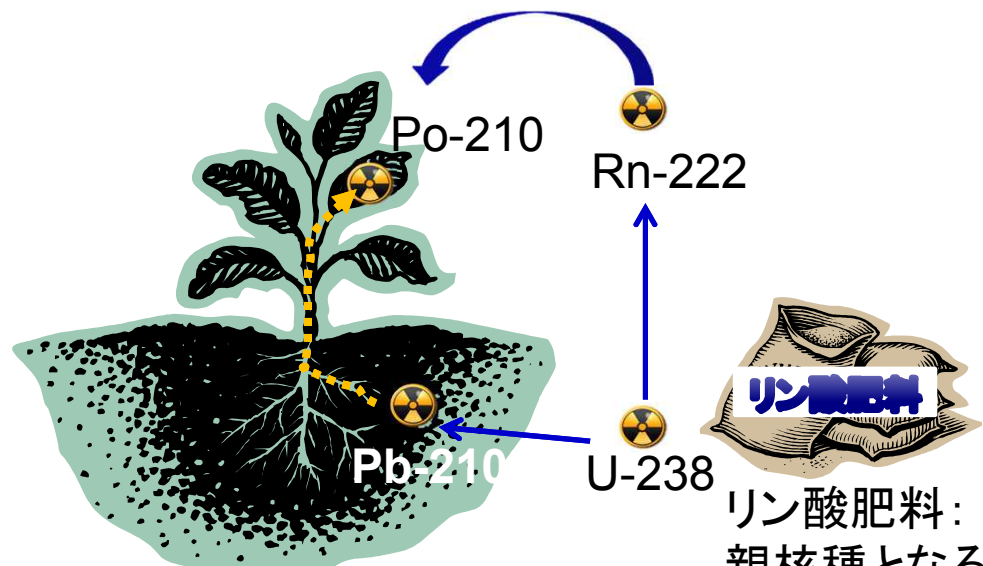
放射線の種類	放射線加重係数 w_R
γ 線、X線、 β 線	1
陽子線	2
α 線、重イオン	20
中性子線	2.5~21

【組織加重係数と実効線量】

$$\text{実効線量 (Sv)} = \sum (w_T \times \text{等価線量})$$

組織	組織加重係数 w_T
骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房	0.12
生殖腺	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01
残りの組織の合計	0.12

低減可能性：Po-210がタバコ葉に取り込まれる仕組みと対策



解決策

- ・ウランの含有量の少ない肥料に置き換える
- ・収穫後の葉を酸洗浄する
- ・タバコ葉原料のPo-210を計測モニタリングする
- ・フィルターでPo-210を捕獲する
- ・タバコ葉に微細な毛が無い品種を遺伝子組み換えで作成する

リン酸肥料：
親核種となる
U-238を含む

▶ タバコ会社の研究室内でも、過去に報告された濃度よりPo-210の濃度が低い可能性を公表しようとしたが、Po-210の存在そのものが悪影響として、「眠れる巨人を呼び起こす可能性がある」として公表を中止した。

Muggli ME et al. Waking a sleeping giant: the tobacco industry's response to the polonium-210 issue.

American Journal of Public Health. 2008; 98:1643–1650

Rego B. Radioactive smoke. Sci Am. 2011; 304(1): 78-81.

Karagueuzian HS et al. Cigarette smoke radioactivity and lung cancer risk. Nicotine Tob Res. 2012;14(1):79-90.

低減可能性: タバコ特異的ニトロソアミンの増加抑制

カナダ: 前回報告の通り低減がはかられている。

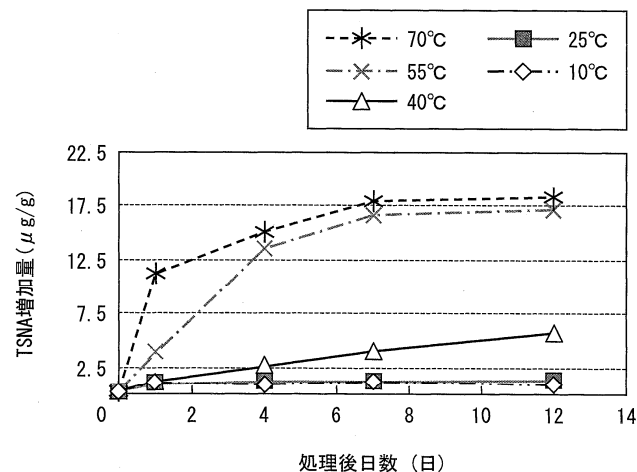
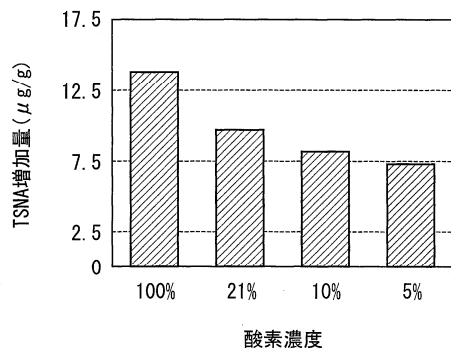
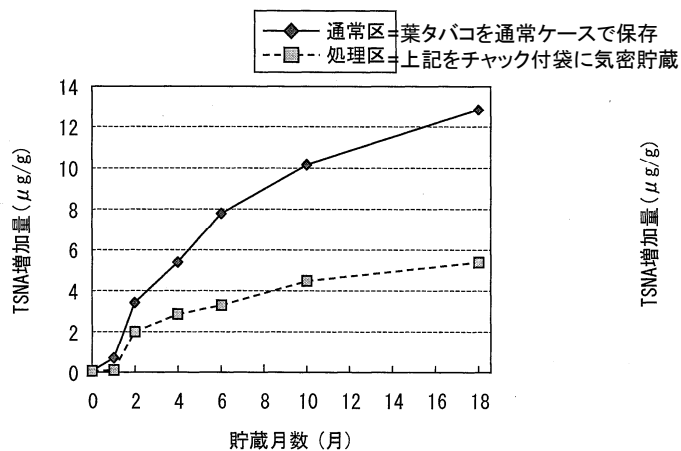
W.S. Rickert et al., Reductions in the tobacco specific nitrosamine (TSNA) content of tobaccos taken from commercial Canadian cigarettes and corresponding reductions in TSNA deliveries in mainstream smoke from such cigarettes. Regulatory Toxicology and Pharmacology 51 (2008) 306–310.

米国: 低減法は確立してきているのに、30年間変化なし。US-FDAは規制を強化すべきであると提言。

Irina Stepanov et al., Carcinogenic tobacco-specific N-nitrosamines in US cigarettes: three decades of remarkable neglect by the tobacco industry. Tobacco Control 2012;21:44e48.

日本: 貯蔵中のタバコ特異的ニトロソアミンの増加の抑制方法

特許公告番号 WO 2013035505 A1 (特許出願人: 日本たばこ産業株式会社)
<http://www.google.com/patents/WO2013035505A1?cl=ja>



TSNAは、収穫直後のタバコの葉には基本的に存在しないが、乾燥及び貯蔵の過程において、葉タバコ中の亜硝酸態窒素とアルカロイドとが反応することにより生成される。例えば、乾燥期間中においては、葉タバコ表面に存在する硝酸還元菌の作用により、硝酸が亜硝酸に還元され、この亜硝酸がアルカロイドと反応してTSNAが生成されることが知られている。そこで、乾燥期間中及び貯蔵期間中におけるTSNAの生成を抑制する種々の方法が、これまでに開発されてきている。

「たばこ規制枠組条約第9, 10条の施行のための部分的ガイドライン」

1. 目的

第9条「たばこ製品の含有物に関する規制」

→たばこ製品の魅力性や毒性物質を削減することによって、たばこに関連した疾患や早死を削減するため。

第10条「たばこ製品についての情報の開示に関する規制」

→政府当局への情報開示

たばこ製造業者と輸入業者からたばこ製品中の内容物（たばこ葉成分）と排出物（主流煙中成分）の成分、毒性、魅力性に関連性のある情報を得るため。⇒適切な政策、行動、規制の決定・実行に必要

→一般社会への情報開示

たばこの消費とたばこ煙の曝露によって引き起こされる健康影響、中毒性と重大な脅威を情報提供するため。

FDAがタバコ会社等に求めた有害性化学物質 (HPHCs) 93種のうち、分析法が確立されていることから2012年ドラフトガイダンスに取り入れた20種の化学物質

Table 1. Abbreviated List of Harmful and Potentially Harmful Constituents

HPHCs in Cigarette Smoke	HPHCs in Smokeless Tobacco	HPHCs in Roll-your-own Tobacco and Cigarette Filler
Acetaldehyde	Acetaldehyde	Ammonia
Acrolein	Arsenic	Arsenic
Acrylonitrile	Benzo[a]pyrene	Cadmium
4-Aminobiphenyl	Cadmium	Nicotine (total)
1-Aminonaphthalene	Crotonaldehyde	NNK*
2-Aminonaphthalene	Formaldehyde	NNN**
Ammonia	Nicotine (total and free)	
Benzene	NNK*	
Benzo[a]pyrene	NNN**	
1,3-Butadiene		
Carbon monoxide		
Crotonaldehyde		
Formaldehyde		
Isoprene		
Nicotine (total)		
NNK*		
NNN**		
Toluene		

1 - *Roll-your-own tobacco* is defined in section 900(15) of the FD&C Act to mean “any tobacco product which, because of its appearance, type, packaging, or labeling, is suitable for use and likely to be offered to, or purchased by, consumers as tobacco for making cigarettes.” The term *cigarette filler* is not defined in the FD&C Act. For purposes of this draft guidance, we intend *cigarette filler* to mean the cut, ground, powdered, or leaf tobacco that is a component of a cigarette.

*4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone

** N-nitrosornicotine