

表3 (続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法			備考
			測定法	前処理法	検出限界 (μg/kg)	
9	Acp, F, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	食用油, マヨネーズ, マーガリン	HPLC/FL	ヘキサレン-N, Nジメチルホルムアミド分配 C18 SPE	0.05 (BkF) ~ 1.5 (Ap)	0.3 (BkF) ~ 6 (Ap)
10	Ant, Py, BkF, BaA, 1,2-ベンゾ[a]ピレン	オリーブ油	HPLC/FL	超臨界流体抽出(自動)	-	-
11	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	果実茶	GC/MS	ヘキサン抽出 フロリジルSPE	-	-
12	IP, BghiP, BeP, BbF, BaA, BkF, BaP, DBahA	オリーブ油	GC/MS (イオントラップ)	ペンタン-DMSO分配 TLC精製	0.1 (DBahA) ~ 0.4 (BghiP)	
13	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	中国茶8種	HPLC/FL	ジクロロメタン抽出 シリカゲルカラム	-	茶葉: 0.79 (Acy) ~ 4.93 (BbF) 浸出液: 0.66 (Acy) ~ 4.40 (BbF) ng/L
14	BaA, BaP, BbF, BkF, BghiP, IP, BeP, DBahA	オリーブポマス油	HPLC/FL	超臨界流体抽出(シリカゲルで同時精製)	0.075 (BkF) ~ 10.1 (IP) μg/L	0.201 (BkF) ~ 21.3 (IP) μg/L
15	BbF, BkF, BaP, BghiP, IP, BaA, DBahA	インスタントコーヒー	HPLC/FL	ヘキサン抽出 シリカSPE	0.01 (BaP) ~ 0.05 (BghiP)	0.01 (BaP) ~ 0.2 (BghiP)
16	BaA, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	アルコール飲料樽	HPLC/FL	飲料: C18 SPE 樽: ジクロロメタン抽出 シリカSPE	0.1 (BkF) ~ 2.0 (BghiP)	0.2 (BkF) ~ 6.0 (BghiP)

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	測定法	分析法			備考
				前処理法	検出限界 (μg/kg)	定量限界 (μg/kg)	
17	Ant, Fl, BaA, Ch, BeP, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	ムラサキイガイ	HPLC/FL	高速溶媒抽出 GPC精製	-	0.10 (BaA) ~ 0.25 (IP)	
18	BaA, BbF, BkF, BaP, DBahA, IP	ヒラメ, サケ	HPLC/FL	固相マトリックス 分散抽出 フロリジル +C18 SPE	0.04 (BkF) ~ 0.32 (IP)	0.13 (BkF) ~ 1.07 (IP)	
19	BaA, BbF, BkF, BghiP, BaP, BeP, DBahA, IP	肉類, 貝類, 鮮魚, 燻製魚, 植物油, 茶	HPLC/FL	ジクロロメタン抽出 GPC精製		1 μg/kgに統一	
20	Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP	コーヒー豆	HPLC/FL	高速溶媒抽出 ケン化 シリカSPE	0.11 (Ch) ~ 2.25 (BghiP)	-	
21	Na, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	燻製魚	HPLC/FL	ソックスレー抽出 GPC精製	-	-	
22	Na, Acp, Acy, F, Phe, Fl, Py, BcL, ベンゾ[b]フラト [2,1-d]チオフェン, CPP, BaA, Ch, BbF, BkF, BeP, BaP, IP, DBahA, BghiP, アンタントロン, コロネ	露天商の周辺空気	GC/FID	ジクロロメタン抽出 シリカゲルカラム	-	-	
23	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	魚介類 (魚, 貝)	GC/HRMS	ヘキサン-アセトン抽出 GPC精製	0.2 2 (Acy)	-	EPA16種対象

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法				備考
			測定法	前処理法	検出限界(μg/kg)	定量限界(μg/kg)	
24	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	スナック類 製造時の油	HPLC/FL	へキサン超音波抽出 シリカSPE	0.05	-	EPA16種対象
25	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BbF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC	燻製香料原料濃縮 液	GC/MS	ケン化 シリカSPE	0.1 (BaP) ~ 1 (DBahP)	0.5 (BaP) ~ 4 (DBahP)	EU15種対象
26	F, Phe, Ant, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, コロソ	食用油 油サプリメント	HPLC/FL	2-プロパノール抽出 ドナーアクセプト カーカラム カラムスイッチン グを使用し半自動 測定	0.07 (BaP)	0.14 (BaP)	
27	Acp, F, Phe, Ant, Fl, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	燻製処理前後のサ ケ	HPLC/FL	ケン化 フロリジルカラム	0.05 (BkF) ~ 0.25 (BaP)	-	
28	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	魚	GC/MS	ケン化 シリカゲルカラム	0.1 ~ 0.3	-	EPA16種対象
29	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP, BeP, 47誘導体	牧草	GC/MS	ソックスレー抽出 シリカゲルカラム	-	-	
30	総説						

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法			備考	
			測定法	前処理法	検出限界(μg/kg)		定量限界(μg/kg)
31	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BbF, CPP, DBahP, DBaep, DBaiP, DBaiP, 5MC	燻製香料原料	GC/MS	ケン化 シリカSPE	-	-	EU15種対象
32	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	燻製ブドウ搾りかす すエキス	HPLC/FL	水希釈 C18 SPE	-	-	EPA16種対象
33	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP, BbF, BeP, ベリリン	植物油	GC/MS	GPC シリカSPE	0.2(BghiP)~ 1.5(Acp)	0.3(BghiP)~ 3.0(Acp)	EPA16種含む
34	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP, BbF, BeP, ベリリン, メチル誘導体 計43種	チーズ	GC/MS	シクロヘキサン抽出 ケン化 シリカSPE	-	-	
35	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP, BbF, BeP, BaP, DBahA, BghiP, IP	バター, 魚介類, 肉, 飼料	GC/HRMS	高速溶媒抽出 シリカゲルカラム	-	-	EPA16種対象
36	BbF, BbF, BkF, BkF, BkF, BaP, Ch, DBahA, DBaep, DBaiP, IP, 5MC	燻製肉, 調理肉, 肉製品	HPLC GC/MS	塩酸加水分解 GPC精製	HPLC 0.3(BaP) GC/MS 0.1(BaP) 0.3(IP)	GC/MS 0.3(BaP) ~ 1.0(IP)	

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法				備考
			測定法	前処理法	検出限界 (μg/kg)	定量限界 (μg/kg)	
37	F, Phe, Ant, CPP, BbF, BbF, BkF, IP, DBaeP, DBahP, DBaIP, DBaiP, BghiP, DBahP, BaA, Ch, BaP, Fl, 5MC	燻製サケ (試験室で処理)	GC/MS/MS	シクロヘキサン-酢酸エチル抽出 Envi Chrom P SPE	BghiP <0.1 GC/MSで0.5	-	
38	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BbF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC	燻製香料濃縮液	HPLC/FL HPLC/UV	ケン化 シリカSPE	0.1 (Ch, 5MC) ~ 1.2 (DBahA)	0.5 (5MC) ~4 (DBahA)	EUI5種対象
39	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP	木材 ワイン	GC/MS	木材 ソックスレー抽出 ワイン C18 SPE	木材: BaP 1, IP 4 その他 0.5 ワイン; BbF, BkF, BbF 2 ng/L BaP 6 ng/L IP 60 ng/L	-	EPA16種対象
40	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP, BbF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC, BcL	食用油	GC/TOFMS	へキサン溶解 固相マイクロ抽出 (SPME)	0.1 (BghiP) ~ 1.4 (CPP)	0.4 (BghiP) ~ 4.6 (CPP)	EPA16種対象 +EUI5種対象 +BcL

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	測定法	分析法			備考
				前処理法	検出限界(μg/kg)	定量限界(μg/kg)	
41	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaep, DBaiP, DBaIP, 5MC, BcL, ベンゾ[b]フラントレン, フロアントレン, ベンゾ[a]アントラセン, フロアントレン, ベンゾ[a]アクリニレン, コロネ	食用油	GC/MS	ケン化 シクロヘキサセン- N, Nジメチルホル ムアミド分配 シリカゲルカラム	植物油 0.069(DBahA)～ 14(CPP) BaP 0.48	-	
42	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaep, DBaiP, DBaIP, 5MC, Phe, Ant, Fl, Py	魚, 油	GC/MS/MS	高速溶媒抽出 Envi Chrom P SPE	0.010(DBahA)～ 0.15(Ant)	0.030(DBahA)～ 0.92(Ant)	EUI5種含む
43	Na, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP	カシヤツサ ウイスキー ラム酒	HPLC/FL	C18-SPE	0.00108(DBahA)～ 0.0128(Fl)	0.093(BaP)～ 0.881(Phe)	
44	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, IP, DBahA, BghiP	穀類製品	GC/MS	ケン化 フロリジルSPE	0.007～0.44	0.01～0.71	
45	Phe, Ant, Fl, Py, I1H-ベンゾ[b]フルオレン, BaA, Ch, BeP, BbF, DBacA, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	クッキー	HPLC/FL	マイクログロウエーブ 抽出 ケン化 シリカSPE	0.015(Ch)～ 0.7(Phe)	-	

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	測定法	前処理法	分析法		備考
					検出限界(μg/kg)	定量限界(μg/kg)	
46	Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP	コーヒー豆	HPLC/FL	高速溶媒抽出 ケン化 シリカSPE	約0.2(BghiP)	-	
47	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBalP, 5MC, DBacP, ベンズ[a]フラントレン, トリフェニル	燻製肉, 食用油	GC/HRMS または GC/MS	高速溶媒抽出 GPC精製 シリカSPE	GC/MS 0.01~0.02 HRMS 0.003~0.01	GC/MS 0.03~0.06 HRMS 0.009~0.03	EUI5種含む
48	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBalP, 5MC, Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py,	燻製ブタ肉	CALUX バ イ オ アッセイ	ケン化 N, Nジメチルホル ムアミド分配 シリカゲルカラム	-	BkFで 0.23	
49	Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BghiP, BaP, DBahA, IP	燻製ニジマス	HPLC/FL	ケン化 フロリジルSPE	0.01(BkF)~ 0.49(Py)	0.02(BkF)~ 0.62(Py)	
50	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBalP, 5MC, BcL	果実茶	GC/HRMS	高速溶媒抽出 GPC精製 シリカSPE	0.01~0.02	0.03~0.06	EUI5種含む (+BcL)
51	BbF, BkF, BjF, BaP, BghiP, IP, BaA, DBahA, DBalP, Ch, 5MC	トーストパン	HPLC/FL	へキサン超音波抽 出 シリカSPE	0.01(BkF)~ 0.70(BghiP)	0.02(BkF)~ 1.75(BghiP)	

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法				備考
			測定法	前処理法	検出限界(μg/kg)	定量限界(μg/kg)	
52	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC	燻製ブタ肉	GC/MS	ケン化 N, Nジメチルホル ムアミド分配 シリカSPE	0.10	-	EU15種対象
53	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC, BcL	魚油, 乾燥植物	HPLC/FL HPLC/UV	ジクロロメタンへ キサン抽出 シリカSPE ドナーアクトセブ ターカラム	0.07 (BaP) ~ 0.75 (BjF) 7.8 (CPP) (CPPはUV検出)	0.13 (BaP) ~ 1.5 (BjF) 16 (CPP)	EU15 種 含 む (+BcL)
54	BaA, Ch, BeP, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	オリーブ油	HPLC/FL	脂肪抽出 シリカSPE シリカNH2	-	0.1 (BaP) ~ 0.8 (IP)	
55	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC, BcL, BeP, ベンゾ[b]フルテン	オリーブ油	HPLC/FL HPLC/UV	ヘキサン溶解 シリカSPE	0.003 (BaA) ~ 0.43 (BeP) 18.9 (CPP) (CPPはUV検出)	0.04 (BaA) ~ 0.70 (BeP) 27.8 (CPP)	EU15 種 +BcL 含 む
56	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaeP, DBaiP, DBaIP, 5MC	植物油	GC/MS	アセトニトリル-ア セトン(6:4)抽出 GPC精製 シリカSPE	-	-	EU15種対象
57	Na, Acy, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP	魚	HPLC/FL	ソックスレー抽出 銅粉処理 フロリジルカラム	-	-	EPA16種対象

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法				備考
			測定法	前処理法	検出限界(μg/kg)	定量限界(μg/kg)	
58	BaA, Chr, BeP, BbF, BkF, BaP, DahA, BghiP, IP	オリーブ果実, オリーブ油	HPLC/FL	ヘキサン超音波抽出 シリカSPE シリカNH2	-	-	
59	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBahA, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaep, DBaiP, DBaIP, 5MC, BcL	健康補助食品	HPLC/FL HPLC/UV	固相マトリックス分散抽出 シリカゲルカラム	0.1(BaA)～ 1.2(BcL) CPP 29.8(UV)	0.2(BaA)～ 2.3(BcL) CPP 59.7(UV)	EUI5 種 含む (+BcL)
60	Na, Acp, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP, BjF, CPP, DBahP, DBaep, DBaiP, DBaIP, 5MC	燻製魚, ラード, トラウト	GC/MS	高速溶媒抽出 (脂肪保持剤使用)	0.2(IP)～ 4.4(Na)	0.7(IP)～ 14.6(Na)	EUI5 種 + EPA16 種対象
61	Na, Acp, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP	魚, 飼料	GC/MS/MS GC/TOFMS	ケン化 フロリジルSPE	GC/MS/MS 0.02(BaA)～ 0.1(Phe) TOFMS 1 μg/kg以上	-	EPA16種対象
62	Na, Acp, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBahA, BghiP, IP	パン	GC/MS	ケン化 アルミナカラム シリカゲルカラム	-	-	EPA16種対象

表 3(続き)

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	測定法	前処理法	分析法		備考
					検出限界(μg/kg)	定量限界(μg/kg)	
63	Ant, Ch, Py, BaA, BkF, BbF, BaP, Fl	野菜(キヌウリ, カボチャ)	HPLC/FL	アセトニトリル-テトラクロロエタンで共溶抽出	0.025(BaA)~ 0.25(BbF)	-	
64	Acy, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBaHA, BghiP, IP, ベリリン, DBaHP, DBaeP, DBaIP, DBaIP, ナル誘導体	コーヒー浸出液	GC/MS	ケン化	0.70(Acy)~ 18(Py) ng/L	-	
65	BbF, BkF, BbF, BaP, IP, BaA, BghiP, DBaHA, Ch, 5MC, DBaIP, OH体	調製粉乳, 乳児用シリアル	HPLC/FL	ヘキサソニトリル抽出 シリカSPE	0.010(BkF)~ 0.70(BghiP)	0.025(BkF)~ 1.7(BghiP)	
66	Na, Acp, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BaP, BkF, BbF, DBaHA, BghiP, IP, DBaIP	魚	HPLC/FL	QuEChERSカラム	0.04(BaA)~ 1.40(Na)	0.12(BaA)~ 1.90(Na)	EPA16種対象
67	BaA, BaP, BbF, BghiP, BkF, Ch, DBaHA, IP, BbF, CPP, DBaHP, DBaeP, DBaIP, DBaIP, 5MC, BcL	ヒマワリ油	GC/MS	GPC シリカSPE	-	-	EU15種含む (+BcL)
68	Fl, BbF, BaP	レストランの料理品	HPLC/FL	ケン化 エキストラクト プロピルホルホン 酸SPE シリカゲルカラム	0.01(BbF)~ 0.03(BaP)	0.04(BbF)~ 0.10(BaP)	

- ; 記載がなかった。

分 担 研 究 報 告

食品中の放射性核種の摂取量調査・評価研究

杉山 英男

厚生労働科学研究費補助金（食品の安心・安全確保推進研究事業）
平成 21 年度分担研究報告書

食品中の放射性核種の摂取量調査・評価研究

分担研究者 杉山英男 （国立保健医療科学院生活環境部室長）

協力研究者 寺田 宙 （国立保健医療科学院）

小谷野道子 （国立保健医療科学院）

飯島育代 （神奈川県衛生研究所）

三宅定明 （埼玉県衛生研究所）

研究要旨

国内に流通する食品を調理した後に含まれる放射性核種の量、ならびに、その摂取量および暴露量（被ばく線量）を明らかにすることを目的とした。その方法は、マーケットバスケット方式により購入した食品を全 14 食品群（飲料水のみ水道水採水）に区分し、調理後食品を核種分析あるいは測定するトータルダイエツトスタディ（TDS）とした。本研究 3 年度目にあたる平成 21 年度の調査・評価方法は基本的には本補助金による前年度の調査・評価研究に準じた。対象地域は全国 4 ブロック（関東 I；東京都、北陸；金沢市、中国；広島市、四国；高知市）、対象放射性核種は γ 線放出核種（人工放射性核種の放射性セシウム（Cs）および天然放射性核種の ^{40}K やウラン系列、トリウム系列核種のビスマス（ ^{214}Bi ）、鉛（ ^{212}Pb ）など）および天然放射性核種のポロニウム（ ^{210}Po ）とした。とくに、 ^{210}Po は微量で放射線毒性が強く、2006 年にロンドンで起きた元ロシア連邦保安庁情報部員の不審死との関連が示唆されたことや食品からの被ばく寄与が高いことからその再評価が求められている。

調理調製した各食品群試料あるいは食品群混合試料中の対象核種の放射能濃度を求めた後、これらの濃度と各ブロックにおける代表的な食品消費量データをもとにして 1 日摂取量（Bq/日）を、国際放射線防護委員会（ICRP）の線量換算係数を適用して成人の暴露量（預託実効線量；mSv）を算出、評価した。その結果、食品に由来する預託実効線量は ^{40}K と ^{210}Po が大きく、 ^{210}Po の線量寄与は国連科学委員会報告（UNSCEAR 2000）の世界平均値を上回ることが明らかとなった。これら研究成果は放射線緊急時などを含めた食品中の放射能に対する安心・安全確保推進対策における基礎資料となる。

A. 研究目的

食品中の有害物質の量とその分布状況を明らかにし、さらに、公衆による摂取量と暴露量を評価することは食品の安心・安全確保推進に資する上で重要な課題の一つである。

本年度の本研究では、①日本国内に流通し市販される各種の食品を対象として、日常的に摂取される国内各地域の平均的な消費量データに基づき調理済み試料を調製する。その後、②調製試料中の放射性核種の測定、分析を行う。対象放射性核種は γ 線放出核種（人工および天然）ならびに α 線放出核種のポロニウム(^{210}Po)とする。③これらの実測データをもとに、各種食品区分（全14食品群）における放射性核種濃度と国内地域分布を検討する。さらに、④これらの放射能濃度をもとに放射性核種の1日摂取量ならびに暴露量（実効線量）に関する評価を行う。以上のことを目的としたトータルダイエツトスタディ（以下、TDSと表記する）を実施する。

B. 研究方法

本研究方法は、前年度に実施したTDSに基本的に準ずる。

方法の概要は次のとおりである。

1. 試料調製

日本国内の4ブロック（関東I；東京都、北陸；金沢市、中国；広島市、四国；高知市）を選択し、全14群に区分した食品を流通市場でマーケットバスケット方式により購入し

た（飲料水のみ水道水を採水）。一例として、4都市で購入した食品分類を示す（表1～4）。飲料水を除く購入食品（全13食品群）は各食品群ごとに、炊く、ゆでる、炒める、煮る、焼く等の調理を行い、日本人の日常食を再現した試料を調製した。この調理にあたっては他の食品群の添加や混入は禁じた。

^{210}Po 分析用試料は調製試料を生々の状態で用いた。

① γ 線放出核種用調製試料（対象核種： ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{40}K 、ウラン系列、トリウム系列）は凍結乾燥あるいは乾熱乾燥した後、 450°C で24時間灰化处理した。その後、全13食品群個別（油脂類を除く）にプラスチック製容器（容量100mL）に灰試料を封入しシリコンのシーリング剤を充填させて密閉し2週間程度放置した。油脂類（食品群IV）はその物性上、減容が困難なため調理調製試料の状態マリネリ容器（容量1L）に封入し測定用試料とした。飲料水（食品群XIV）は加熱濃縮、蒸発乾固し、残留物を食品試料と同様にプラスチック製容器に充填した。

② ^{210}Po の分析試料としては、調理調製試料を生のままか、あるいは凍結乾燥品とした。

2. 測定法、分析法

2-1. γ 線スペクトロメトリーによる γ 線放出核種の定量

測定用灰試料はGe半導体検出器（CANBERRA社製、EURYSIS社製、OXFORD社製、）のエンドキャップに

載せ 80,000~300,000 秒間計測した。バックグラウンド値は検出器に何も載せない空の状態に適時 200,000~300,000 秒間計測して求めた。測定にあたり、事前にエネルギー校正曲線およびピーク効率を混合核種基準線源（日本アイソトープ協会頒布）を用いて作成した。エネルギー校正曲線、ピーク効率および定量には γ 線核種解析用ソフトを使用した。

定量法の概略は次のとおりである。測定目的核種のピーク領域内の計数値を用いてピーク面積を計算する。ここで他核種からの妨害が認められたときは補正した。ピーク面積をピーク効率と測定目的核種の γ 線放出比で除し試料調製日に減衰補正して測定試料あたりの放射能を求めた後、測定供試量で除して定量結果とした。

以上、「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ー」(文部科学省放射能測定法シリーズ7、平成4年改訂)参照。

2-2. α 線スペクトロメトリーによる ^{210}Po の分析

^{210}Po の公的分析法(文部科学省放射能測定法シリーズなど)は未だ示されていない。本研究では、以下の分析法を適用した。

2-2-1. 化学分離

調製試料から 15~30g 生重量を分取し、 ^{209}Po 回収率補正用トレーサを添加し硝酸を加え加熱分解した。加熱分解後、溶液を濃縮しろ過した。ろ液を加熱濃縮した後、 HCl (1+2)

を加え加熱した。放冷後、残留物をろ別し、ろ液を Sr-SpecTM カラムに通し Po を吸着させた。

HCl (1+2)、 HCl (2+1) および HNO_3 (3+4) で順次洗浄後、 HNO_3 (3+4) で溶離し蒸発濃縮した。溶離液に塩酸を加え、再び加熱濃縮後、 HCl (1+23) を加え加熱溶解した。試料溶液にアスコルビン酸を加え、85°C に調節した電解装置で Po をステンレス板上に電着して測定試料とした。

2-2-2. 測定

混合試料 (全 13 食品群)

測定試料を Si 半導体検出器 (ORTEC 社製) で原則として 80,000 秒間以上測定した。測定試料の正味計数を求め、回収率補正用トレーサ ^{209}Po の計数率との比較、分析供試量等から ^{210}Po (半減期: 138.4 日) の放射能濃度を算出し、分析結果は ^{210}Pb を分離した日に減衰補正した。

C. 研究結果と考察

1. 食品中の放射性核種濃度

1-1. γ 線放出核種の放射能濃度

本研究では、前年度と同様に、 ^{137}Cs などの人工放射性核種に加えて、近年、食品中の濃度実態の把握が求められている天然 γ 線放射性核種 (代表的な ^{40}K ならびに ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{228}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{208}Tl のウラン系列、トリウム系列核種) を対象とした。

γ 線放出核種の全 14 食品群の放

射能濃度（調理後重量ベース）を表に示す（表 5-1、表 6-1、表 7-1、表 8-1）。

今年度、4ブロックにおいて人工 γ 線放出核種として定量されたのは ^{137}Cs のみである。その放射能濃度は4都市ともに 0.1 Bq/kg 以下であった。多くの食品群では ^{137}Cs は検出下限値以下で、前年度と同様な結果であった。全食品群中の ^{137}Cs 濃度は、定量された試料の中では最小値が高知市の米・米加工品類（食品群 I）の 0.005 Bq/kg、最大値は金沢市の魚介類（食品群 X）の 0.093 Bq/kg であった。食品群別 ^{137}Cs 濃度の最大値は4ブロックとも X 群の魚類（東京都；0.064、金沢市；0.093、広島市；0.062 Bq/kg、高知市；0.064）であった。魚類が全食品群の中でも高濃度を示す傾向は前年度も認められた。その他に、米・米加工品類、穀類・種実類・芋類、豆類、その他野菜・きのこ・海藻類、肉類・卵類、乳類などの一部から 0.005～0.054 Bq/kg の ^{137}Cs が定量された。

チェルノブイリ原子力発電所事故（1986年）の後、厚生労働省が継続監視しているヨーロッパ産輸入食品の放射能検査における放射性 Cs の暫定限度は 370 Bq/kg（ ^{137}Cs と ^{134}Cs の合計値）である。本研究では、前年度と同様に国内流通食品中の ^{137}Cs 濃度レベルは低いことが認められた。さらに、チェルノブイリ原子力発電所事故により放出された人工放射性核種の ^{134}Cs はいずれの都

市、食品群から検出されていない。

天然放射性核種の ^{40}K は食品の必須元素であり、多量元素でもある K の同位体の一つとして 0.012% 存在する。このことより、 ^{40}K は一部の油脂類（食品群 IV）を除いて、すべての食品群から定量された。その濃度は 13 食品群では 0.25～104.9 Bq/kg で、その多くは 10 Bq/kg 以上のレベルであった。食品群別の濃度は緑黄色野菜（食品群 VII）、その他野菜・きのこ・海藻類（食品群 VIII）、魚類（食品群 X）、肉類・卵類（食品群 XI）、豆類（食品群 V）で高く、嗜好飲料類（食品群 IX）や米・米加工品類（食品群 I）で低い値であった。飲料水の ^{40}K 濃度は低く、0.021～0.040 Bq/kg であった。いずれも前年度と同様な傾向であった。

天然 γ 線放射性核種の ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{228}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{208}Tl 濃度は4ブロック、各食品群ともに多くが検出下限値以下にあり検出された食品の濃度も低いことが認められた。核種別では、 ^{214}Pb が 0.03～0.27 Bq/kg、 ^{214}Bi は 0.02～0.23 Bq/kg、 ^{228}Ac は 0.0006～0.10 Bq/kg、 ^{212}Pb は 0.01～0.07 Bq/kg、 ^{208}Tl が 0.02～0.04 Bq/kg が検出されたが、4ブロックともに検出された食品はみられず、前年度と同様の結果であった。

1-2. α 線放出核種（ ^{210}Po ）の放射能濃度

東京都の全 14 食品群の調製試料の ^{210}Po 分析を行った。

各食品群の ^{210}Po 放射能濃度（調

理後重量ベース)を示す(表9)。 ^{210}Po は果実類、飲料水を除く全ての食品群で検出された。食品群別では魚類が5.738 Bq/kgと突出して高く、次いで調味料・香辛料類(0.097 Bq/kg)、緑黄色野菜(0.089 Bq/kg)が高かった。食品中の ^{210}Po 濃度の報告はいくつか見られるが、いずれも食品素材そのものの分析値であり、本研究では、実際の摂取形態に近い調理後の調製試料の濃度を求めていることが特徴である。

2. 放射性核種の1日摂取量

放射性核種の1日摂取量は放射能濃度の結果と各都市の消費量データをもとに求めた。

2-1. γ 線放出核種の1日摂取量

今回測定した8種類の対象核種(^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{40}K 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{228}Ac 、 ^{212}Pb 、 ^{208}Tl)について算出評価した。1日摂取量(mBq/d)は各食品群ごとの値を求めた後、これら個別食品群の摂取量を積算した合計値(表中にTで表記)として表した。その結果を表に示す(表5-2、表6-2、表7-2、表8-2)。

本年度の研究では、1日摂取量は前年度と同様に以下の方法に準じて求めた。すなわち、対象とする各放射性核種の放射能濃度が検出下限値を下回る結果がみられることから、評価にあたっては、いわゆる“不検出”試料の摂取量はゼロとせずその検出下限値を摂取量として考慮した。このため、表中の合計値(T)は

定量値の得られた数値のみを積算した場合を最小値とし、この積算値に検出下限値に相当する摂取量を足し合わせた数値を最大値としている(表中では最小値<T<最大値で表記)。したがって、この考え方による摂取量評価では最大値は過大な評価を与える可能性があることを認識する。

4ブロックにおける人工放射性核種 ^{137}Cs の1日摂取量は、最小値は東京都、金沢市、広島市、高知市(28.7、23.4、13.6、16.3 mBq/d)、最大値では東京都、金沢市、広島市、高知市(<42.5、<46.9、<58.4、<40.6 mBq/d)であった。前年度の国内4ブロックの結果は、最小値では4.7 mBq/d(仙台市)~30.1 mBq/d(大阪市)、最大値では<38.0 mBq/d(大阪市)~<57.1 mBq/d(仙台市)であった。この2年度において、 ^{137}Cs の1日摂取量は日本国内各地域において大きな差はみられていない。食品群別には魚類(食品群X)、肉類・卵類(食品群XI)、その他野菜・きのこ・海藻類(食品群VIII)からの摂取量が多い。

なお、チェルノブイリ原子力発電所事故に由来する人工放射性核種の ^{134}Cs は4ブロックともに検出されておらず1日摂取量の評価には及ばない。

天然放射性核種 ^{40}K の1日摂取量の合計値は4ブロックにおいて71,760~84,811(<84,813) mBq/dであった。食品群別には4ブロックいずれも、その他野菜・きのこ・海藻

類（食品群Ⅷ）が一番高い摂取量で7,450～19,177 mBq/d、次いで穀類・種実類・芋類（食品群Ⅱ）、緑黄色野菜類（食品群Ⅶ）、魚類（食品群Ⅹ）、肉類・卵類（食品群ⅩⅠ）などであった。油脂類（食品群Ⅳ）は小さい摂取量であった。本年度の結果は、前年度の合計値68,489～81,391（<81,400）mBq/dと同程度であり、食品群別の摂取量順も同じ傾向であった。

対象とした天然放射性核種の中では、 ^{214}Pb 、と ^{214}Bi は ^{238}U 、また、 ^{228}Ac 、 ^{212}Pb および ^{208}Tl は ^{232}Th を起源とするウラン系列、トリウム系列核種である。近年、天然由来の放射性核種（Naturally Occurring Radioactive Materials; NORM）の濃度実態を把握し、その暴露量（摂取量と被ばく線量）の評価が求められている。このため、本研究においても上記の核種を対象としている。しかしながら、本年度の結果は前年度と同様に、これら核種の食品中の放射能濃度は検出限界値未満であるか、あるいは低い定量値であったことから1日摂取量は小さい値であった。

2-2. α 線放出核種（ ^{210}Po ）の1日摂取量

東京都における ^{210}Po の食品群別の1日摂取量の結果を表に示す（表9）。

14 食品群の合計から求めた東京都の成人による ^{210}Po の1日摂取量は0.54 Bq/dで、前年度の4ブロック（札幌市、仙台市、大阪市、福岡

市）、前々年度の3ブロック（横浜市、新潟市、高知市）を含めた日本国内主要7市の結果0.34-1.84（平均値 $\pm\sigma$ ：0.66 \pm 0.53）Bq/dの範囲内であった。食品群では魚介類の寄与が85%と大きく、次いで嗜好飲料類（4.5%）が大きかった。前年度の札幌市、大阪市、福岡市でも同様に魚介類の寄与が極めて大きく、嗜好飲料類の寄与が比較的大きい傾向が認められた（図1）。

3. 内部被ばく線量評価

3-1. 線量評価方法の概要

食品摂取にともなう放射性核種による暴露量（内部被ばく線量（Sv））算出の基本は、食品に起因する各放射性核種の摂取量（Bq）と実効線量換算係数（mSv/Bq）に依存する。

本研究では前年度と同様な方法で預託実効線量を算定、評価した。

算出式の例は以下のとおりである。

$$A_{mj} = C_{mj} \cdot M_m \cdot f_{m} \cdot f_{d_m} \cdot t_m$$

ここで、

$A_{m,i}$: 食品 m の摂取に起因する放射性核種 i の摂取量 (Bq)

$C_{m,i}$: 試料調製時における評価対象食品 m 中放射性核種 i 濃度 (Bq/kg)

t_m : 食品 m の摂取期間 (d)

M_m : 食品 m の1日あたりの摂取量 (kg/d)

f_{m} : 食品 m の市場希釈係数 (-)

f_{d_m} : 食品 m の調理による除染係数 (-)

この計算式において、本研究で対象とする放射性核種は ^{210}Po (半減期: 138.4 日) を除き物理的半減期が極めて長いために食品試料の調製時から測定時の間の物理的減衰は考慮を要しない。

食品摂取による内部被ばく線量 $H(\text{mSv})$ は、以下の式で与えられる。

$$H = \sum_m \sum_i K_i \cdot A_{m,i} \quad \text{ここで、}$$

H : 食品摂取に起因する実効線量 (mSv)

K_i : 放射性核種 i の経口摂取による実効線量への換算係数 (mSv/Bq)

ここでは、上記の算出式を用いて各放射性核種による成人の預託実効線量を算定評価した。なお、線量換算係数は国際放射線委員会 (ICRP Publication 72) の成人に対する数値を適用した。

3-2. γ 線放出核種の実効線量

成人の預託実効線量は食品中の放射能濃度と対象都市における消費量データをもとに求めた 1 日摂取量に線量換算係数を適用して算出した。4 ブロックにおける成人の預託実効線量の結果を示す (表 5-3、表 6-3、7-3、表 8-3)。この実効線量の評価においても、さきの 1 日摂取量評価と同様に検出下限の値を考慮した。このため、表中の合計値は最小値 $<$ 最大値として表記した。

γ 線放出核種のうち、 ^{137}Cs の預託実効線量 (線量換算係数: $1.3 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}$) は 4 ブロック順に東京都が 0.136、金沢市が 0.111、

広島市が 0.065、高知市が $0.077 \mu\text{Sv}$ (表中の最小値) と評価された。なお、最大値としては東京都が <0.202 、金沢市が <0.223 、広島市が <0.277 、高知市が $<0.192 \mu\text{Sv}$ と算出された。これらの線量は前年度の 4 ブロックでの線量 $0.022 \sim 0.143 \mu\text{Sv}$ (最小値評価)、 $<0.180 \sim <0.271 \mu\text{Sv}$ (最大値評価) と同水準にあった。

^{40}K (線量換算係数: $6.2 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq}$) の預託実効線量は、最小値、最大値とも東京都が 171.0、金沢市が 162.4、広島市が 192.0、高知市が $184.0 \mu\text{Sv}$ と算出された。前年度の 4 ブロックでは、札幌市が 184.2、仙台市が 176.8、大阪市が 179.9、福岡市が $155.0 \mu\text{Sv}$ であるので同水準にある。

4 都市における全 14 食品群別の γ 線放出核種の預託実効線量をグラフに示す (図 2)。この線量は大部分が ^{40}K に由来するものである。食品群別の寄与をみると 4 市ともに VIII 群 (その他野菜・きのこ・海藻類) が大きく、しかも、他の食品群は各市において比較的同程度の線量寄与を示すが、VIII 群の線量には差が顕著なことが分かる。 ^{40}K による預託実効線量は VIII 群によりブロック差が生じる可能性が示唆される。

天然放射性核種の ^{214}Pb (線量換算係数: $1.4 \times 10^{-7} \text{ mSv/Bq}$)、 ^{214}Bi (線量換算係数: $1.1 \times 10^{-7} \text{ mSv/Bq}$)、 ^{228}Ac (線量換算係数: $4.3 \times 10^{-7} \text{ mSv/Bq}$)、 ^{212}Pb (線量換算係数: $6.0 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq}$) はカッコ内に示した線量換

算係数を用いて預託実効線量を算出した。さきの放射能濃度の項で示したとおり、これら放射性核種の各食品群濃度はその多くが検出下限値未満であった。したがって、本TDSでは評価の一方法として、1日摂取量合計値の中から最小値と最大値を用いて預託実効線量を試算した。以下に、その各放射性核種別に結果を示す。例えば、 ^{214}Pb の線量を最小値～最大値で示すと $0.004 \sim < 0.007 \mu\text{Sv}$ となる。同様に表すと、 ^{214}Bi は $0.002 \sim < 0.008 \mu\text{Sv}$ 、 ^{228}Ac は $0.002 \sim < 0.040 \mu\text{Sv}$ 、 ^{212}Pb は $0.030 \sim < 0.202 \mu\text{Sv}$ と算出され、過去のTDS結果と同程度であった。なお、 ^{208}Tl は本TDSで引用するICRP Publicationに線量換算係数(ICRP Publication 72)の記載がないために線量の算出は行わなかった。

本研究より、 γ 線放出核種の中では食品摂取に伴う放射性核種の被ばく寄与は ^{40}K が一番大きいこと、食品別にはその他野菜・きのこ・海藻類(食品群Ⅷ)で高いこと、また、その預託実効線量は ^{137}Cs と同様に日本国内各地域において大きな差はないことが明らかとなった。

3-3. α 線放出核種(^{210}Po)の実効線量

^{210}Po (線量換算係数： $1.2 \times 10^{-3} \text{mSv/Bq}$)による成人の預託実効線量を算出した。

東京都における預託実効線量は 0.236mSv で、前年度の4ブロックの結果(札幌市： 0.166 、仙台市： 0.253 、

大阪市： 0.195 、福岡市： 0.151)と同程度であった。前々年度の高知市が 0.806mSv と高い値を示したものの、日本国内各市における預託実効線量のバラツキは小さいと評価される。食品群別では東京都における ^{210}Po の預託実効線量は全体の85%以上が魚介類に由来し、前年度の札幌市、大阪市、福岡市も同様に魚介類由来の線量が高い傾向が認められた(表9)。

3-4. 線量評価総括

本TDSで用いた預託実効線量(μSv)の評価法は、原子力関連施設等周辺の環境放射能モニタリングで一般的に用いられている比較的簡便な方法を適用したものである。今回の線量評価は定量が不可能であった核種も検出下限値をデータとして採用したケースもあり、一部で過大な評価が与えられていることに留意を要する。食品中の ^{210}Po 放射能濃度データは日本国内のみならず国際的にも少なく、 ^{210}Po の暴露量を評価した研究は限られる。さらに、国連科学委員会報告2000(UNSCAEA 2000)には日本に関する ^{210}Po の飲食物中の濃度は記載されていない。また、2006年11月にイギリスで発生した元ロシア連邦保安庁情報部員の将校の不審死では ^{210}Po が被害者の尿より検出されたことから暗殺死の可能性が指摘されており、食品への混入テロなど健康危機管理対応の上からも食品に由来する ^{210}Po の暴露量を評価する必要性が求められる状況にある。

平成 19、20、21 年度における本研究の実施により、日本国内各都市における食品摂取に由来する ^{210}Po の成人の実効線量の実態が明らかとなりつつある。本研究結果によれば、平成 19-21 年度の日本国内 8 都市における ^{210}Po と ^{40}K の預託実効線量の合計値は 0.46 mSv と評価された。この線量は全世界平均の年実効線量 0.29 mSv/year を上回るが、典型的な範囲の 0.2-0.8 mSv/year (UNSCEAR 2000) に相当する値と評価される。今回、 ^{210}Po の平均値は 0.28 ± 0.22 mSv は UNSCEAR 2000 のウランおよびトリウム系列の全世界平均値 0.12 mSv/year を大きく上回る。一方、日本国内 8 市の ^{40}K による線量の平均値は 0.18 ± 0.02 mSv は全世界平均値 0.17 mSv/year (UNSCEAR 2000) と同程度であることから、日本成人の食品摂取被ばくの特徴は諸外国に比べて ^{210}Po の寄与が大きいものと評価される。過去のいくつかの研究例は食品素材に関する分析データをもとにした曝露量評価である。一方、本研究では、食品素材を調理した後の日常食に近い試料をもとにして ^{210}Po および ^{40}K 放射能濃度を求めたことから、実際の摂食状態にもとづく曝露量評価結果が得られた。また、日本国内では魚介類に由来する ^{210}Po の 1 日摂取量、預託実効線量の大きいことが示されたことは魚類を好んで食する日本人固有の食事摂取状況が反映された結果と考える。

今後、さらに ^{210}Po を重点として

他の放射性核種を含めて総合的に調査・評価の精度を高めていくことが必要である。

D. 結論

測定、分析値と各市の食品消費量データならびに ICRP の線量換算係数を用いて日本成人による ^{137}Cs 、 ^{40}K と他の天然放射性核種および ^{210}Po の 1 日摂取量と預託実効線量を算出した。 ^{210}Po と ^{40}K の 1 日摂取量はそれぞれ 0.54 Bq/d および 72-85 Bq/d、預託実効線量は 0.24 mSv および 0.16-0.19 mSv と評価された。本研究で対象にした全核種の中で、両核種が被ばく線量に大きな比率を占めており、東京都における両核種の合計値 0.41 mSv は UNSCEAR 2000 の食品摂取に伴う年実効線量 0.29 mSv を上回った。東京都の ^{40}K による預託実効線量は世界年実効線量 0.17 mSv と同程度であることより、その食品摂取被ばくは諸外国に比べて ^{210}Po の寄与が大きいことが特徴である。個別の食品群の分析値から算出した ^{210}Po の 1 日摂取量は、魚介類の寄与が約 85% と極めて高いことから、 ^{210}Po 摂取については魚介類を好んで食べる日本人特有の食生活が反映されると推察される。

E. 研究発表

1. 論文発表

1. Sugiyama H., Terada H., Isomura K., Iijima I., Kobayashi J., Kitamura K. : Internal exposure to ^{210}Po and ^{40}K