

## 2.6 海岸後背地現地調査

### 2.6.1 調査の目的

海岸漂着物に含まれる有害物質の影響が大きいと考えられる海岸および比較対象となる海岸において、海岸後背地の土壌の採集を実施した。なお、本調査は令和元年度事業における重金属元素の分析結果を検証する事を主な目的とすることから、調査対象海岸は、原則として令和元年度事業と同様とした。

### 2.6.2 調査地域及び海岸

#### (1) 調査対象地域及び海岸（海岸漂着物量の多い海岸）

令和元年度事業における重金属元素の分析結果を検証するため、調査対象海岸は、令和元年度と同様とし、座間味村座間味島の北部にあるニタ海岸（重点対策区域番号 51\_04、海岸長 500m）、竹富町西表島の北東部にある野原崎西海岸（重点対策区域番号 86\_13、海岸長 1780m）とした。なお、選定した両海岸は共に、近隣に平成 22～28 年度事業のモニタリング調査対象海岸があり、近年の海岸漂着物の状況が把握し易く、これも含めた評価が可能となるために調査対象海岸に選定された経緯がある（座間味島ニタ海岸近隣のモニタリング調査対象海岸としてチシ西海岸、西表島野原崎西海岸近隣のモニタリング調査対象海岸として高那海岸がある）。

座間味島のニタ海岸及びチシ西海岸の位置とニタ海岸の状況写真を図 2.6-1 に、西表島の野原崎西海岸及び高那海岸の位置と野原崎西の状況写真を図 2.6-2 に示す。

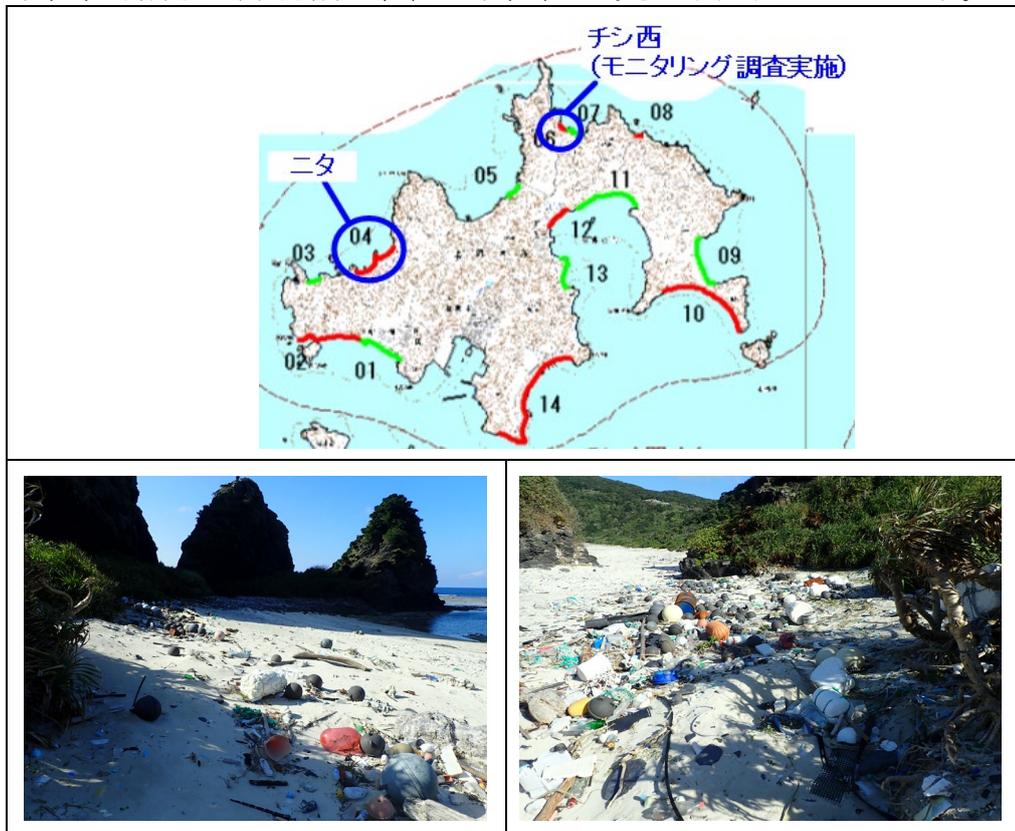


図 2.6-1 座間味島における調査対象として選定したニタ海岸の位置と海岸の状況、沖縄県が過年度モニタリング調査対象海岸としているチシ西海岸の位置



図 2.6-2 西表島における調査対象として選定した野原崎西海岸の位置と海岸の状況、  
沖縄県が過年度モニタリング調査対象海岸としている高那海岸の位置

(2) 比較対照地域及び海岸（海岸漂着物量の少ない海岸）

比較対照海岸は、前述の調査対象地域及び海岸（海岸漂着物量の多い海岸）と同様に、令和元年度事業と同じ海岸を選定することとし、座間味村座間味島の南側に位置するウハマ（重点対策区域番号 51\_11、海岸長 700m）、古座間味ビーチ（重点対策区域番号 51\_14、海岸長 1640m）の 2 海岸、竹富町西表島の南側に位置する南風見田の浜西側（重点対策区域番号 87\_09、海岸長 2500m）の 1 海岸とした。

座間味島のウハマと古座間味ビーチの位置と状況写真を図 2.6-3 に、西表島の南風見田の浜の位置と状況写真を図 2.6-4 に示す。



図 2.6-3 座間味島における比較対照海岸としたウハマ及び古座間味ビーチの位置と海岸の状況（左：ウハマ、右：古座間味ビーチ）



図 2.6-4 西表島における比較対照海岸とした南風見田の浜の位置と海岸の状況

### 2.6.3 調査方法

調査実施日は、西表島では令和3年1月10日、座間味島では1月15～16日とした。

調査方法は、選定した海岸において、海岸後背地を中心に300cc程度の土壌をスコップで採取し、採取地点の海岸からの距離等を記録した。

座間味島における調査実施状況を図2.6-5に、西表島における調査実施状況を図2.6-6に示す。



図 2.6-5 座間味島における調査実施状況  
(上段：ニタ海岸、中段：ウハマ、下段：古座間味ビーチ)



図 2.6-6 西表島における調査実施状況  
(上段：南風見田の浜、下段：野原崎西)

## 2.6.4 調査結果

座間味島と西表島における海岸後背地を中心とした土壌の採集結果は、表 2.6-1 のとおりである。

表 2.6-1 海岸後背地を中心とした土壌の採集結果

地域	実施日	場所	海岸からの距離 (m)	採取地点の状況
座間味村 座間味島	2021/01/15	51_04 ニタ海岸	30	後背地植生帯
			50	後背地植生帯
			60	後背地植生帯
	2021/01/16		100	後背地植生帯
	2021/01/15	51_11 ウハマ	30	後背地植生帯
			50	後背地植生帯
			100	後背地植生帯
		51_14 古座間味ビーチ	100	後背地植生帯
			130	後背地植生帯
			150	後背地植生帯
竹富町 西表島	2021/01/10	86_13 野原崎西	0	海岸
			10	後背地植生帯
			20	後背地植生帯
			50	後背地植生帯
		87_09 南風見田の浜	0	海岸汀線付近
			80	後背地遊水地
			100	後背地遊水地
			90	後背地植生帯
			100	後背地植生帯
			100	後背地植生帯
200	後背地畑			

## 2.7 採取試料分析

### 2.7.1 重金属元素の分析方法

重金属元素の分析は、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）により実施する。

ICP-MS は特定の質量/電荷比 ( $m/z$ ) のイオン強度を測定する手法であり、イオン源としては一般的にアルゴンプラズマが用いられ。アルゴンプラズマは、高周波電流の流れる誘導コイルを巻いた石英3重管にアルゴンを流すことで得られ、非常に高いガス温度、電子温度を持つため、多くの元素に関して 90%以上のイオン化が可能である。多くの金属は+1 価のイオンとして質量分析計に導入される。天然に存在する元素は、一定の同位体組成を持っているため、各  $m/z$  に現れるイオン強度をスキャンすることで含有元素の定性分析を行うことができる。また、イオン強度が含有元素量と比例関係にあることを利用し、濃度既知の標準溶液と試料のイオン強度を比較することで、定量分析を行うことができる (<http://www.mst.or.jp/method/tabid/129/Default.aspx> より)。

実際の分析手順は以下のとおりである。

分析試料は、フッ素樹脂製シート上で 90℃12 時間以上乾燥させ、乳鉢を用いて粉化した。各試料は乾燥前に湿重量を測定し、乾燥後の乾重量を用いて含水率を算出する。

粉化した乾燥試料は、フッ素樹脂製バイアルに約 0.100g を秤取し、61%硝酸を 2.00ml 添加後、電子レンジ用分解容器に入れて密封し、200W で 10 分間のマイクロウェーブ湿式灰化を行う。灰化後は室温で放冷し、ADVANTEC 製 5C の濾紙を通した分解液をポリプロピレン製試験管に移し、超純水で約 250 倍に希釈したものを精秤後、試料溶液とする。元素分析は、誘導結合プラズマ質量分析計 ICP-MS (Agilent, 7500a) を用い内部標準を 103Rh として後述する 35 元素の濃度測定を行った。実験の精度は繰り返し分析で確認し、確度は SRM-1577b (National Institute of Standards and Technology, USA) で確認を行う。各元素の回収率は過去の実績で 70%~150%程度である。検出限界値はブランクの標準偏差 (SD) の 3 倍の値を用いて算出する。

分析対象とした重金属元素等は、Li (リチウム), Na (ナトリウム), Mg (マグネシウム), Al (アルミニウム), K (カリウム), Ca (カルシウム), Sc (スカンジウム), V (バナジウム), Cr (クロム), Mn (マンガン), Fe (鉄), Co (コバルト), Ni (ニッケル), Cu (銅), Zn (亜鉛), As (ヒ素), Se (セレン), Rb (ルビジウム), Sr (ストロンチウム), Mo (モリブデン), Pd (パラジウム), Cd (カドミウム), In (インジウム), Sn (スズ), Sb (アンチモン), Cs (セシウム), Ba (バリウム), La (ランタン), Ce (セリウム), Gd (ガドリニウム), Pt (白金), Pb (鉛), Bi (ビスマス) の 33 元素とする。

## 2.7.2 分析結果

前述の現地調査で得られた試料等を用いた重金属元素の分析結果は、本報告書資料編2「西表島の南風見田，野原崎西，座間味島の古座間味，ウハマおよびニタの砂浜（砂と森林土壌）における33元素濃度の分析結果 東京農工大学 渡邊泉、松田宗一郎、松井大樹」に記載した。西表島及び座間味島の砂及び森林土壌等の分析結果を下表に示す。

表 2.7-1 西表島の南風見田と野原崎西の試料における33元素濃度分析結果

		7 Li	23 Na	24 Mg	27 Al	39 K	44 Ca	45 Sc	51 V	52 Cr	55 Mn	56 Fe	59 Co	60 Ni	63 Cu	66 Zn	75 As		
ハエミタ	砂浜の砂	汀線より海側	11.8	2900	18600	1220	360	186000	0.741	1.51	5.15	32.7	1130	0.7	3.54	0.657	16.2	3.38	
		汀線より陸側	20.9	1650	7810	3320	1010	114000	0.674	2	4.49	20	1680	0.606	2.56	<0.0002	7.82	1.97	
	湧水地の土	東側	19.1	1590	7280	6040	1440	94700	0.899	4.52	6.47	48.1	3610	1.3	4.06	2.14	15.7	1.54	
		西側	86.8	3840	2420	38300	8240	2930	5.09	31.4	31.7	163	20700	6.31	18.3	8.79	64.2	3.87	
	森林土壌	東側	55.2	2400	1350	27500	6020	750	2.94	19	18	361	8760	5.05	7	4.5	35.7	1.21	
		中央	12.8	1590	8580	3390	867	114000	0.661	2.62	4.85	62.5	2200	0.689	2.87	1.66	16.6	2	
	西側	46.7	2680	918	19100	4380	599	1.86	12.2	12.1	38.7	3080	2.38	6.66	3.25	23.6	<0.0002		
	島内の土	30.2	2300	6960	9410	2190	113000	1.3	8.3	9.19	64.2	3220	1.15	3.88	1.98	16.7	3.41		
ノバルザキ西	森林土壌	東側	15.2	2120	14200	4420	480	167000	1.9	13.3	10.9	119	5220	1.94	5.36	6.45	23.8	4.56	
		西側	12.6	2190	15400	3110	373	175000	1.6	9.28	9.64	70	2960	1.19	4.41	2.54	17.6	4.34	
	車道奥	129	4350	9430	64400	6400	7900	19.7	17.9	33.2	991	19000	23.2	28.5	56.1	159	<0.0002		
	砂浜の砂	13.4	2460	16200	3160	421	176000	1.5	10.8	9.53	67.7	3010	1.15	5.73	1.5	9.65	5.69		
		78 Se	85 Rb	88 Sr	95 Mo	105 Pd	111 Cd	115 In	118 Sn	121 Sb	133 Cs	137 Ba	139 La	140 Ce	157 Gd	195 Pt	208 Pb	209 Bi	
ハエミタ	砂浜の砂	汀線より海側	8.04	2.11	2940	0.0479	281	0.0323	<0.000008	0.0576	0.037	0.199	14.5	1.42	2.85	0.284	<0.000001	1.91	0.00683
		汀線より陸側	3.89	7.16	2290	0.565	233	0.0374	0.0044	0.133	0.133	0.415	38.9	4.23	8.15	0.505	0.058	2.12	0.0202
	湧水地の土	東側	<0.0008	10.8	1920	0.0629	147	0.033	0.005	0.132	0.0855	0.395	58.3	3.92	8.56	0.734	<0.000001	3.19	0.0208
		西側	<0.0008	65.4	118	0.172	14.9	0.109	0.0284	0.693	0.291	2.87	260	17.4	38.2	2.39	<0.000001	13	0.114
	森林土壌	東側	<0.0008	51.9	65.3	0.229	9.32	0.0724	0.0167	0.617	0.265	2.04	224	18	38.6	2.11	<0.000001	12.8	0.109
		中央	<0.0008	6.95	2240	0.101	161	0.0562	0.0064	0.152	0.0807	0.247	39.4	2.48	5.17	0.462	<0.000001	3.34	0.0335
	西側	<0.0008	34.7	50.3	0.134	6.45	0.0681	0.00833	0.478	0.162	1.19	171	12.2	25.6	1.65	<0.000001	7.08	0.0507	
	島内の土	<0.0008	17	2430	0.109	175	0.06	0.0107	0.26	0.167	0.81	78.2	6.65	14.1	0.906	<0.000001	3.75	0.0364	
ノバルザキ西	森林土壌	東側	<0.0008	3.61	3180	0.114	232	0.0349	0.00821	0.0413	0.193	0.249	18.9	2.54	5.99	0.672	<0.000001	3.54	0.0591
		西側	<0.0008	2.56	3060	0.0825	220	0.0503	0.00815	0.229	0.198	0.218	14.6	2.1	4.99	0.616	<0.000001	3.34	0.0342
	車道奥	<0.0008	51.5	101	0.0281	21.3	0.318	0.054	<0.0000006	0.298	3.42	247	14.1	31.9	3.89	<0.000001	15.8	0.0105	
	砂浜の砂	<0.0008	2.76	3270	0.0691	238	0.04	0.00368	0.193	0.199	0.192	17.9	2.21	5.19	0.618	<0.000001	2.65	0.0215	

表 2.7-2 座間味島の古座間味，ニタおよびウハマの試料の33元素濃度分析結果

		7 Li	23 Na	24 Mg	27 Al	39 K	44 Ca	45 Sc	51 V	52 Cr	55 Mn	56 Fe	59 Co	60 Ni	63 Cu	66 Zn	75 As		
古座間味	森林土壌	汀線から30m	3.93	2440	10300	1410	296	202000	0.404	<0.0003	5.62	11.8	855	0.676	3.93	1.2	7.95	1.62	
		汀線から50m	4.73	2370	10800	2080	458	188000	0.517	1.55	6.34	21.4	875	0.717	3.79	2.25	24.2	1.78	
		汀線から100m	4.93	2330	10300	2290	522	191000	0.505	1.84	6.47	29.4	3470	0.9	4.3	5.06	13.6	2.45	
ニタ	森林土壌	汀線から50m	6.11	2630	14400	2910	621	191000	0.556	<0.0003	6.31	21.9	905	0.567	3.27	<0.0002	5.04	1.04	
		汀線から60m	5.97	2980	13800	3330	607	189000	0.498	<0.0003	5.77	20.2	1050	0.567	3.18	1.21	14.9	1.37	
		汀線から30m	12.5	4290	15500	7590	1750	181000	1.1	5.56	9.31	41.2	3390	0.888	4.11	2.01	23.6	1.38	
ウハマ	森林土壌	汀線から100m	5.82	2780	13100	2930	550	194000	0.576	2.46	7.06	22.8	1670	0.578	3.34	1.42	4.85	2.41	
		汀線から100m	4.93	3060	7190	6000	2520	162000	0.524	2.23	4.3	13.3	961	0.482	3.5	3.34	13.2	2.32	
		汀線から130m	5.52	3020	8490	6480	2990	167000	0.504	2.39	4.41	16	864	0.482	2.82	0.752	7.93	2.42	
	汀線から150m	5.89	2780	6460	7610	3060	137000	0.693	3.25	6.42	43.3	1400	0.807	3.21	2.74	18.5	1.86		
		78 Se	85 Rb	88 Sr	95 Mo	105 Pd	111 Cd	115 In	118 Sn	121 Sb	133 Cs	137 Ba	139 La	140 Ce	157 Gd	195 Pt	208 Pb	209 Bi	
古座間味	森林土壌	汀線から30m	<0.0008	2	4890	0.0578	370	0.0505	<0.000008	0.203	0.0565	0.118	17.3	1.11	1.55	0.188	<0.000001	2.36	0.0139
		汀線から50m	3.99	3.13	4350	0.0963	342	0.0724	0.00499	0.166	0.0813	0.171	22.2	1.31	2.29	0.221	0.00817	2.64	0.0327
		汀線から100m	<0.0008	3.73	4490	0.211	330	0.0957	0.00375	0.405	0.108	0.181	27.1	1.6	2.57	0.252	<0.000001	3.37	0.0333
ニタ	森林土壌	汀線から50m	<0.0008	4.51	3890	0.0814	288	<0.000002	<0.000008	<0.000006	0.0445	0.246	31.6	1.33	2.53	0.238	0.0241	1.13	0.0215
		汀線から60m	<0.0008	4.35	3970	0.103	294	0.0421	<0.000008	0.126	0.316	0.239	29.5	1.21	2.49	0.204	0.0198	2.64	0.0279
		汀線から30m	<0.0008	11.8	3230	0.133	254	0.0912	0.0032	0.284	0.074	0.528	70.2	3.22	6.52	0.5	<0.000001	3.29	0.0353
	汀線から100m	<0.0008	4.18	4150	0.0896	304	0.0395	0.00304	0.0933	0.0552	0.199	26.3	1.28	2.31	0.218	0.0118	1.93	0.0204	
ウハマ	森林土壌	汀線から100m	2.81	11.1	4070	0.117	328	<0.000002	0.00309	0.0804	0.0739	0.381	132	3.92	5.38	0.42	0.0249	3.12	0.0153
		汀線から130m	<0.0008	12.6	3820	0.138	308	0.0368	0.00328	0.114	0.104	0.324	145	3.22	6.68	0.389	0.0296	3.73	0.0177
	汀線から150m	<0.0008	14	3170	0.153	252	0.115	0.00748	0.418	0.258	0.396	155	3.85	5.11	0.449	0.0201	6.3	0.0697	

## 2.8 調査・分析結果の評価及び海岸漂着物に含まれる有害物質対策の検討

### 2.8.1 調査・分析結果の評価

本事業で実施した情報収集及び有害物質の分析評価結果等から、実施項目別の評価結果を以下に整理した。

#### (1) 重金属元素の分析

過年度の西表島での調査において、漂着量の少ない南風見田で採取されたイソハマグリにおいても高濃度を示す元素が多く見られ、バックグラウンドとなる地質の影響を受けている可能性が示唆されたことから、本年度は砂及び森林土壌に着目し、調査を実施した。

漂着量の少ない南風見田の方が漂着量の多い野原先西よりもイソハマグリの内臓組織中濃度が高かった元素について、砂及び森林土壌における濃度を比較した。砂中の濃度を比較したところ、イソハマグリの内臓中の濃度関係と一致したのはBaのみであり、それ以外の元素はイソハマグリの内臓組織の濃度関係と相反した(図 2.8-1)。一方、森林土壌中の元素濃度を西表島と座間味島とで比較すると、Mgを除き西表島の方が座間味島よりも高濃度であることに加え、西表島は濃度のばらつきが大きい傾向にあった(図 2.8-2)。以上より、西表島において地質(森林土壌)の影響がプラスチックごみの影響に比べ大きい可能性が示唆された。また、過年度調査における主成分分析の結果、Crが座間味島の漂着量の多い海岸(ニタ)を特徴づける元素であり、地質におけるCr濃度は十分に小さいことから、これはプラスチックごみの影響を反映していると考えられた。一方、西表島においては漂着量が少ない海岸(野原崎)でCrが高濃度となり、これは地質由来のCr濃度が高く、プラスチック由来の汚染を反映していないことが考えられた。

以上より、プラスチック由来の汚染を調査するための試料採取地の条件として、①比較地点間の地質の元素組成が類似していること、②地質におけるプラスチック由来の元素の濃度が十分に低くばらつきが小さいことの2点が考えられた。

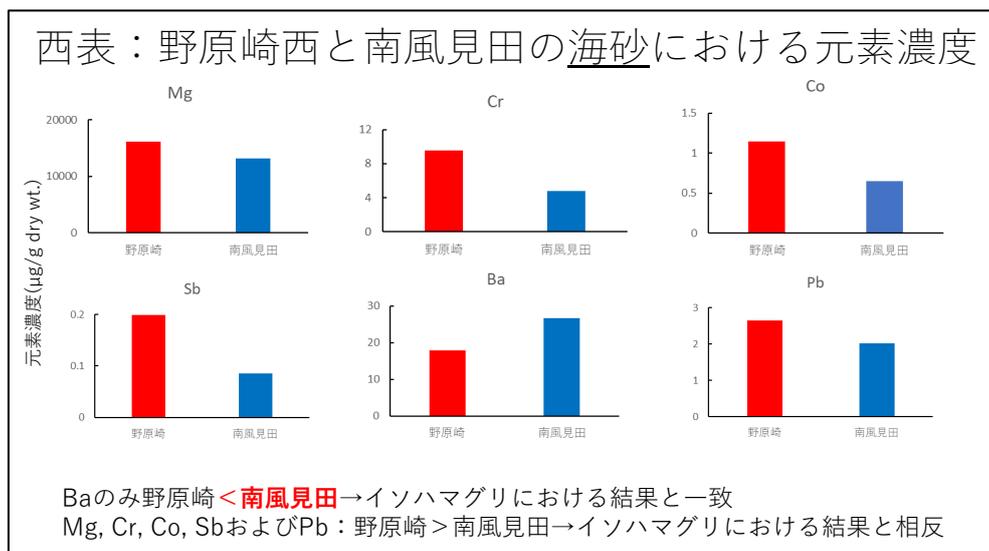


図 2.8-1 西表島で採取された砂中の元素濃度

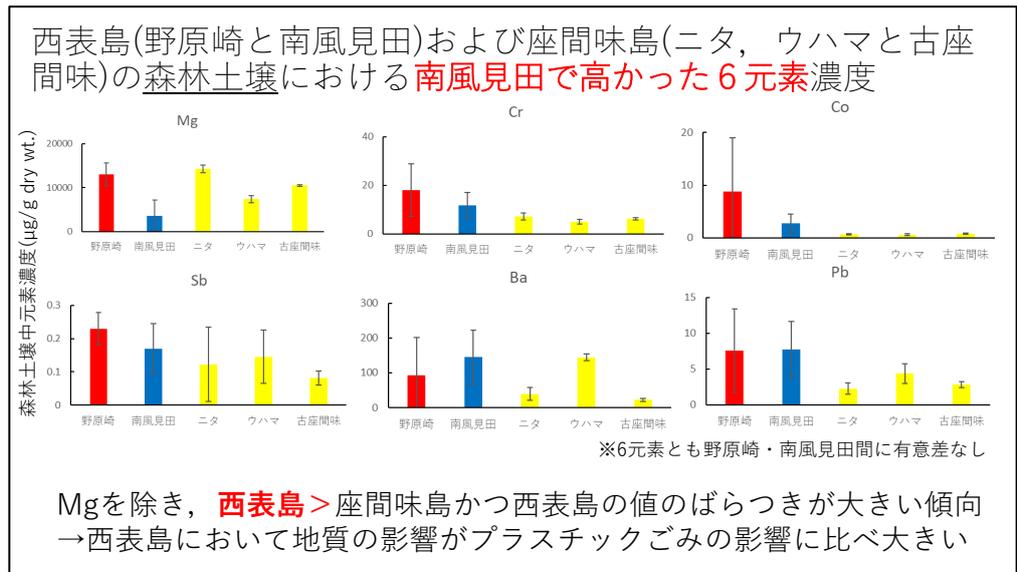


図 2.8-2 西表島及び座間味島で採取された森林土壌中の元素濃度

また、県内の他の離島において採取されたイソハマグリを用いて追加調査も実施した。与那国島においては、多くのプラスチックごみ由来の元素のイソハマグリ中濃度が、漂着量が少ない海岸よりも漂着量が多い海岸で高かった。また、Al と Mn 濃度は正の相関があることから、これら2元素は共通した起源をもつ可能性が示唆された(図 2.8-3)。

加えて、与那国島においては、同地点における季節変動について調査した。この結果、漂着量が多い時期(3月)に採取されたイソハマグリは、漂着量が少ない時期(10月)に採取されたイソハマグリよりも、プラスチックごみ由来元素の濃度が高く、汚染の影響が短期間で生物中濃度へ反映されることが示唆された(図 2.8-4)。その中には、弱酸性環境下での溶出性が高い元素(Al、Ba、Mn、Zn)が含まれ、プラスチックごみの集積場所で酸性の雨水により溶出した重金属元素が、波打ち際のイソハマグリの生息場所まで達し、イソハマグリを汚染している可能性が示唆された(図 2.8-5)。

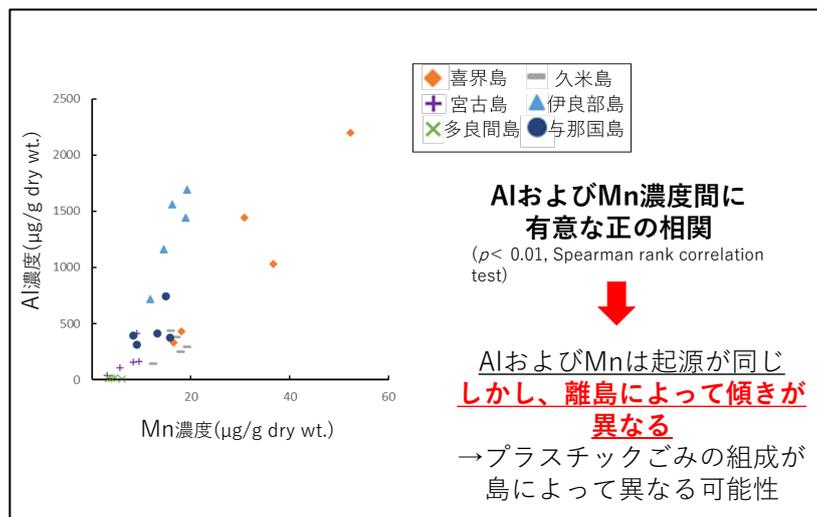


図 2.8-3 異なる離島で採取されたイソハマグリ中のAl、Mn濃度

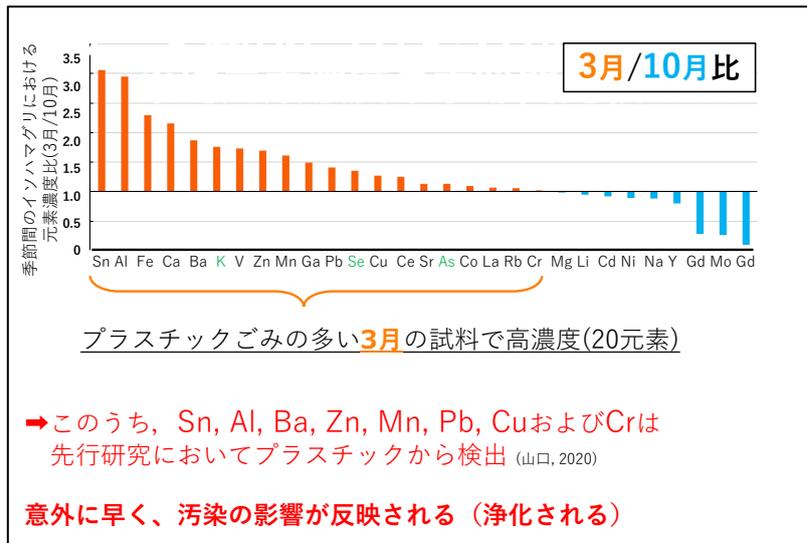


図 2.8-4 与那国島ナーマ浜で採取されたイソハマグリ中の元素濃度



図 2.8-5 プラスチックごみ集積場所から波打ち際への元素の移動イメージ

(2) 有機汚染物質等（東京農工大学より専門家会議開催時に情報提供）

前述の現地調査で得られた試料等を用いた有機化学物質の分析結果は、本報告書資料編1「沖縄海浜生物によるプラスチック経由の有害化学物質の吸収と代謝 東京農工大学 水川薫子、田中菜々、高田秀重」に記載した。本調査は、実環境中で採取された生物へのプラスチック添加剤（臭素系難燃剤）の移行・代謝に関する観測例を増やすこと、及び飼育実験によるヤドカリの臭素系難燃剤（BDE209）の代謝経路の解明とプラスチックからの移行の確認を目的として実施された。

まず、実環境中で採取された生物の分析結果については、ツノメガニは餌由来の影響が大きい一方で（図 2.8-6）、イソハマグリはプラスチック由来の BDE209 が主要な組成となっており、ろ過摂食及び消化管内のプラスチックに含まれる化学物質の影響が大きいことが示唆された（図 2.8-7）。また、西表島で採取されたオオナキオカヤドカリについては、漂着量の少ない南風見田で採取された1個体から高濃度の HBCD が、全個体から DBDPE が検出され、これは当該海岸付近に集積したプラスチックごみに由来する可能性が考えられた。また、野原崎西で採取された全個体からも高濃度の HBCD が検出された。なお、HBCD は座間味島で採取されたムラサキオカヤドカリからは検出されなかった物質である。また、座間味島及び西表島で採取されたオカヤドカリ類からは、環境試料で報告例のない同族異性体（BDE201、175、146、133/136、165、80）や代謝産物として知られる同族異性体（BDE202、178/179+187）が検出された。一方、一般に生物中・環境中で検出される同族異性体（BDE47）は検出されなかった。このことから、ヤドカリはプラスチックの影響を評価しやすい生物であることが示唆された。ヤドカリによるプラスチック添加剤の吸収・代謝が示唆され、この代謝経路に種間差は確認されなかった。

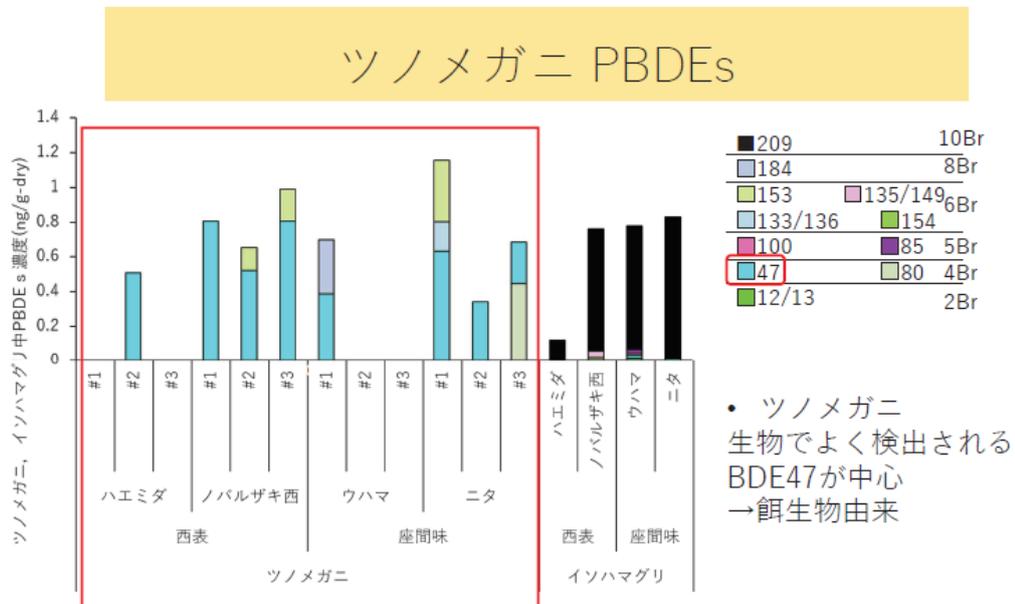


図 2.8-6 西表島で採取されたツノメガニ中の PBDEs 濃度

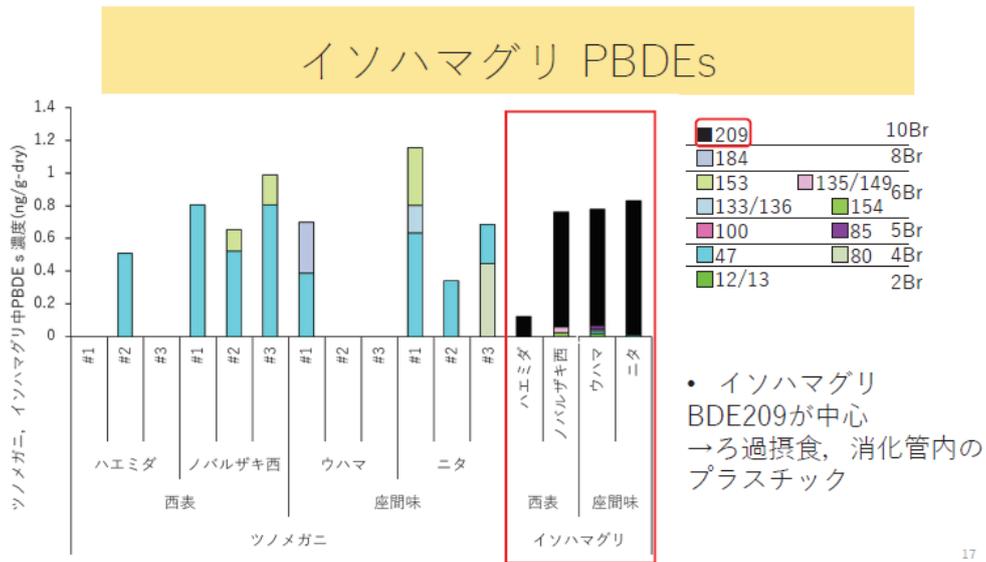


図 2.8-7 西表島で採取されたイソハマグリ中 PBDEs 濃度

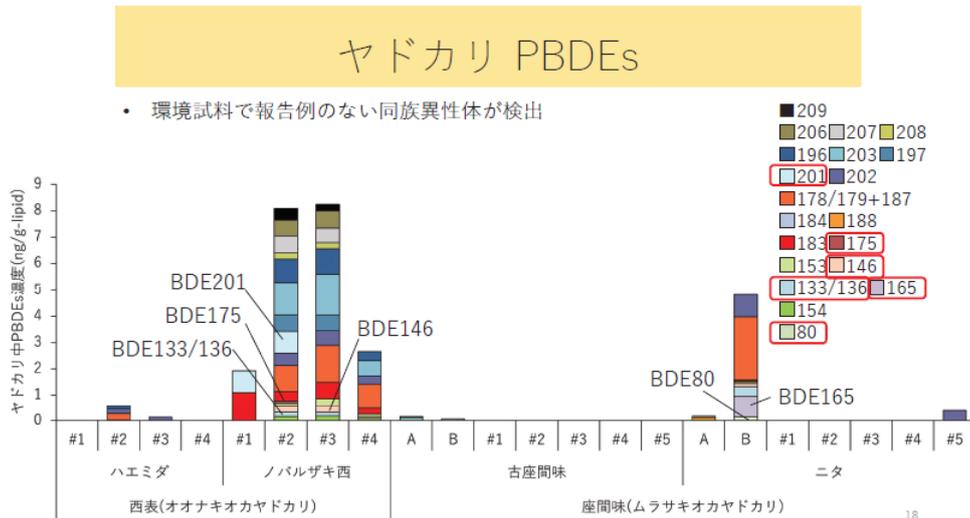


図 2.8-8 座間味島及び西表島で採取されたオカヤドカリ中の PBDEs 濃度

加えて、オカヤドカリにおける BDE209 の代謝経路を解明するため、曝露実験を実施した。オカヤドカリに餌と PBDE の標準物質を混合して投与した実験では、BDE209 は体内でパラ位、オルト位、メタ位の優先順位で脱臭素化されることが示唆された。

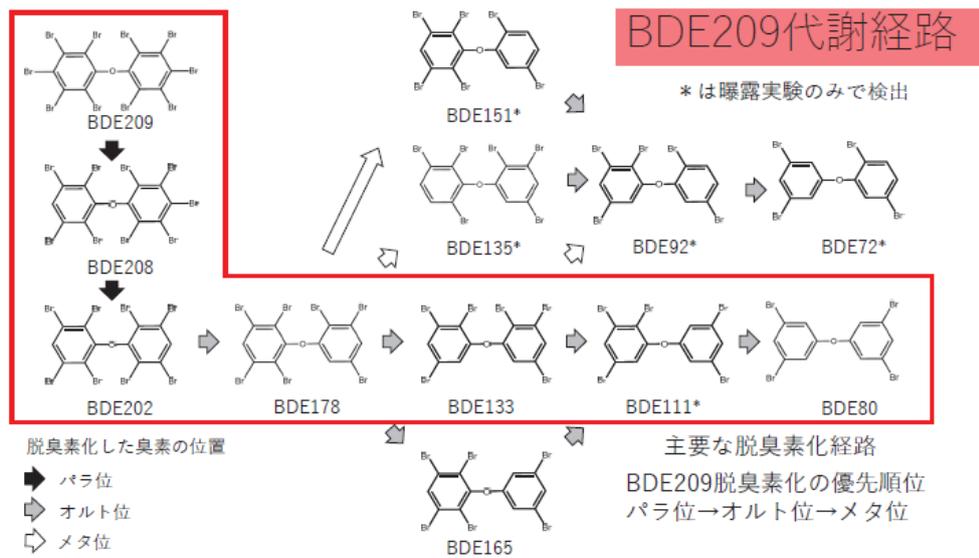


図 2.8-9 本業務の結果解明されたオカヤドカリ類における BDE209 の代謝経路

また、BDE209 を含有するプラスチックをムラサキオカヤドカリへ投与した実験では、プラスチックからオカヤドカリへ BDE209 が移行し、肝臓に蓄積することが確認された。また、プラスチックに含有される BDE209 の肝臓への吸収割合は平均 0.59%であり、これは標準物質を直接曝露した場合の約 1/2 の吸収割合であった。

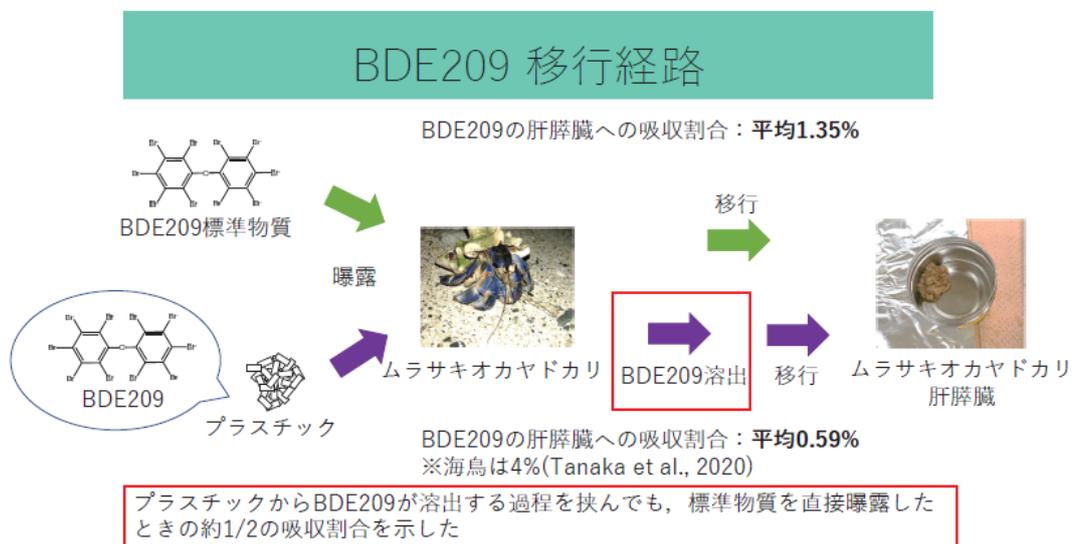


図 2.8-10 ムラサキオカヤドカリにおける BDE209 の移行経路

### (3) 海岸漂着物から溶出する有害化学物質の潜在的ポテンシャルの評価

本項については、防衛大学校・山口名誉教授にご協力頂いており、本報告書資料編 3 の「～令和 2（2020）年度調査報告書～＜廃プラスチック汚染で揺らぐ海の環境安全＞外来海洋ゴミの有害性のリスク評価と海洋・沿岸水域の自然環境保全システムの確立に向けて 防衛大学校名誉教授 山口晴幸」、資料 4「～令和 2（2020）年度調査報告書～海岸漂着物から溶出する有害化学物質の影響評価検討＜廃プラスチック汚染で揺らぐ海の環境安全＞外来海洋ゴミの有害性のリスク評価と海洋・沿岸水域の自然環境保全システムの確立に向けて 防衛大学校名誉教授 山口晴幸」に記載した。

沖縄県の海岸は、近隣国からの海洋越境ごみが多く漂着し、漂着量は増加傾向にある。海岸漂着物は、マングローブの根に絡まることで樹木が弱体化するなど、海浜植生の交配・衰退のリスクがある他、漂着物を海岸に放置すると、プラスチックから重金属元素が溶出し、漂着物の下砂を汚染するリスクがある。また、溶出量は浜焼により増加することも確認され、浜焼きの禁止を徹底することも重要である（図 2.8-11）。

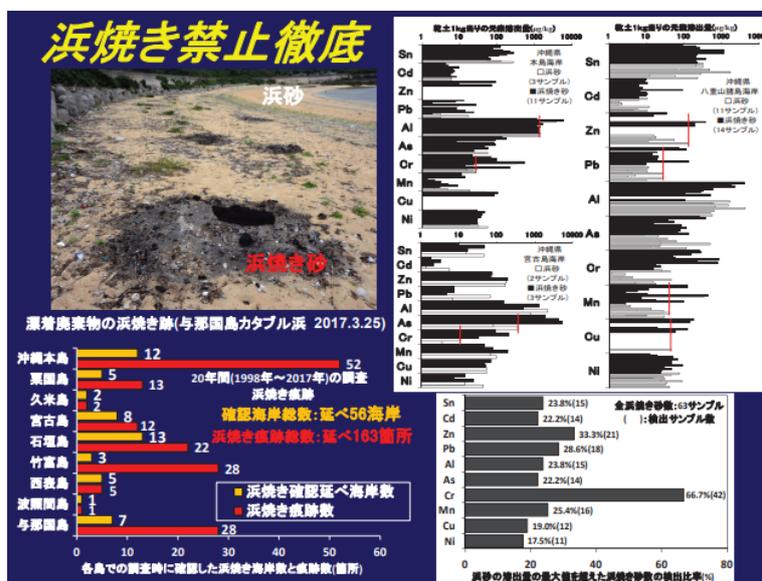


図 2.8-11 浜焼きによる元素溶出量の変化

また、沖縄県 11 島 57 海岸における調査では、関東沿岸の約 3.6 倍のマイクロプラスチックが確認され（図 2.8-12）、そのうち約 50%を発泡スチロール片が、約 10%をレジンペレットが占めた。特に発泡スチロール片が占める割合は、関東沿岸よりも多い（図 2.8-13）。発泡スチロールは、主に漁業用ブイや魚箱に由来すると考えられ、漁業用ブイのむき出し使用の見直し・禁止・規制や、構造的技術改善が早急に求められる。また、レジンペレットについては、1993 年に日本プラスチック工業連盟により「樹脂ペレット漏出防止マニュアル」が策定されているものの、未だに海岸に大量漂着していることから、対策の抜本的な再点検が必要である。

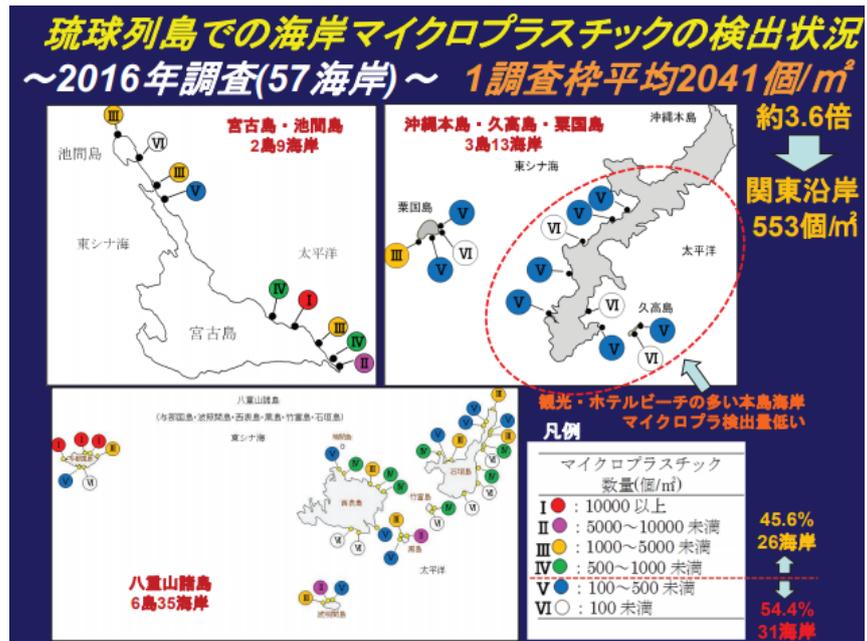


図 2.8-12 琉球列島における海岸マイクロプラスチックの検出状況

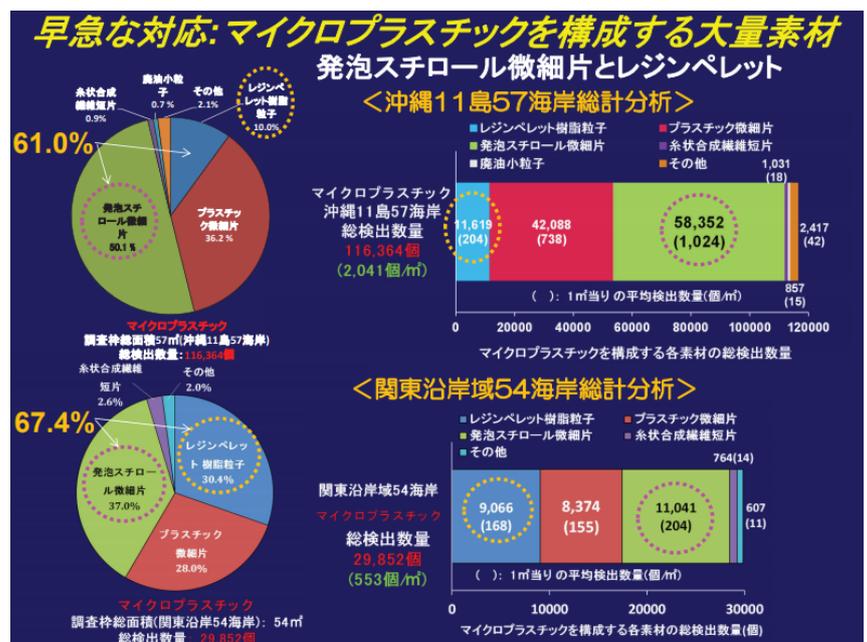


図 2.8-13 マイクロプラスチックの組成

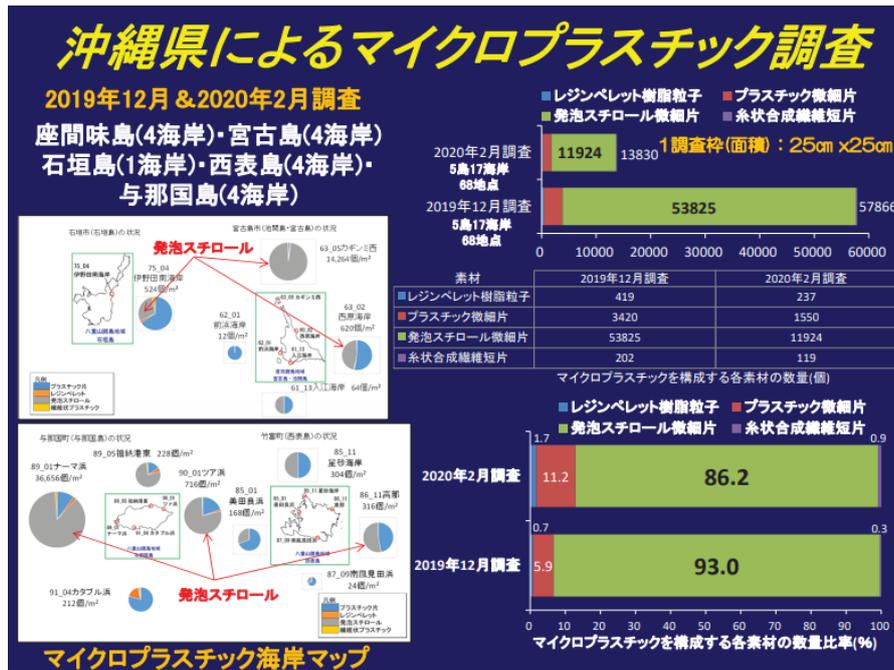


図 2.8-14 平成 30 年度及び令和元年度の調査結果

本事業においては、生態系に配慮した環境保全システムの検討のため、漂着物モニタリング調査、マイクロプラスチック調査、生物への影響調査、有害化学物質の溶出リスク調査を実施してきた。今後必要とされる取組みとして、下記 4 点が提案された。

- ・ 影響の大きい海岸・沿岸域を選定・指定し、優先的な回収撤去事業やモニタリング調査の強化を実施
- ・ 生態系に配慮した保全システムの開発に向けた底生生物の摂食リスク調査の補強
- ・ 沖縄島嶼をカバーするマイクロプラスチック調査と潜在的溶出ポテンシャルの広域評価
- ・ 調査成果・知見を県民・国内・海外へ積極的に情報発信・共有し、連携を図る

## 2.8.2 想定される海岸漂着物及びマイクロプラスチックの対策について

### (1) 評価結果の概要と今後の対応

本年度の評価結果の概要と専門家会議において提案された今後の対応について、下表に示す。

表 2.8-1 評価結果の概要と提案された今後の対応

項目	評価結果の概要	提案された今後の対応
(1) 重金属元素の分析	<p>西表島においては漂着量が少ない海岸の方が多く海岸よりも生物中元素濃度が高い場合があった。地質の元素濃度を調査したところ、西表島においては、地質（森林土壌）の影響がプラスチックごみの影響に比べ大きい可能性が示唆され、プラスチック由来の汚染を調査するための試料採取地の条件としては、①比較地点間の地質の元素組成が類似していること、②地質におけるプラスチック由来の元素の濃度が十分に低くばらつきが小さいことの2点が考えられた。</p> <p>また、委員が実施した予備的な調査によれば、与那国島の漂着量が多い海岸において、生物中元素濃度の季節変動を調査したところ、漂着量が多い時期（3月）は漂着量が少ない時期（10月）よりも生物中元素濃度が高く、漂着物による汚染の影響が短期間で生物中濃度へ反映される可能性が示唆された。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 調査対象物へ地質（海岸砂、森林土壌）を追加、ただし地質に混入しているMPの影響を考慮する。</li> <li>・ 漂着量が多い海岸・少ない海岸での生物中元素濃度の季節変動調査。</li> <li>・ 生態学と組み合わせたアプローチ（例えば、繁殖期における抱卵個体数と元素濃度の関係性調査等）</li> </ul>
(2) 有機汚染物質の分析	<p>漂着量の多い海岸と同様に漂着量の少ない海岸においても、一部の生物中からプラスチック添加剤が検出され、漂着量が少ない海岸においても海岸の一部に集積したプラスチックに由来する汚染が示唆された。また、オカヤドカリは一般に生物中・環境中で検出される物質が検出されず、プラスチックの影響を評価しやすい生物であることが示唆された。</p> <p>また、オカヤドカリにプラスチック添加剤である臭素系難燃剤（BDE209）を吸着させたプラスチックを投与した実験では、代謝経路の一部が解明され、代謝により毒性が上がった可能性が確認された。生態系に取り込まれたのが分かったことで、生物濃縮等を通じて、いずれ人間の健康にも影響する可能性を確認。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 他地域でのオカヤドカリの調査例を増やす、対象生物を拡大することで、プラスチック由来の化学物質の生物への移行を証明する。</li> <li>・ オカヤドカリと同様の調査研究が可能な他の生物を探すことも重要。</li> </ul>

<p>(3)海岸漂着物から溶出する有害化学物質の潜在的ポテンシャルの評価</p>	<p>漂着物を海岸に放置すると、プラスチックから重金属元素が溶出し、漂着物の下砂を汚染するリスクがある。また、溶出量は浜焼により増加することが確認された。沖縄の海岸は関東沿岸よりもマイクロプラスチックが多く、そのうち発泡スチロール片が約50%を占めた。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 漂着量、溶出ポテンシャル、生物中有害化学物質濃度、生物中マイクロプラスチックを同地点で調査し、関係性を検討</li> <li>・ 浜焼きの禁止の徹底</li> <li>・ 漁業用ブイのむき出し使用の見直し・禁止・規制や、構造的技術改善</li> <li>・ 影響の大きい海岸・沿岸域を選定・指定し、優先的な回収撤去事業やモニタリング調査の強化を実施</li> <li>・ 生態系に配慮した保全システムの開発に向けた底生生物の摂食リスク調査の補強</li> <li>・ 沖縄島嶼をカバーするマイクロプラスチック調査と潜在的溶出ポテンシャルの広域評価</li> <li>・ 調査成果・知見を県民・国内・海外へ積極的に情報発信・共有し、連携を図る</li> </ul>
<p>その他の指摘</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本事業の成果を公表し、回収に結び付けることが重要である。</li> <li>・ 普及啓発は小学校高学年～大学生の取組が中心であり、大人に対しての啓発活動は少ない。即効性のある対策を練る為に、行政に対して科学的根拠に基づいた情報提供や、対策協議会の設立も近々の問題解決には重要である。</li> <li>・ 海岸漂着物の問題は、民間団体やボランティアに解決できるレベルでなく、問題解決のためには市町村が主体的に回収処理に取り組む必要がある。その際には学識経験者の意見やデータが重要になるので、行政の関係者を集めて講演会を行い、方向性を定めて協議会を設立するなどが必要になる。</li> </ul>	

## (2) 海岸漂着物及びマイクロプラスチックの対策

本項では、以下の項目について、海岸漂着物・マイクロプラスチックそれぞれの対策等を検討する。

- ・ 状況把握（モニタリング）手法の実施方針
- ・ 普及啓発の実施方針
- ・ 回収処理に係る実施計画の策定と具体的手法
- ・ 発生抑制対策に係る実施計画の策定と具体的手法
- ・ 普及啓発に係る実施計画の策定と具体的手法

### ① 状況把握（モニタリング）手法の実施方針

- ・ 事業成果の活用

本事業では座間味島と西表島を対象地域として海岸漂着物に含まれる有害物質の影響について検討した。これらの成果の一部は、座間味島と西表島以外の地域についても照らし合わせて有害物質の影響を検討・推測できる。したがって、平成 22 年度より沖縄県が実施してきた海岸漂着物及びマイクロプラスチックのモニタリング調査（県内 23 海岸）を今後も継続し、漂着状況を把握する必要があると考えられる。また、事業の成果を紹介するセミナー等を開催し、行政関係者と問題意識を共有することで、市町村による海洋漂着物の回収処理を促進することが必要である。

- ・ 調査研究の継続

本事業による重金属元素や有機汚染物質の分析結果より、概ね漂着量の多い海岸の方が少ない海岸に比べ、化学物質の濃度が高い結果が得られた。また、同じ海岸でも、漂着量が多い時期の方が少ない時期よりも生物中の元素濃度が高い可能性が示され、他の海岸での追加調査の必要性が指摘された。また、対象生物種の拡大や、生態影響に関する調査、漂着物モニタリング調査との連携（漂着物量、砂中マイクロプラスチック、生物中マイクロプラスチックの関連性の調査）の必要性も指摘された。

重金属元素に関しては、プラスチック由来の汚染を調査するための試料採取地の条件として、地質におけるプラスチック由来の元素の濃度が十分に低くばらつきが小さいことが挙げられ、今後は地質の調査も追加実施する必要がある。

### ② 普及啓発の実施方針

本事業の成果を公表し、回収に結び付けることが重要である。従来の普及啓発は小学校高学年～大学生の取組が中心であり、大人に対しての啓発活動は少ない。即効性のある対策を練る為に、行政に対して科学的根拠に基づいた情報提供や、対策協議会の設立も近々の問題解決には重要である。

また、海岸漂着物の問題は、民間団体やボランティアに解決できるレベルでなく、問題解決のためには市町村が主体的に回収処理に取り組む必要がある。その際には学識経験者の意見やデータが重要になるので、行政の関係者を集めて講演会を行い、方向性を定めて協議会を設立するなどが必要になる。

### ③ 【令和元年度の検討結果】回収処理に係る実施計画の策定と具体的手法

- ・ 海岸漂着物を回収する海岸の選定基準(1)  
海岸漂着物は、長期間放置すると海岸環境へ有害物質を溶出させる恐れがあることから、漂着量の多い時期に回収を推進する、自然度の高い海岸で優先的に回収する等の対策方針の策定が必要である。
- ・ 海岸漂着物を回収する海岸の選定基準(2)  
本事業により海岸漂着物由来の重金属元素の潜在的溶出量を推計することが可能となった。海岸漂着物のモニタリング調査結果等を活用し、海岸毎に潜在的溶出量を推計・評価することにより、その結果を回収の優先度を判断するための根拠の一つとすることができる。
- ・ 回収する海岸漂着物の優先順位  
発泡スチロールについては劣化してマイクロプラスチックとなり易い、化学物質の吸着性が高い等の問題がある。更には、本年度に実施したマイクロプラスチックのモニタリング調査から、宮古諸島・八重山諸島地域においては、マイクロプラスチックの大部分が発泡スチロール片で構成されていたことから、海岸清掃時には、発泡スチロールを優先的に回収する等の対策が必要と判断される。

本専門家会議資料 2-4 より、代表的な海岸漂着物であるプラスチック類、発泡スチロール類、大型プラスチックブイ、球管類の 4 種それぞれの重金属元素の潜在的溶出量を比べると、元素の種類によって違いはあるものの、概ね発泡スチロール類が最も多く、次いで球管類（電球・蛍光灯）、大型プラスチックブイ、プラスチック類の順となっている。

海岸清掃時に回収する海岸漂着物の種類に優先順位を付ける場合、その判断の根拠を有害物質の影響とすれば、優先順位は発泡スチロール類、球管類の順となる。通常は、球管類の漂着量は比較的少ないが、この考え方に従うと優先順位は高くなる。なお、球管類は時には大量に漂着する場合もあるため、大量漂着した場合に優先順位を上げるという方針も考えられる。

### ④ 【令和元年度の検討結果】発生抑制対策に係る実施計画の策定と具体的手法

- ・ 発泡スチロール対策の必要性  
本事業を実施したことにより、発泡スチロール及びマイクロプラスチックとなった発泡スチロール片の影響が比較的大きいと判断された。漂着する発泡スチロールの大部分は漁業用発泡スチロールブイであると判断される事から、沖縄県内における漁業用発泡スチロールブイの流出対策（例えば県漁連への協力要請）や、沖縄県が平成 26 年度より継続実施している東アジア地域漂着ごみ対策交流事業（中国・台湾

が参加)を通じた近隣諸国への情報発信や協働対策が必要である。

⑤ 【令和元年度の検討結果】普及啓発に係る実施計画の策定と具体的手法

- 海岸漂着物に含まれる有害物質の普及啓発  
海岸漂着物に含まれる有害物質の影響、対策について広く関心を集めることは、海岸漂着物の発生抑制対策や海岸清掃活動の拡がりにつながることを期待される。したがってこの問題の普及啓発を進めていく必要があるが、県内海岸における有害物質の影響をいうテーマは、風評被害を生みやすいという課題もあるため、風評被害を生まずに普及するための手法及び工夫の検討が必要である。例えば、学校や社会人向けの環境教育プログラムの作成と活用を普及啓発の手段とすれば、対象者に対し丁寧で正確な説明が可能となり、理解を得やすいことから、有効であると判断される。
  
- マイクロプラスチックの簡易調査の普及が必要  
平成29年度事業で検討したマイクロプラスチックの簡易的な調査手法については、小中学校の環境学習でも活用できる手法であるため、県内で幅広く普及すれば、マイクロプラスチックの分布状況について県内広範囲の情報を得ることにつながり、それはマイクロプラスチックや有害物質対策を進める上での貴重な情報となる。

## 2.9 【参考】有機汚染物質の分析方法

残留性有機汚染物質の分析は、ガスクロマトグラフィー質量分析法（GC-MS/MS）あるいはガスクロマトグラフィー電子捕獲型検出法（GC-ECD）により実施する（図 2.9-1）。

ガスクロマトグラフィー（GC）は、クロマトグラフ法の一つに分類され、固定相に対する気体の吸着性あるいは分配係数の差異等を利用し、成分を分離する手法である。ガスクロマトグラフィー質量分析法（GC/MS）は、GC で分離した成分の検出に質量分析計を用いることで、質量情報から成分の定性及び定量を行うことが可能である

（<http://www.mst.or.jp/method/tabid/132/Default.aspx> より）。

また、ガスクロマトグラフィー電子捕獲型検出法（GC-ECD）の原理については、 $^{63}\text{Ni}$  の  $\beta$  線を放射する物質を収めたセルと、空間に突出した電極との間に電極をプラスとした低い電位がかけられており、キャリアーガスの窒素 ( $\text{N}_2$ ) がセルに流入すると  $\beta$  線でイオン化され  $\text{N}_2^+$  と  $e^-$  (電子) となり、それぞれ電極で検出される。ここにカラムから PCB やトリクロロエチレンのような有機ハロゲン化合物の蒸気がセルに入ると、これらの親電子性化合物 (電子を捕集しやすい化合物) は  $e^-$  を吸収し負の分子イオンとなる。この分子イオンは  $e^-$  に比べて質量が大きい為この低い電位勾配では電極に到達するのに時間がかかりイオン電流は減少する。これは負のピークであるので、極性を逆にして正のピークとして検出する。炭化水素類は ECD にはほとんど応答しないが、ハロゲン、リン、ニトロ基などを含む化合物を高感度に検出することができる

（<http://www.ibieng.co.jp/analysis-solution/x0012/> より）。

分析対象物質は PCBs 及び臭素系難燃剤 (PBDEs、HBCD、DBDPE、TBB、BTBPE) とする。

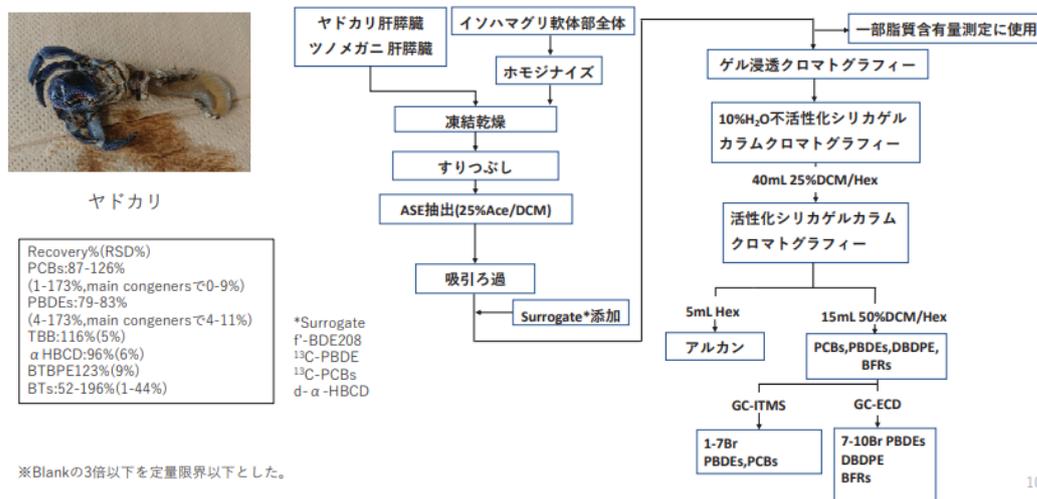


図 2.9-1 残留性有機汚染物質の分析方法

## 2.10 【参考】有害物質の基準値等について

表 2.10-1 Pb 鉛に関する国内外の基準値等

項目		内容
国内	食品中の基準値 (食品衛生法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農産物（農薬の残留基準値として設定） トマト、きゅうり等：1.0mg/kg ほうれんそう、りんご：5.0mg/kg</li> <li>・ミネラルウォーター類：0.05mg/L以下 (厚生省,1959)</li> </ul>
	水道水質基準 (水道法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉛及びその化合物：0.01mg/L以下 (厚生労働省,2003)</li> </ul>
	環境基準 (環境基本法他)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・公共用水域の水質汚濁に係る環境基準：0.01mg/L (環境庁,1971)</li> <li>・地下水の水質汚濁に係る環境基準：0.01mg/L (環境庁,1997)</li> <li>・土壌の汚染に係る環境基準：0.01mg/L (環境庁,1991)</li> </ul>
海外	CODEX（食品の国際規格）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品中の最大基準値（Codex,1995） 熱帯性・亜熱帯性果実：0.1mg/kg 果菜類：0.05mg/kg 魚類：0.3mg/kg</li> </ul>
	EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品中の最大基準値（EU,2016） 魚の筋肉・頭足類（内臓を除く）：0.30mg/kg 甲殻類（腹部及び脚の筋肉）：0.50mg/kg 二枚貝：1.50mg/kg</li> </ul>
	FAO/WHO合同食品添加物 専門家会議（JECFA）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・暫定耐容週間摂取量（PTWI）（JECFA,1986-2010） 25<math>\mu</math>g/kg bw/1週間（体重50kgであれば1週間で1250<math>\mu</math>g） (2010年の会議で、鉛に関してPTWIは、健康保護の指標とみなせないとされ撤廃した)</li> </ul>

表 2.10-2 As ヒ素に関する国内外の基準値等

項目		内容
国内	食品中の基準値 (食品衛生法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・もも、なつみかん、いちご、ぶどう等：1.0ppm</li> <li>・日本なし、りんご、なつみかんの外果皮：3.5ppm</li> <li>・ミネラルウォーター類：0.05mg/L以下</li> </ul> (厚生省,1959)
	水道水質基準 (水道法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒ素及びその化合物：0.01mg/L以下</li> </ul> (厚生労働省,2003)
	環境基準 (環境基本法他)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・公共用水域及び地下水の水質汚濁に係る環境基準：0.01mg/L (環境庁,1971a：環境庁,1997)</li> <li>・土壌の汚染に係る環境基準：0.01mg/L (環境庁,1991)</li> </ul>
海外	CODEX (食品の国際規格)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品及び飼料中の汚染物質及び毒素の一般規格 (Codex,1995)</li> </ul> 精米：0.2mg/kg、玄米：0.35mg/kg (無機ヒ素) ナチュラルミネラルウォーター：2mg/kg (総ヒ素)
	EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品中の汚染物質最大濃度 (EU,2006)</li> </ul> 精米：0.20mg/kg、玄米0.25mg/kg 乳幼児食品向けの米：0.10mg/kg
	FAO/WHO合同食品添加物 専門家会議 (JECFA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・暫定耐容週間摂取量 (PTWI) (JECFA,1988-2010)</li> </ul> 15 $\mu$ g/kg bw (体重50kgであれば1週間で750 $\mu$ g) (2010年の会議で、無機ヒ素に関してPTWIは、健康保護の指標とみなせないとされ撤廃した)

表 2.10-3 Cd カドミウムに関する国内外の基準値等

項目		内容
国内	食品中の基準値 (食品衛生法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 玄米・精米：0.4mg/kg</li> <li>・ ミネラルウォーター類：0.003mg/L以下 (厚生省,1959)</li> </ul>
	水道水質基準 (水道法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 0.03mg/L以下 (厚生労働省,2003)</li> </ul>
	環境基準 (環境基本法他)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 公共用水域及び地下水の水質汚濁に係る環境基準：0.003mg/L (環境庁,1997)</li> <li>・ 土壌の汚染に係る環境基準：0.01mg/L (環境庁,1991)</li> </ul>
	食品安全委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 暫定耐容週間摂取量 (PTWI) (食品安全委員会,2009) 7<math>\mu</math>g/kg bw (体重50kgであれば1週間で350<math>\mu</math>gが上限)</li> </ul>
海外	CODEX (食品の国際規格)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 食品及び飼料中の汚染物質及び毒素の一般基準 (Codex,1995) 葉菜類：0.2mg/kg 海産二枚貝 (カキ・ホタテを除く)：2mg/kg 頭足類 (内臓を除く)：2mg/kg</li> </ul>
	EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 食品中の汚染物質最大濃度 (EU,2006) 魚肉：0.050~0.25mg/kg (魚種により違う) 甲殻類 (腹部及び脚、はさみの筋肉)：0.50mg/kg 二枚貝、頭足類 (内臓を除く)：1.0mg/kg 健康食品 (乾燥した海藻、海藻由来製品又は乾燥した二枚貝を主な原料とするもの)：3.0mg/kg</li> </ul>
	FAO/WHO合同食品添加物 専門家会議 (JECFA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 暫定耐容月間摂取量 (PTMI) (JECFA,2011) 25<math>\mu</math>g/kg bw (体重50kgであれば1カ月で1250<math>\mu</math>gが上限)</li> </ul>

表 2.10-4 PCDD、PCDF、Co-PCB ダイオキシン類に関する国内外の基準値等

項目		内容
国内	環境基準 (ダイオキシン類対策特別措置法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境基準</li> <li>大気：年平均値0.6pg-TEQ /m<sup>3</sup>以下</li> <li>水質：年平均値1pg-TEQ /L以下</li> <li>底質：150pg-TEQ /g以下</li> <li>土壌：1,000pg-TEQ /g以下（環境庁,1999a）</li> </ul>
	環境庁	<ul style="list-style-type: none"> <li>・暫定耐容日間摂取量（TDI）（環境庁,1999b） （PCDD+PCDF+Co-PCB）</li> <li>4pgTEQ/kg bw</li> </ul>
海外	CODEX（食品の国際規格）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学物質による食品汚染を低減するための排出源対策に関する実施規範（Codex,2001）</li> <li>・ダイオキシン及びダイオキシン様PCBによる食品・飼料の汚染の防止及び低減のためのコーデックス実施規範（Codex,2006）</li> </ul>
	EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品中の汚染物質最大濃度（EU,2006） （PCDD+PCDF+Co-PCBのTEQ換算値）</li> <li>牛科の動物、羊：4.0pg/g fat</li> <li>豚：1.25pg/g fat</li> <li>魚類の筋肉及び水産製品：6.5pg/g ww</li> <li>野生のウナギの筋肉及びその製品：10.0pg/g ww</li> </ul>
	FAO/WHO合同食品添加物 専門家会議（JECFA）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・暫定耐容月間摂取量（PTMI）（JECFA,2002） （PCDD+PCDF+Co-PCB）</li> <li>70pgTEQ /kg bw</li> </ul>

表 2.10-5 PBDEs ポリブロモジフェニルエーテル類に関する国内外の基準値等

項目		内容
国内	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第一種特定化学物質</li> <li>TeBDE、PeBDE、HxBDE、HpBDE</li> <li>・ 一般化学物質</li> <li>DeBDE、MBDE、DiBDE、TrBDE</li> </ul>
	特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（化管法）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第一種特定化学物質</li> <li>DeBDE</li> </ul>
海外	FAO/WHO合同食品添加物専門家会議（JECFA）	・ 暫定耐容月間摂取量（PTMI）等を設定していない。
	オランダ	0.26ng/kg bw/day(RIVM,2006)