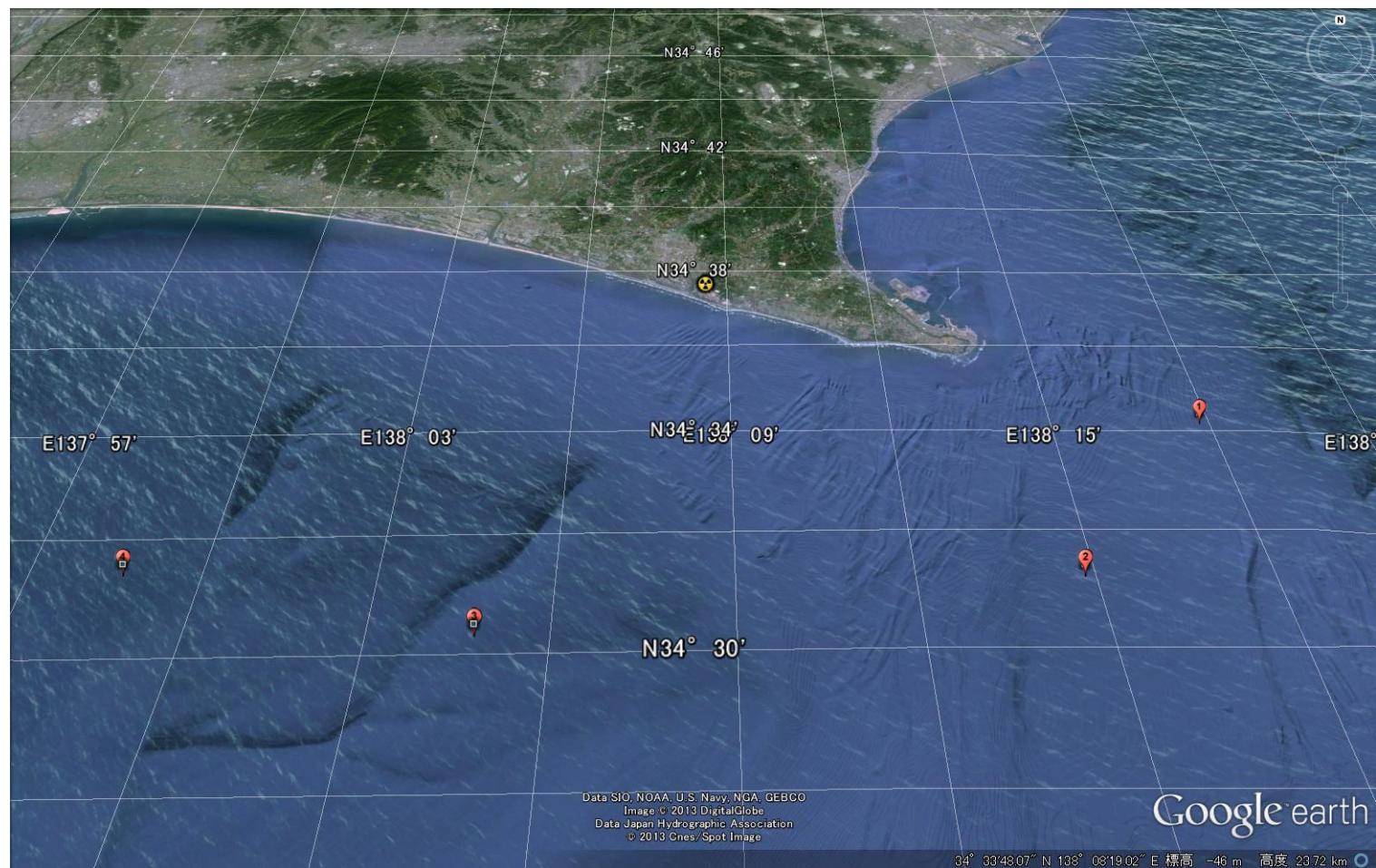


PROLOGUE



2013.05.12

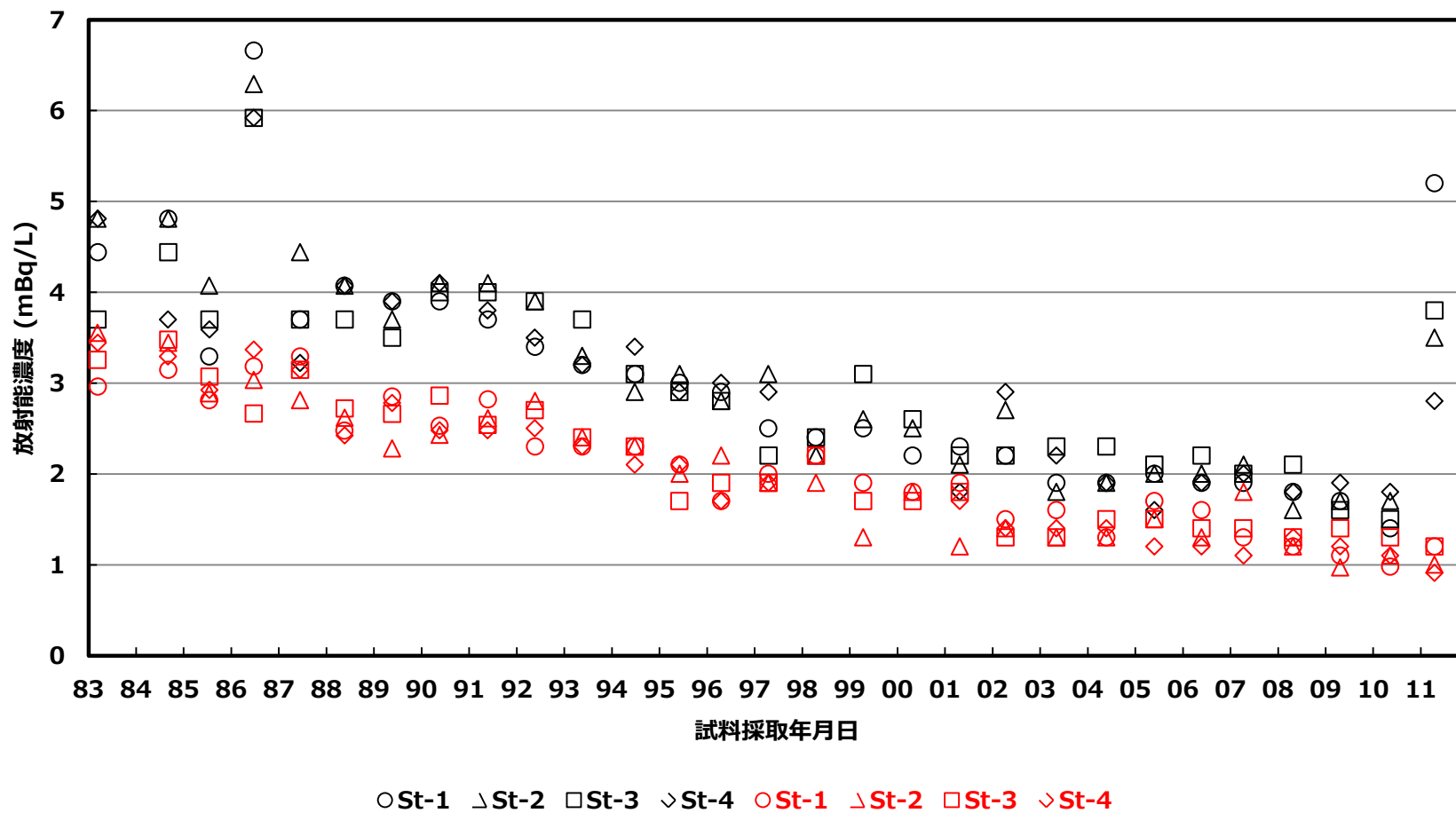
(公財)海洋生物環境研究所による静岡海域における 放射能調査の試料採取地点



(公財)海洋生物環境研究所による海洋放射能調査



静岡海域表層水中の ^{137}Cs および ^{90}Sr 濃度



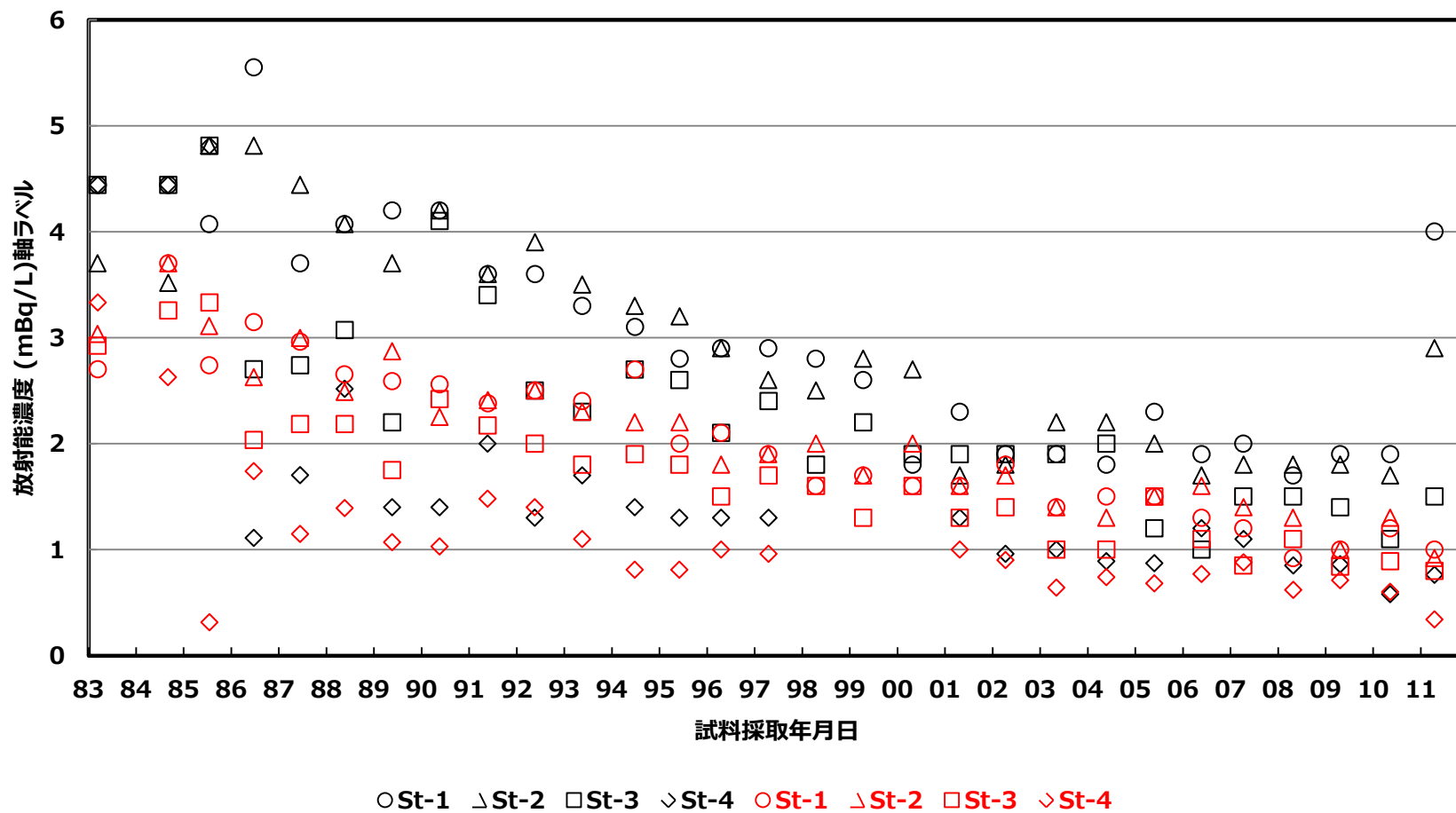
海洋とお魚の放射能

公益財団法人

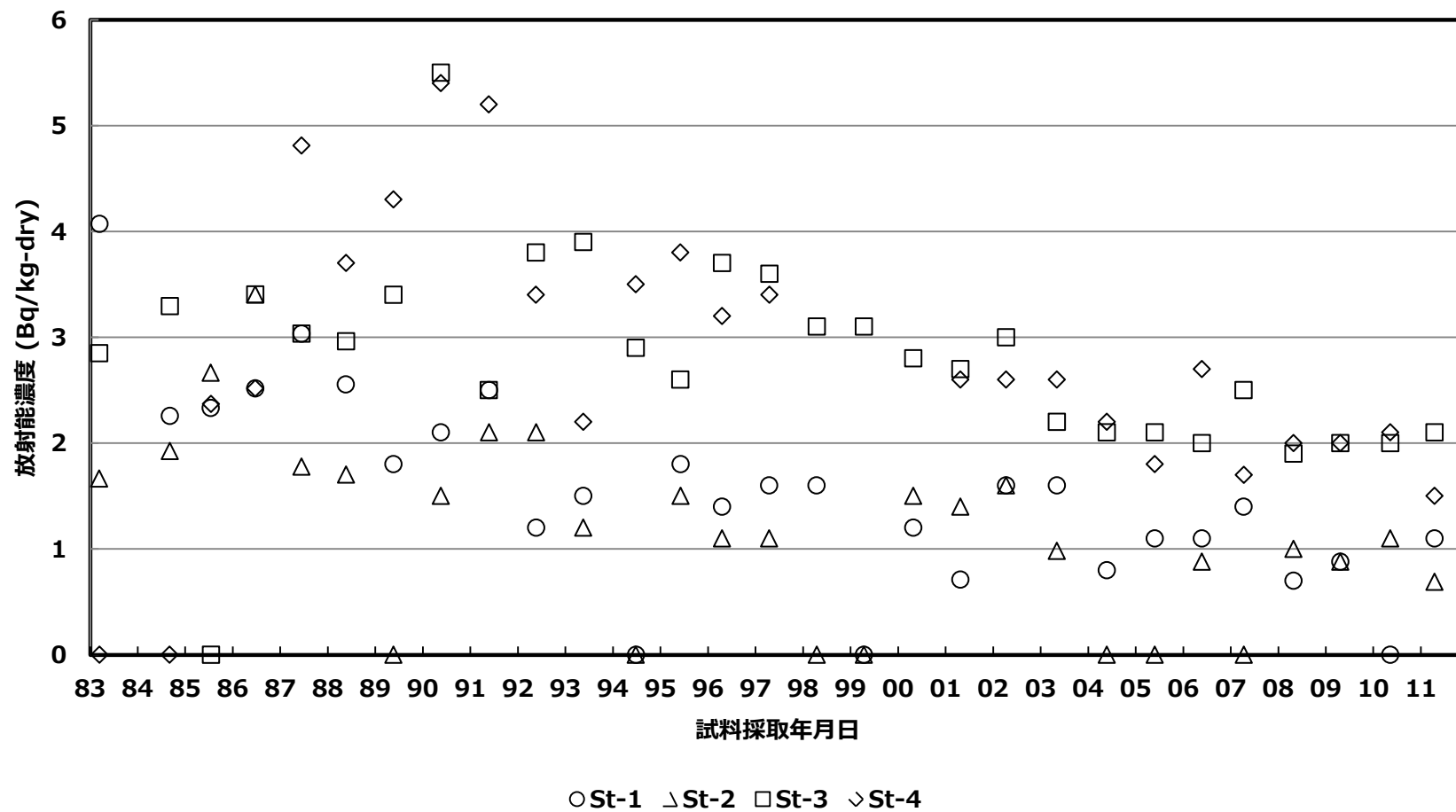
海洋生物環境研究所

研究参与 渡部輝久

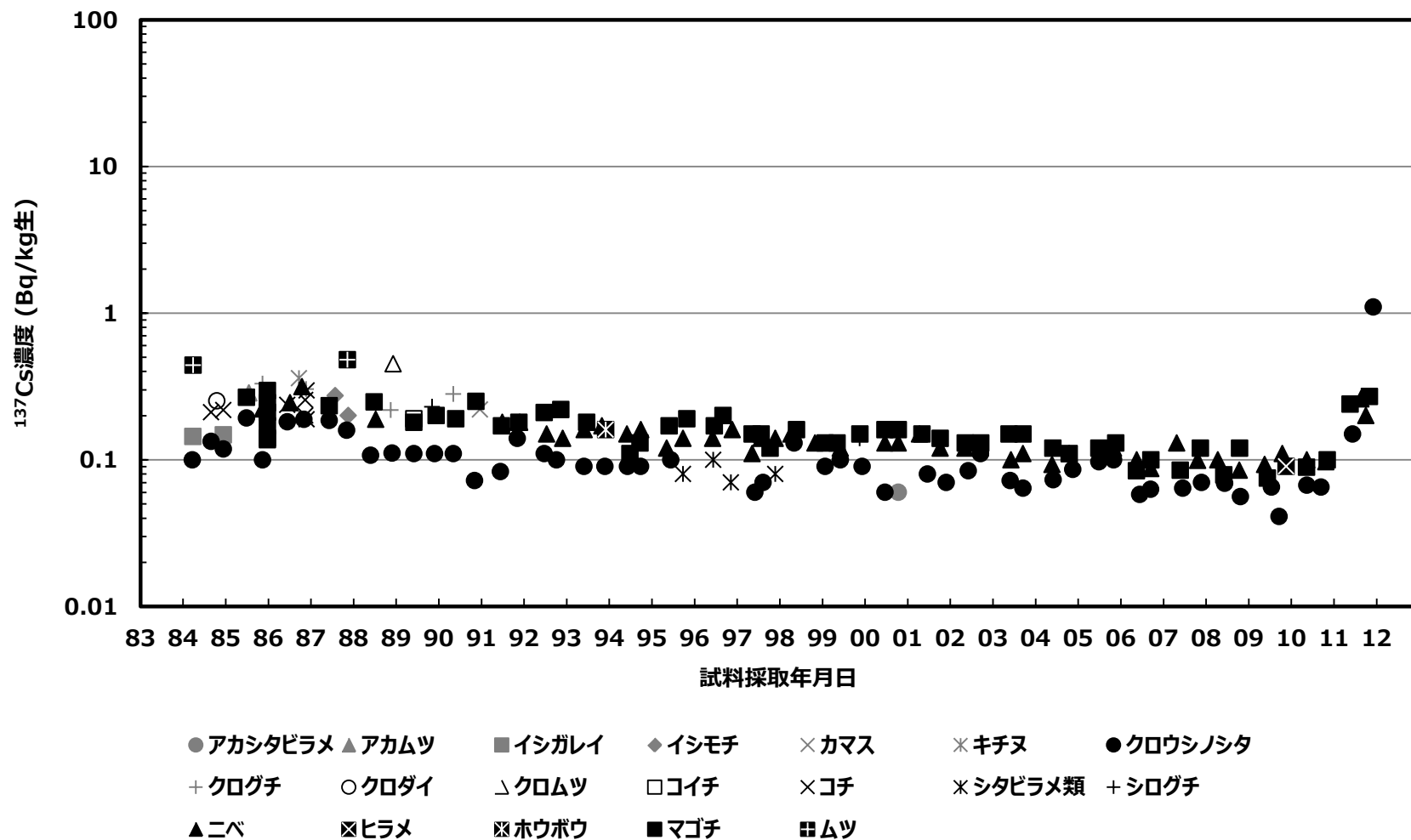
静岡海域下層水中の ^{137}Cs および ^{90}Sr 濃度



静岡海域海底土中の ^{137}Cs 濃度



静岡海域で漁獲された水産物中の ^{137}Cs 濃度



人工放射能の環境への放出の歴史と わが国の原子力平和利用の歩み (福島第一原発事故前)

- 1954年3月1日 第五福竜丸の被災
- 1957年 日本原子力研究所JRR-1臨界
- 1963年 部分的核実験禁止条約(PTBT)
- 1963年10月26日 原研JPDR原子力発電
- 1965年5月 日本原電東海発電所臨界
- 1966年 商用原子力発電開始
- 1979年3月 米国スリーマイル島原発事故
- 1981年4月 日本原電敦賀発電所放射能漏れ
- 1986年4月 旧ソ連チェルノブイリ原発事故
- 1995年12月 動燃「もんじゅ」Na漏れ事故
- 1997年3月 動燃アスファルト固化処理施設火災爆発事故
- 1999年9月 東海村JCO臨界事故



大気圏で実施された核実験の数量と 環境に放出された放射性物質の種類と数量

大気圏で行われた核実験と核分裂収率^{*)}

年代	実施国	実験回数	核分裂収率 (Mt)	核爆発量 (Mt)
1945-1962	米国	193	72.1	138.6
1949-1962	ソ連	142	110.9	357.5
1952-1953	英国	21	10.6	16.7
1960-1974	仏国	45	10.9	11.9
1964-1980	中国	22	12.7	20.7
計		423	217.2	545.4

^{*)}国連科学委員会1982年報告より作成

核実験により生成される主な放射性核種の収率と
単位爆発量当たりの生成量^{*)}

放射性核種	半減期	核分裂収率 (%)	単位核分裂量 あたりの生成量 (PBq/Mt)
⁸⁹ Sr	50.5日	2.56	590
⁹⁰ Sr	28.6年	3.50	3.9
⁹⁵ Zr	64.0日	5.07	920
¹⁰³ Ru	39.4日	5.20	1500
¹⁰⁶ Ru	368日	2.44	78
¹³¹ I	8.04日	2.90	4200
¹³⁶ Cs	13.2年	0.036	32
¹³⁷ Cs	30.2年	5.57	5.9
¹⁴⁰ Ba	12.8日	5.18	4700
¹⁴¹ Ce	32.5日	4.58	1600
¹⁴⁴ Ce	284日	4.69	190

^{*)}国連科学委員会1982年報告より作成

大気圏核爆発実験およびチェルノブイリ原子力発電所 事故により放出された放射性核種の量 (2000年国連科学委員会報告書より)

放射性核種	半減期	放出量(PBq)		
		大気圏核爆発実験	チェルノブイリ原発事故	福島第1原発事故
^3H	12.33年	186000		
^{14}C	5730年	213		
^{54}Mn	312.3日	3980		
^{55}Fe	2.73年	1530		
^{89}Sr	50.53日	117000	~1150	
^{90}Sr	28.78年	622	~10	
^{91}Y	58.51日	120000		
^{95}Zr	64.02日	148000	196	
^{99}Mo	65.94時間		>168	
^{103}Ru	39.26日	247000	>168	
^{106}Ru	373.6日	12200	>73	
^{125}Sb	2.76年	741		
^{132}Te	3.204日		~1150	
^{131}I	8.02日	675000	~1760	150(11/04/12原安委)
^{133}Xe	2.19日		6500	
^{140}Ba	12.75日	759000	240	
^{141}Ce	32.50日	263000	196	
^{144}Ce	284.9日	30700	~116	
^{134}Cs	2.0648年		~54	
^{137}Cs	30.07年	948	~85	12(11/04/12原安委)
^{239}Np	2.3565日		945	
^{238}Pu	87.7年		0.035	
^{239}Pu	24110年	6.52	0.03	
^{240}Pu	6563年	4.35	0.042	
^{241}Pu	14.35年	142	~6	
^{242}Cm	162.8日		~0.9	
計			5300	630(01/04/05まで)

INES

THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE

Major Accident Level 7
Serious Accident Level 6
Accident with Wider Consequences Level 5
Accident with Local Consequences Level 4
Serious Incident Level 3
Incident Level 2
Anomaly Level 1
NO SAFETY SIGNIFICANCE (Below Scale/ Level 0)

大気放出された放射性核種数量 > ^{131}I 換算、**数万TBq***

大気放出された放射性核種数量 > ^{131}I 換算、**数千～数万TBq***

大気放出された放射性核種数量 > ^{131}I 換算、**数百～数千TBq***

福島第1原発事故での放出量

・大気放出

4月24日報道：

3月15日までに**19万TBq**、4月5日までに**63万TBq**

4月5日時点で1日あたり**154TBq**

・海洋放出

4月21日報道：

4月1日～4月6日、**4700兆Bq(4.7千TBq)**、

低レベル廃液、**1500億Bq**

* : ^{137}Cs は40倍、 ^{134}Cs は3倍して加算。

■ 放射線・放射能の単位

ベクレル(Bq)

放射性壊変数の大きさ、単位時間あたりの壊変数
(放射性核種の原子数と崩壊定数を掛けた値)

放射能強度のものさし

“メガ・ベクレル”(MBq)

単位の接頭語

キロ(k) : 1,000

メガ(M) : 1,000,000

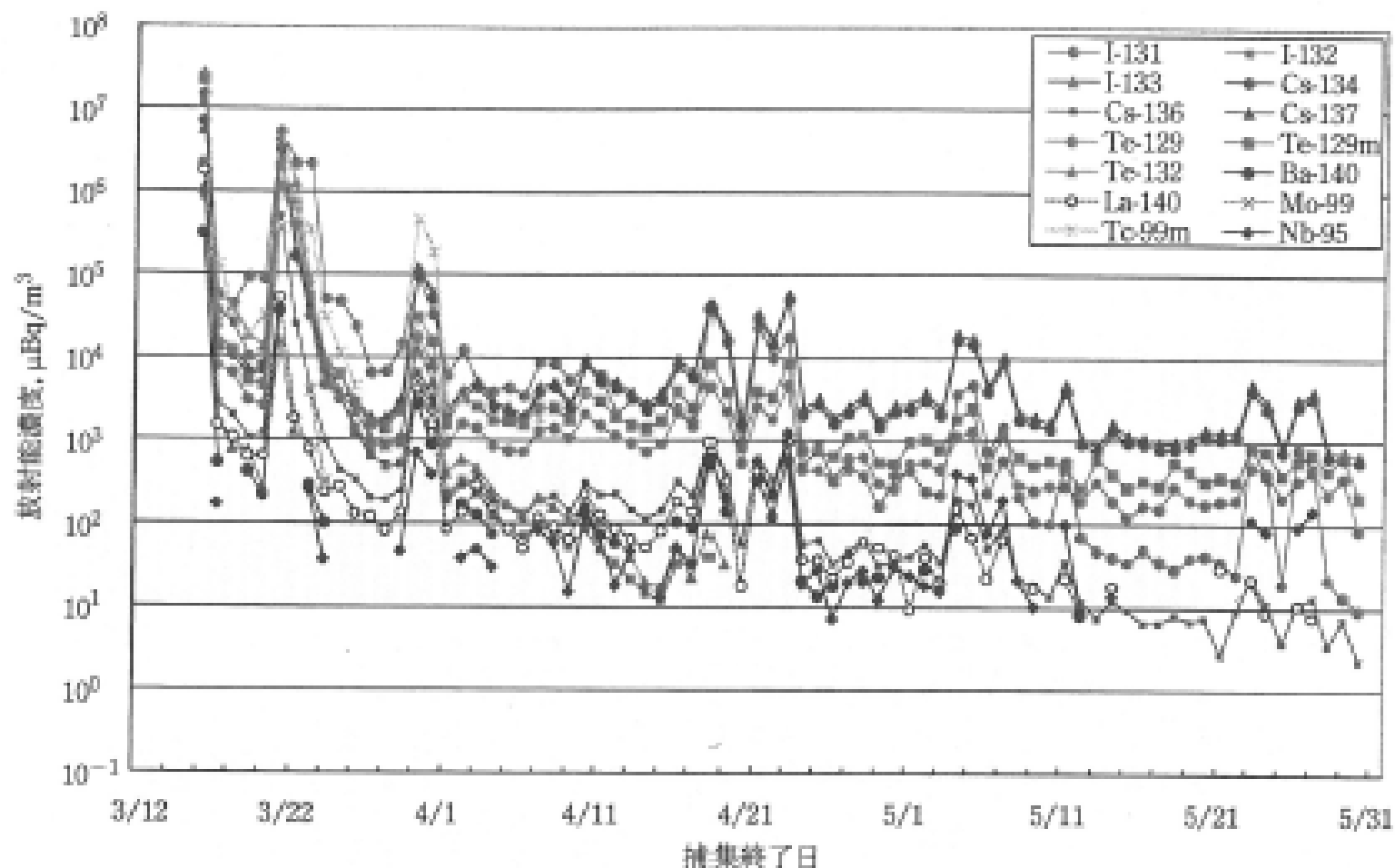
ギガ(G) : 1,000,000,000

テラ(T) : 1,000,000,000,000

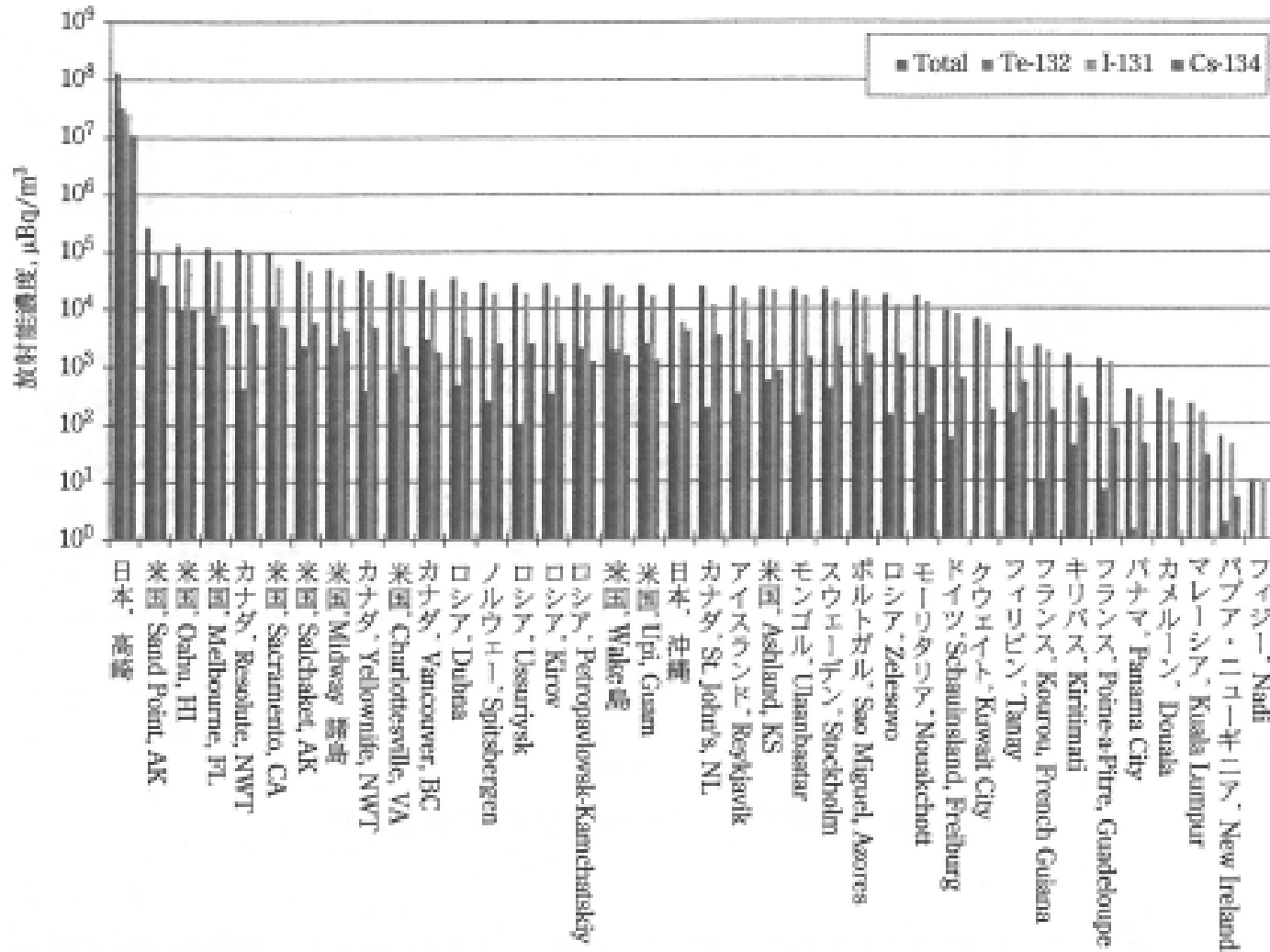
ペタ(P) : 1,000,000,000,000,000

エクサ(E) : 1,000,000,000,000,000,000

福島原発事故後の高崎観測所において捕集された放射性 粒子試料中の放射性核種濃度の推移 (米沢、山本、「ぶんせき」2011 8、451～458)



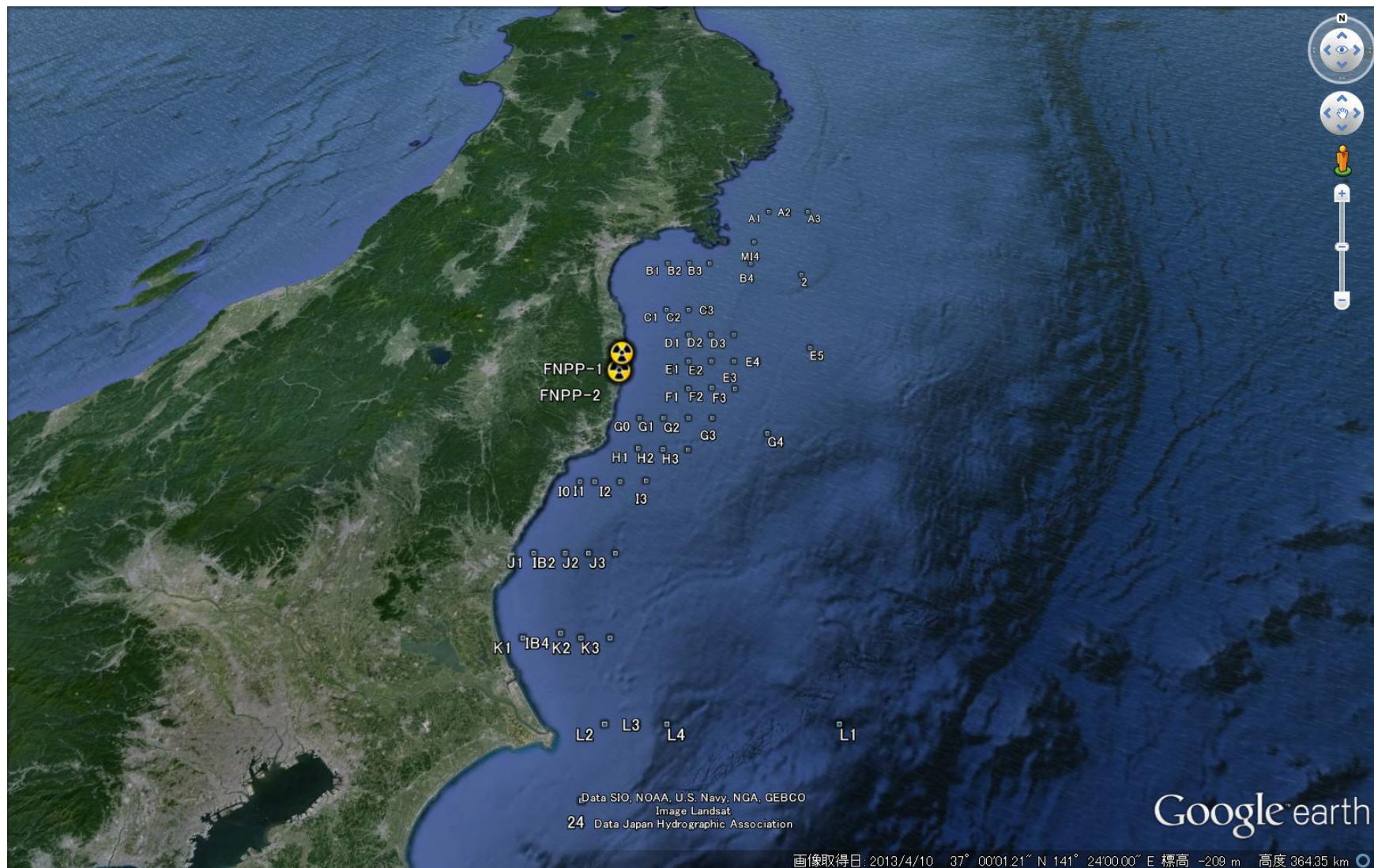
福島原発事故からの粒子状放射性核種を検出したIMS観測所の ^{132}Te 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs および前核種濃度の比較 (米沢、山本、「ぶんせき」2011. 8、451～458)



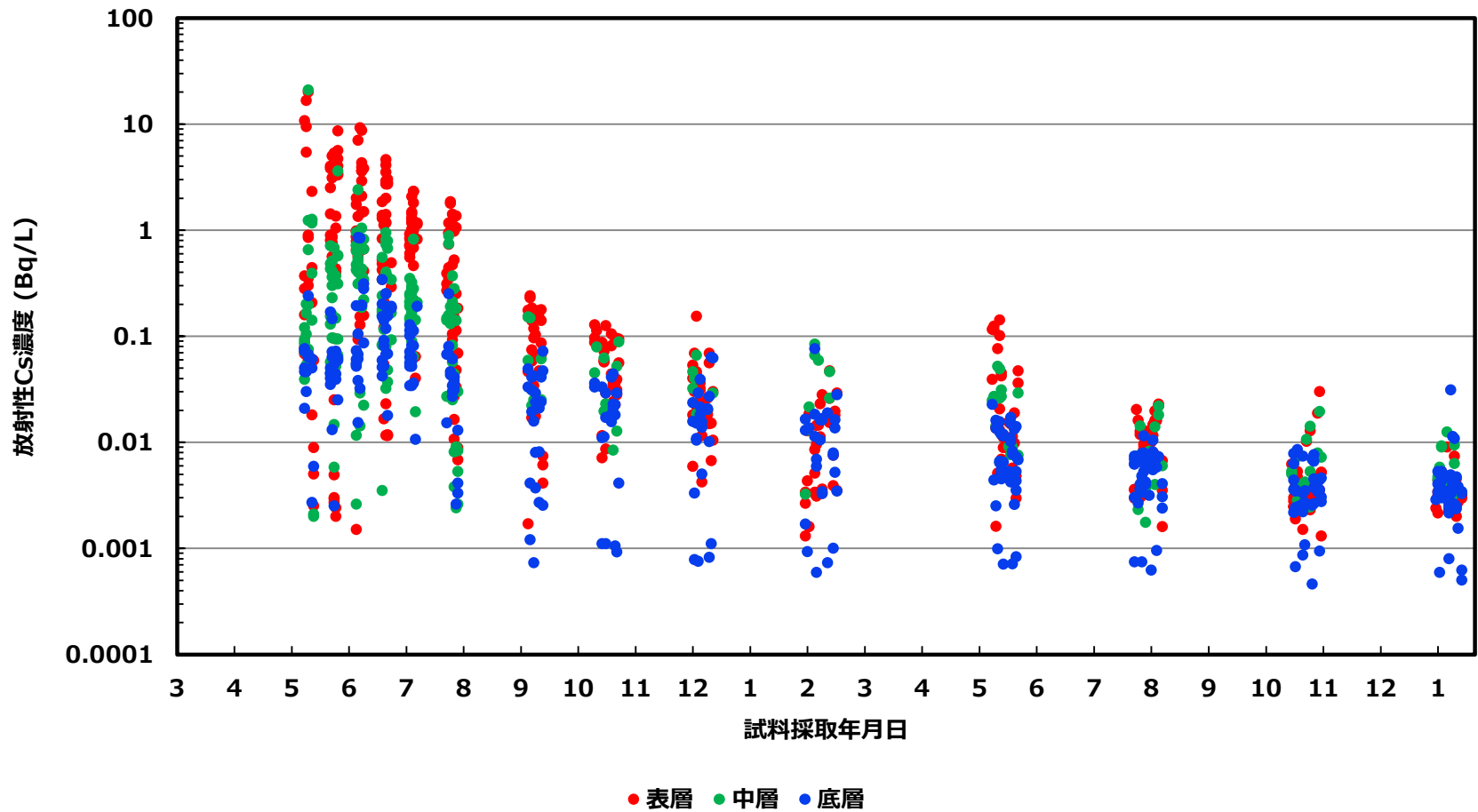
原子力保安院による福島原発事故時の 放射性核種放出量の試算値

核種	半減期	合計	核種	半減期	合計
Xe-133	5.2 d	1.1×10^{19}	Pu-238	87.7 y	1.9×10^{10}
Cs-134	2.1 y	1.8×10^{16}	Pu-239	24065 y	3.2×10^{09}
Cs-137	30.0 y	1.5×10^{16}	Pu-240	6537 y	3.2×10^{09}
Sr-89	50.5 d	2.0×10^{15}	Pu-241	14.4 y	1.2×10^{12}
Sr-90	29.1 y	1.4×10^{14}	Y-91	58.5 d	3.4×10^{12}
Ba-140	12.7 d	3.2×10^{15}	Pr-143	13.6 d	4.1×10^{12}
Te-127m	109.0 d	1.1×10^{15}	Nd-147	11.0 d	1.6×10^{12}
Te-129m	33.6 d	3.3×10^{15}	Cm-242	162.8 d	1.0×10^{11}
Te-131m	30.0 h	<u>5.0×10^{15}</u>	I-131	8.0 d	1.6×10^{17}
Te-132	78.2 h	<u>8.8×10^{16}</u>	I-132	2.3 h	<u>1.3×10^{13}</u>
Ru-103	39.3 d	7.5×10^{09}	I-133	20.8 h	<u>4.2×10^{16}</u>
Ru-106	368.2 d	2.1×10^{09}	I-135	6.6 h	<u>2.3×10^{15}</u>
Zr-95	64.0 d	1.7×10^{13}	Sb-127	3.9 d	6.4×10^{15}
Ce-141	32.5 d	1.8×10^{13}	Sb-129	4.3 h	<u>1.4×10^{14}</u>
Ce-144	284.3 d	1.1×10^{13}	Mo-99	66.0 h	<u>6.7×10^{09}</u>
Np-239	2.4 d	7.6×10^{13}			

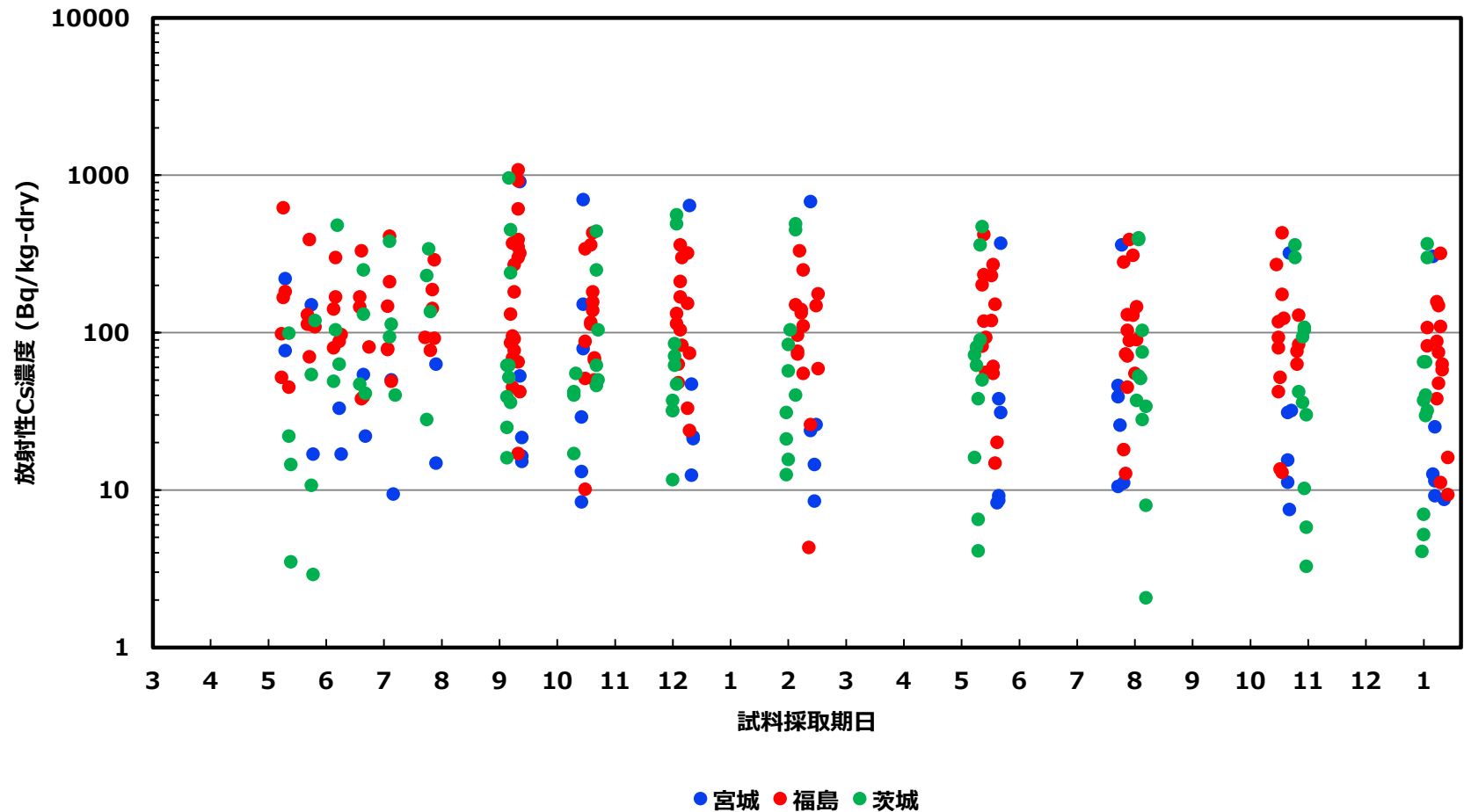
海生研による広域調査試料採取地点



福島第一原発事故後の原発沖合海域における 海水中の放射性Cs濃度の推移



福島第一原発事故後の原発沖合海域における 海底土中の放射性Cs濃度の推移



線量限度と線量拘束値

最適化の原則は、経済的及び社会的要因を考慮して、被ばくの発生確率、被ばくする人の数、および個人線量の大きさのいずれをも合理的に達成できる限り低く抑えるためのプロセスである(ICRP、Pub103、212)。

最適化のプロセス(214)

- 潜在被ばくを含むあらゆる被ばく状況の評価
- 拘束値*または参考レベル*の適切な値の選定
- 防護選択肢の確認
- 最善の選択肢の選定
- 選定された選択肢の履行

*防護の最適化を図るために制限される個人線量レベル。計画被ばく状況における線量制限レベル「線量拘束値」、緊急時被ばく状況における線量制限レベル「参考レベル」の語を用いる(226)。ただし、拘束値や参考レベルに選択された値は、「安全」と「危険」の境界を表したり、あるいは個人の健康リスクに関連した段階的变化を反映するものではない(228)。

原子力施設からの放射性廃棄物の 環境への管理放出に対する線量拘束値 (加盟国における状況)

加盟国	線量拘束値 (mSv/y)	放出源
アルゼンチン	0.3	核燃料サイクル施設
ベルギー	0.25	原子炉
中国	0.25	動力炉
イタリア	0.1	加圧水型軽水炉
ルクセンブルグ	0.3	核燃料サイクル施設
オランダ	0.3	核燃料サイクル施設
スペイン	0.3	核燃料サイクル施設
スウェーデン	0.1	動力炉
ウクライナ	0.08	動力炉
	0.2	核燃料サイクル施設
英国	0.3	核燃料サイクル施設
米国	0.25	核燃料サイクル施設
日本	0.05	核燃料サイクル施設

ICRPの放射性物質環境移行モデル

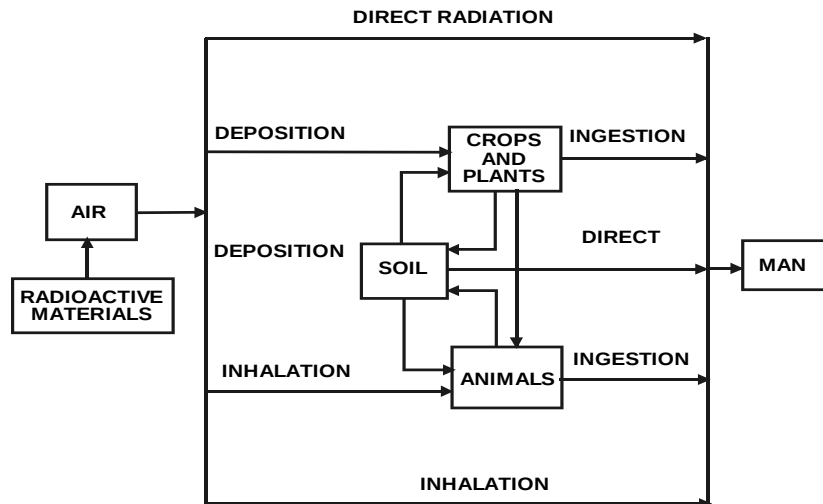


図1 大気放出される放射性物質の陸圏における移行概念図の例

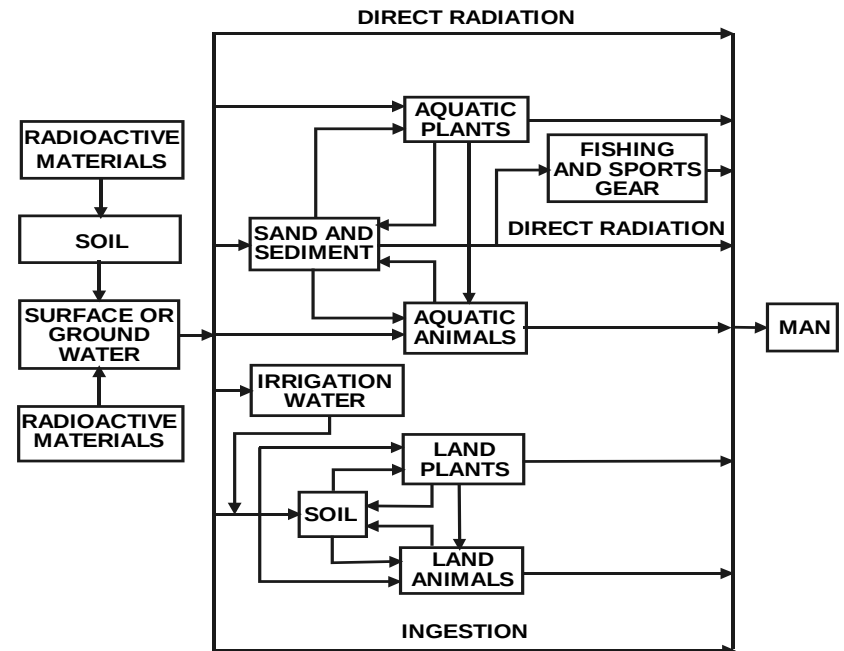
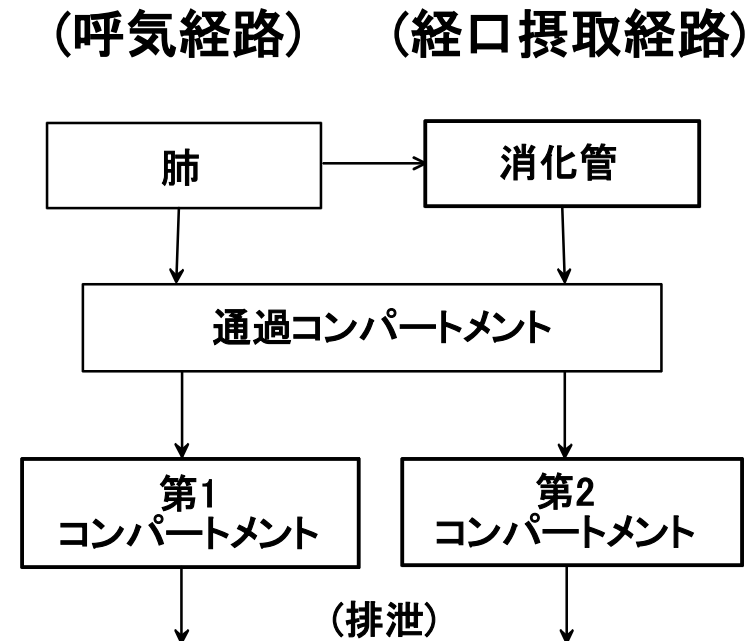


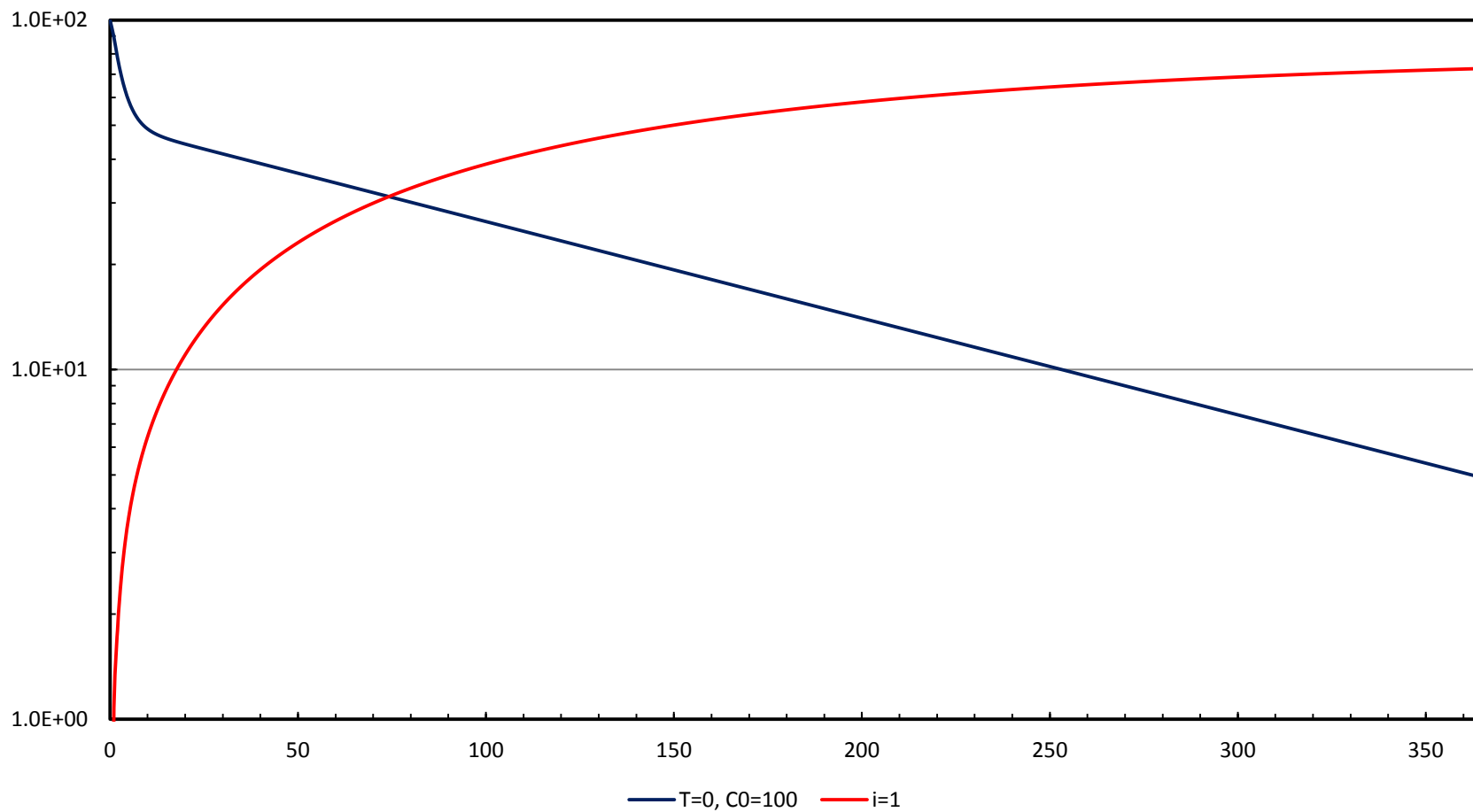
図2 液体廃棄物中の放射性物質の水圏における移行概念図の例

ICRP(国際放射線防護委員会)の人体における放射性セシウムの動態モデル

通過コンパートメント(半減期0.25日)に入ったセシウムのうち0.5の割合は第1の組織コンパートメントに移行して2日の半減期でそこに残留し、残りは第2の組織コンパートメントに移行して110日の半減期でそこに残留する。これらのセシウムは人体全体に均等に分布する。

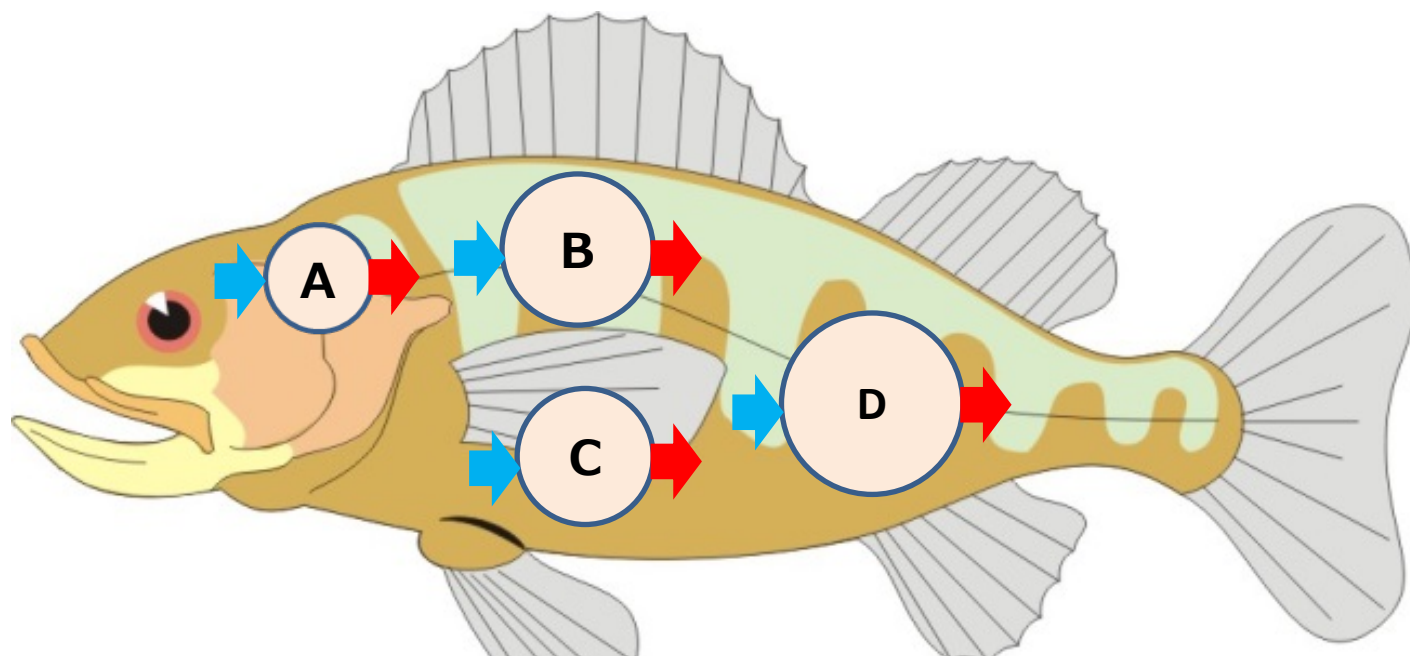


人体における ^{137}Cs の動態



魚体中の放射性核種の動態

魚体内では、複数のコンパートメントが放射性核種の体内滞留に関わっており、各コンパートメントには放射性核種は一定の割合で移行し、固有の速度定数にしたがい排出されると考えられる。また、環境条件や生態学的条件が一定の場合には長い時間の後に魚体中の濃度は平衡に達する。



このとき、放射性核種の魚体中濃度の環境水中濃度に対する比の値で「濃縮係数」が定義される。濃縮係数は放射性核種や生物の種類により様々な値を示す。

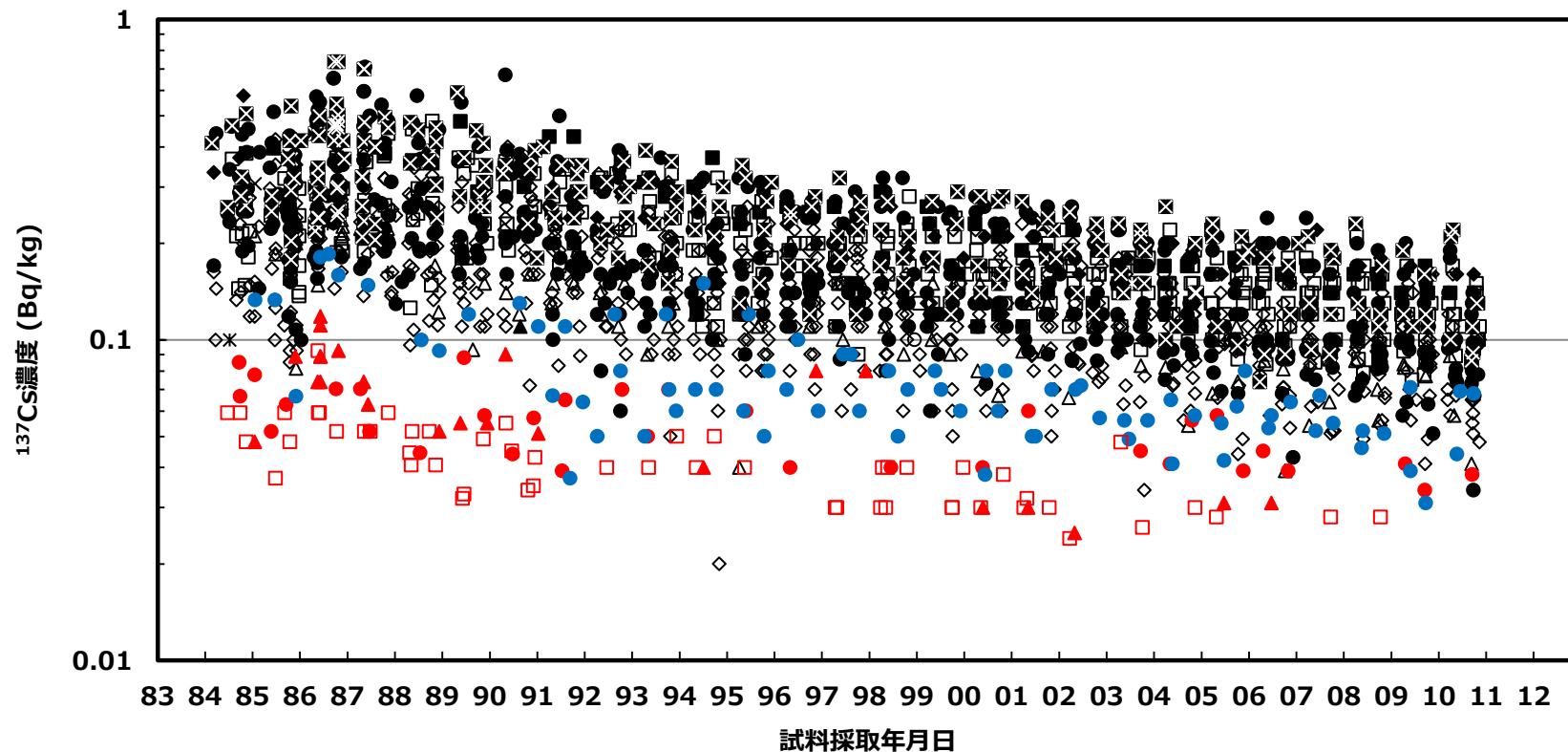
いくつかの元素に対する海産生物の濃縮係数

元素	生物種				
	魚類	甲殻類	軟体類*	海藻類	頭足類
H	1	1	1	1	-
Sr	3	5	10	10	20
I	9	3	10	10000	-
Cs	100	50	60	50	9

*頭足類を除く

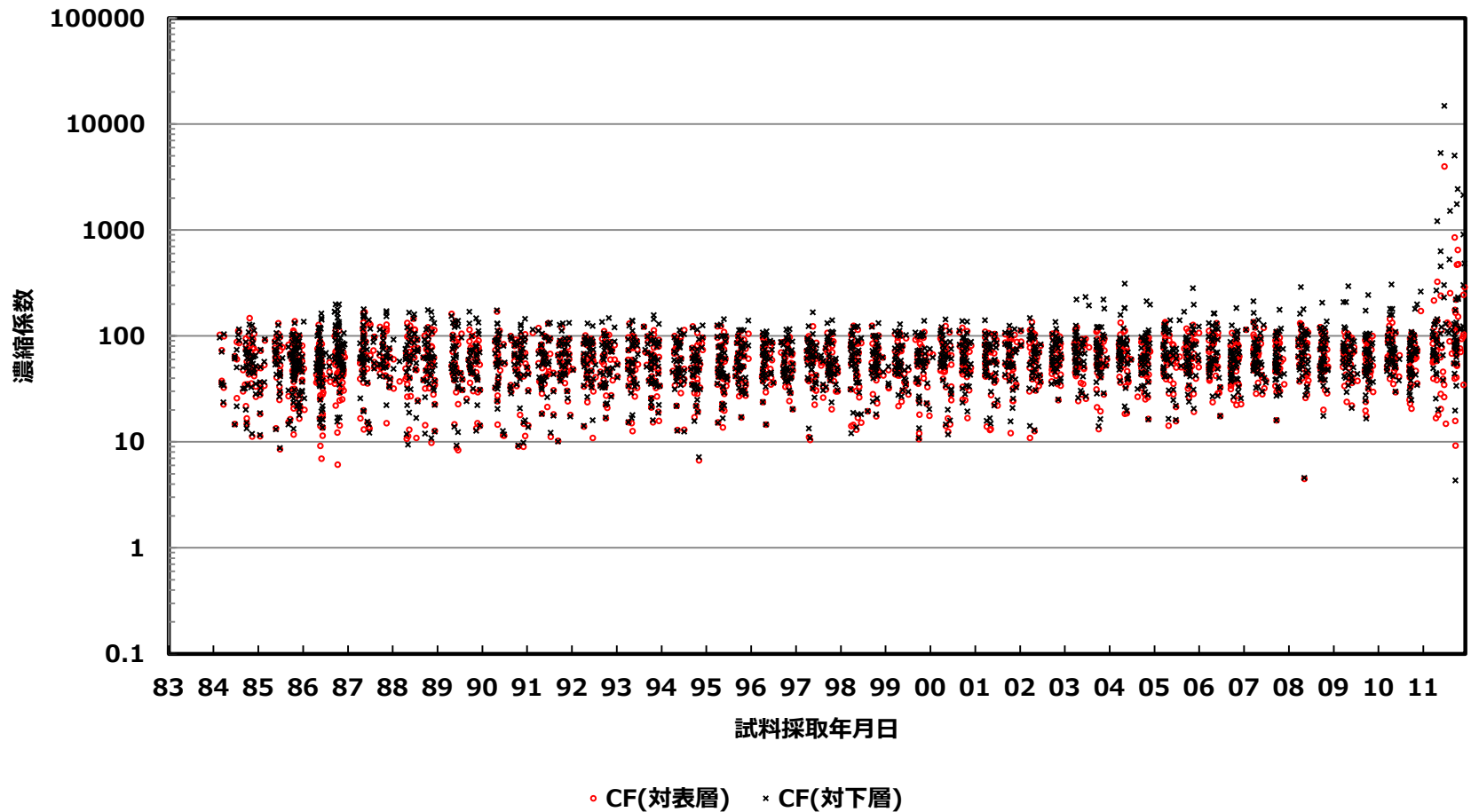
(IAEA, TRS 422より抜粋)

海生研モニタリングにおける水産物中 ^{137}Cs 濃度の経時変化



- | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|---------|---------|
| ○ アンコウ目 | △ ウナギ目 | □ カサゴ目 | ◇ カレイ目 | ▲ コウイカ目 | ● スズキ目 | ▲ ダツ目 | ● ツツイカ目 | ■ トビエイ目 |
| ◆ ニギス目 | × ヒメ目 | * フグ目 | + ボラ目 | ※ マトウダイ目 | ● 十脚目 | □ 八腕目 | ※ タラ目 | |

海生研モニタリングで得られた 濃縮係数計算値の時系列変化



青森県六ヶ所村再処理工場から 海洋放出される放射性核種による被ばく評価

液体廃棄物の年間放出量

核種	内訳		放出量 (Bq/年)
	核種	放出量 (Bq/年)	
^3H ^{129}I ^{131}I			1.8×10^{16} 4.3×10^{10} 1.7×10^{11}
その他(α)	Pu Am Cm その他	3.0×10^9 1.4×10^{10} 3.9×10^8 1.9×10^8	3.8×10^9
その他(β、γ)	^{60}Co $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ ^{134}Cs $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ $^{144}\text{Ce}/^{144\text{m}}\text{Pr}$ ^{154}Eu ^{241}Pu その他(γ) その他(β)	4.1×10^9 $1.2 \times 10^{10}/1.2 \times 10^{10}$ $2.4 \times 10^{10}/2.4 \times 10^{10}$ 8.2×10^9 $1.6 \times 10^{10}/1.6 \times 10^{10}$ $4.9 \times 10^9/4.9 \times 10^9$ $/5.9 \times 10^7$ 1.4×10^9 8.0×10^{10} 4.4×10^9 6.9×10^9	2.1×10^{11}

評価項目

評価地点	被ばく経路	^3H 年間平均濃度 (Bq/L)
むつ小川原港湾	・海面からの外部被ばく ・船外からの外部被ばく ・海産物摂取による内部被ばく (魚類、頭足類、貝類、甲殻類)	3×10^2
むつ小川原港湾周辺最大濃度地点	・漁網からの外部被ばく	2×10^2
海洋放出口から北13km地点	・海産物摂取による内部被ばく (海藻類)	3×10^1
海洋放出口から南0.3km地点	・海中作業での外部被ばく	1×10^4

青森県六ヶ所村再処理工場から海洋放出される 放射性核種による被ばく評価結果

被ばく経路	被ばく線量 (mSv/年)	液体廃棄物に起因する 年間実効線量(mSv/年)	再処理工場から放出される 全放射性物質による 年間実効線量(mSv/年)
・海水面からの外部被ばく	1.1×10^{-6}	3.1×10^{-3}	2.2×10^{-2}
・漁網からの外部被ばく	3.6×10^{-4}		
・船体からの外部被ばく	1.9×10^{-6}		
・海中作業での外部被ばく	1.9×10^{-5}		
・海産物摂取による内部被ばく	2.7×10^{-3}		

福島第一原発事故に関わる 放射能に汚染された食品の取り扱いについて (厚生労働省)

●「飲食物摂取制限に関する指標」

暫定基準(平成23年3月17日、介入線量レベル：5mSv/y)

放射性ヨウ素：飲料水、牛乳について300(Bq/kg)

放射性セシウム：野菜、穀類、肉/魚介類等について
500(Bq/kg)

●「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」

新基準(平成24年4月1日、介入線量レベル：1mSv/y)

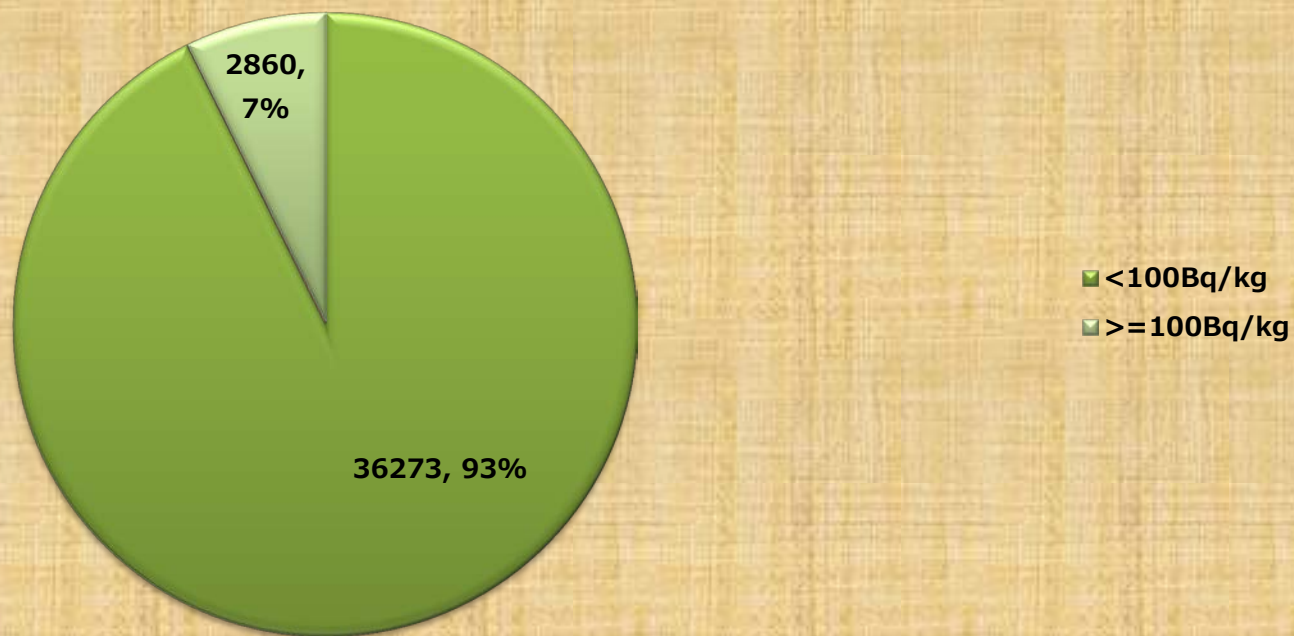
放射性セシウム：飲料水について10(Bq/kg)

乳児用食品について50(Bq/kg)

牛乳について50(Bq/kg)

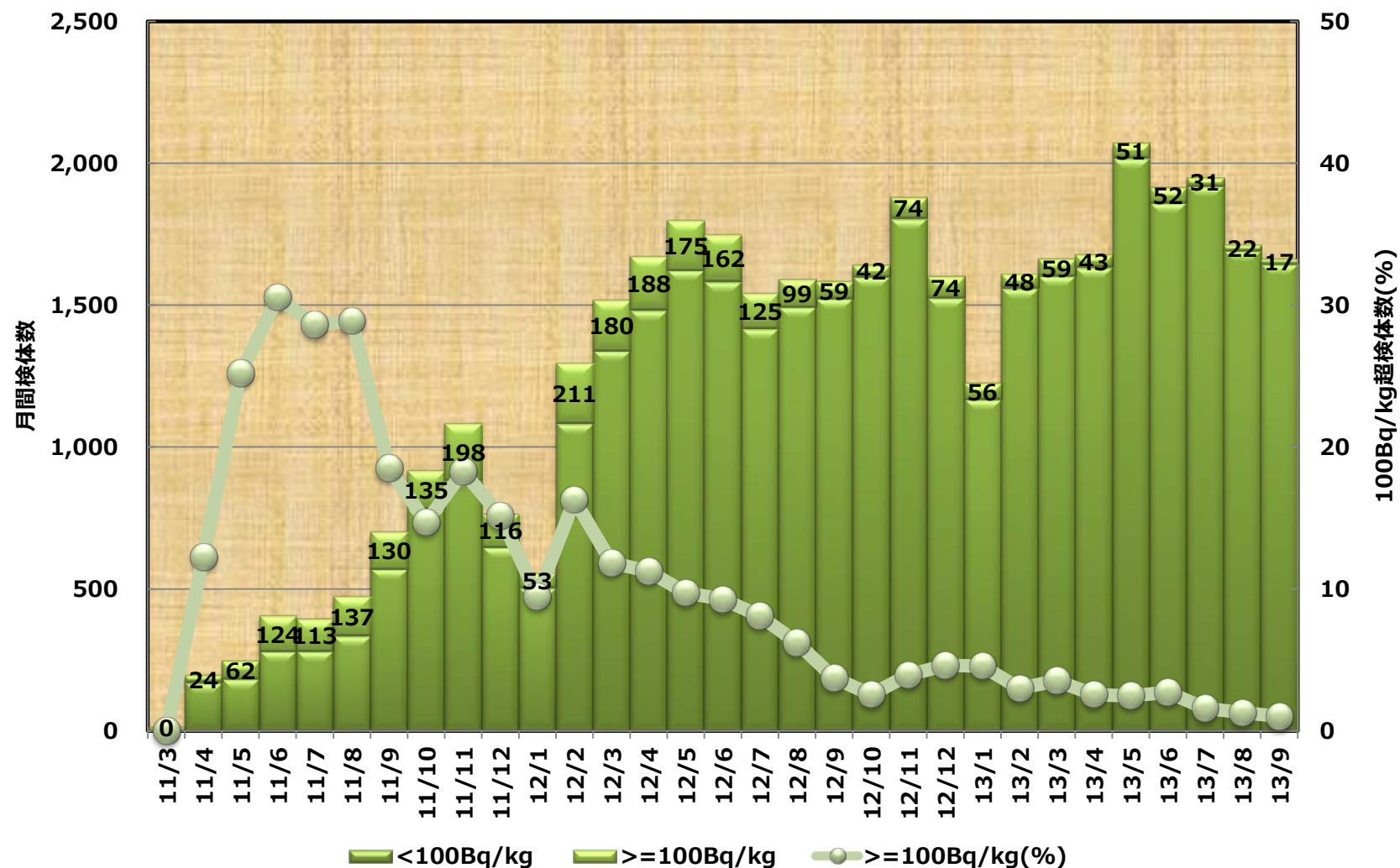
一般食品について100(Bq/kg)

福島第一原発事故後の農水省による 水産物放射能調査実績



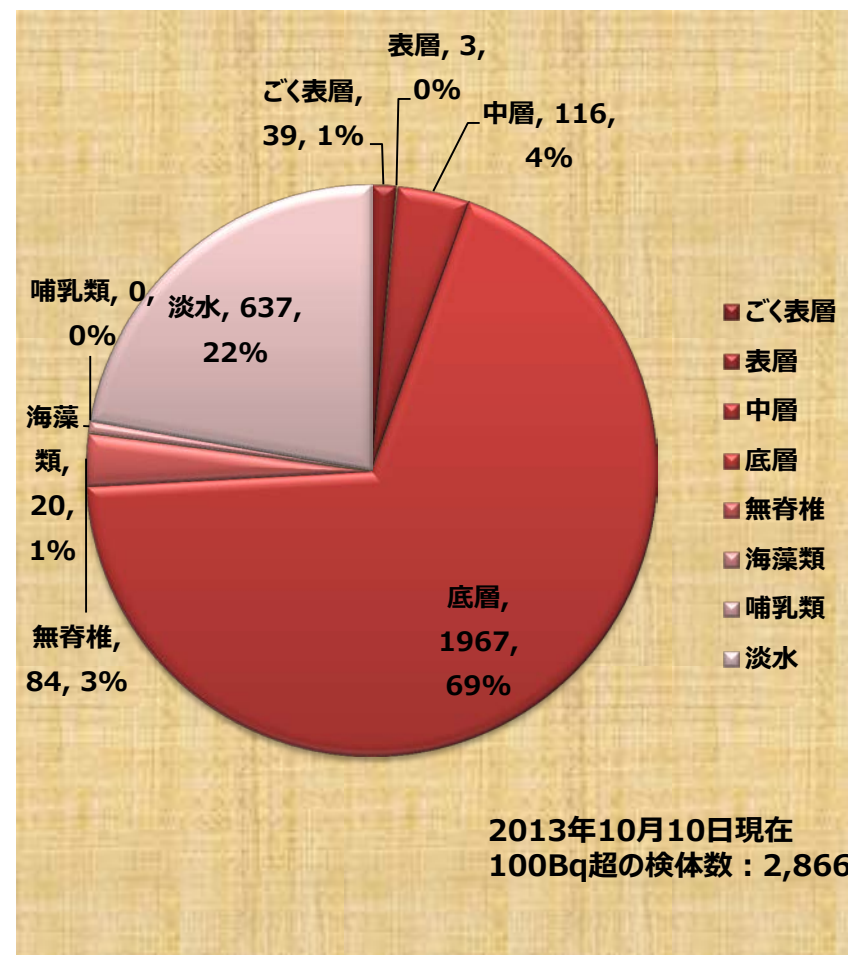
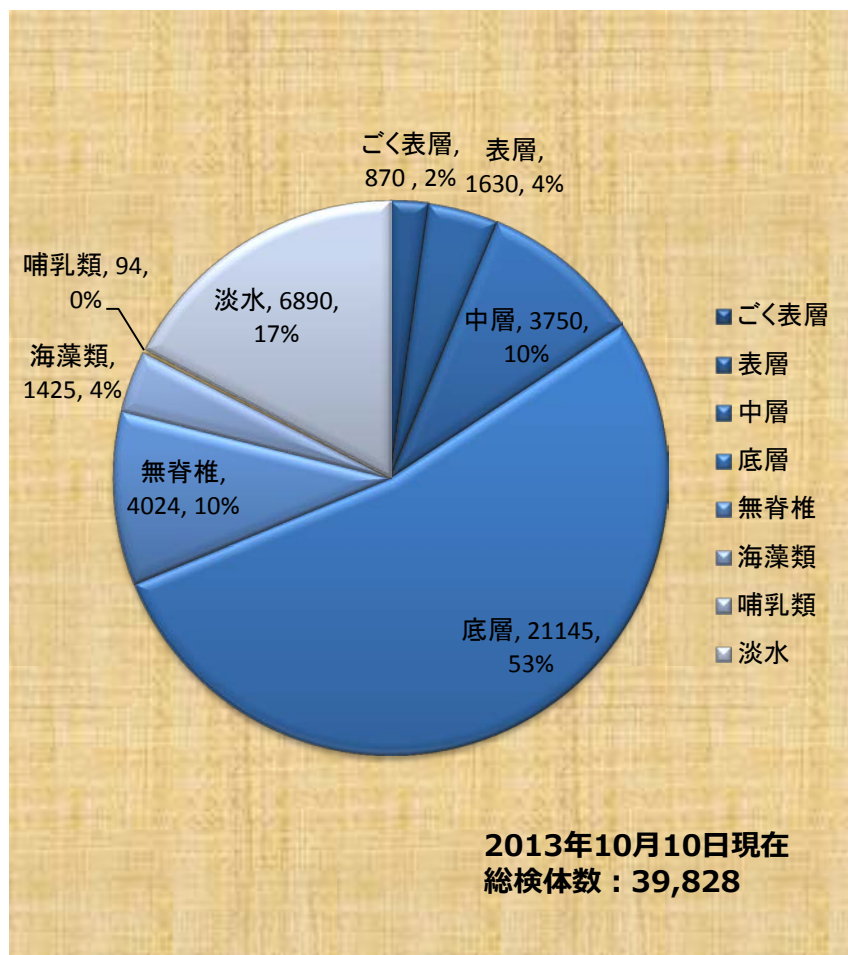
2013年9月末現在
試料総数：39,133検体

農水省による水産物放射能調査の進捗状況

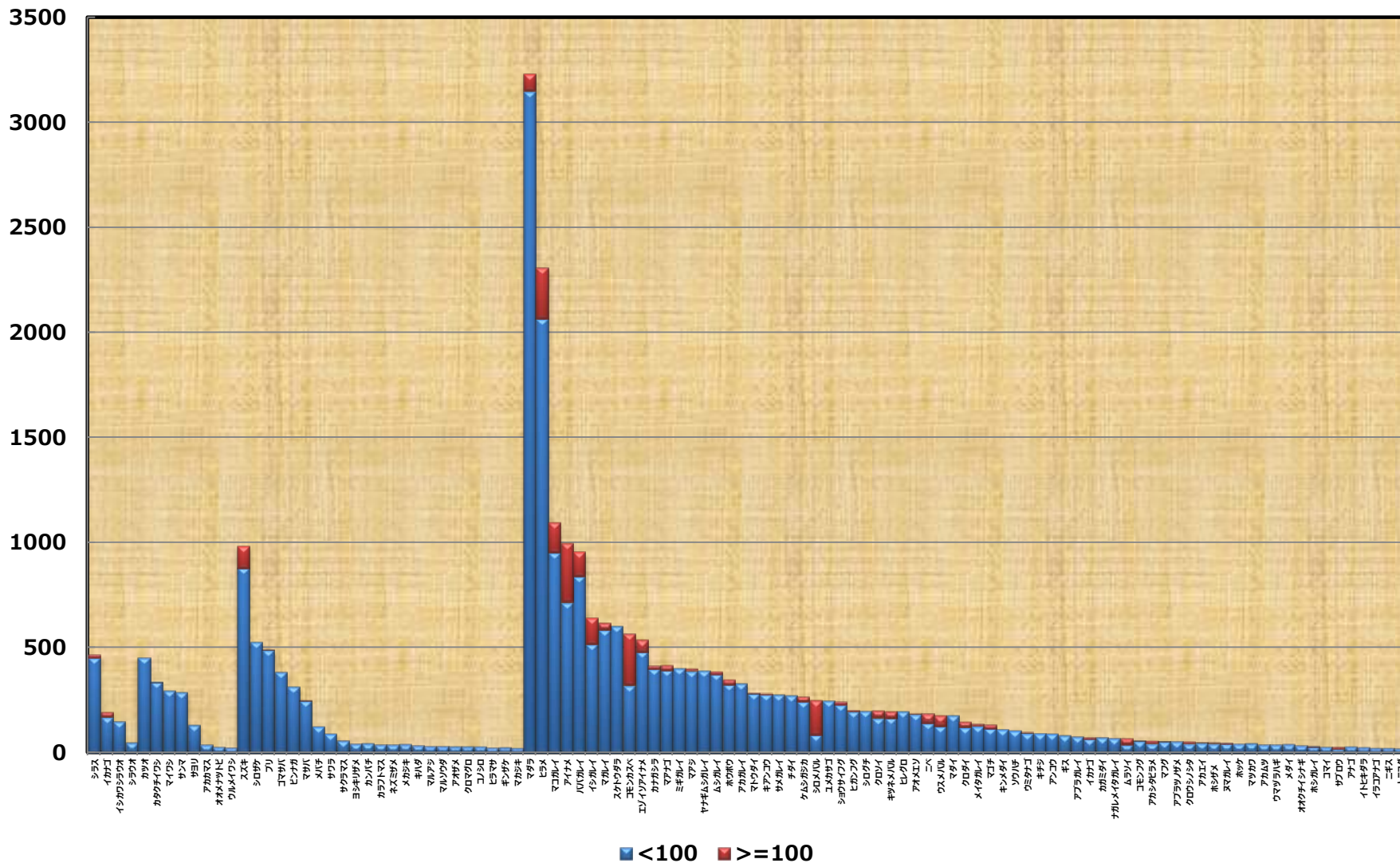


2013年9月30日現在

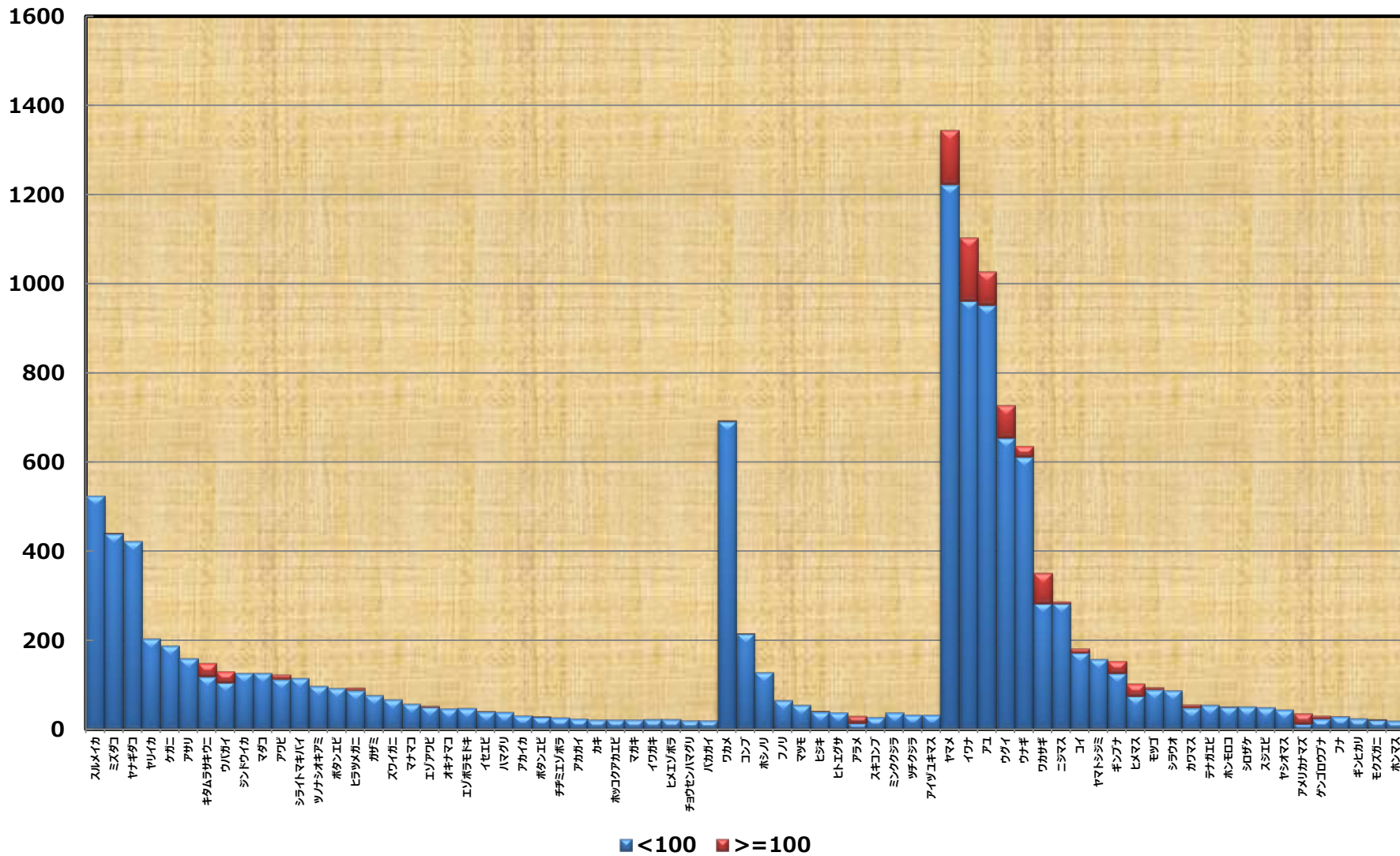
農水省放射能調査における生息域別 対象生物種割合



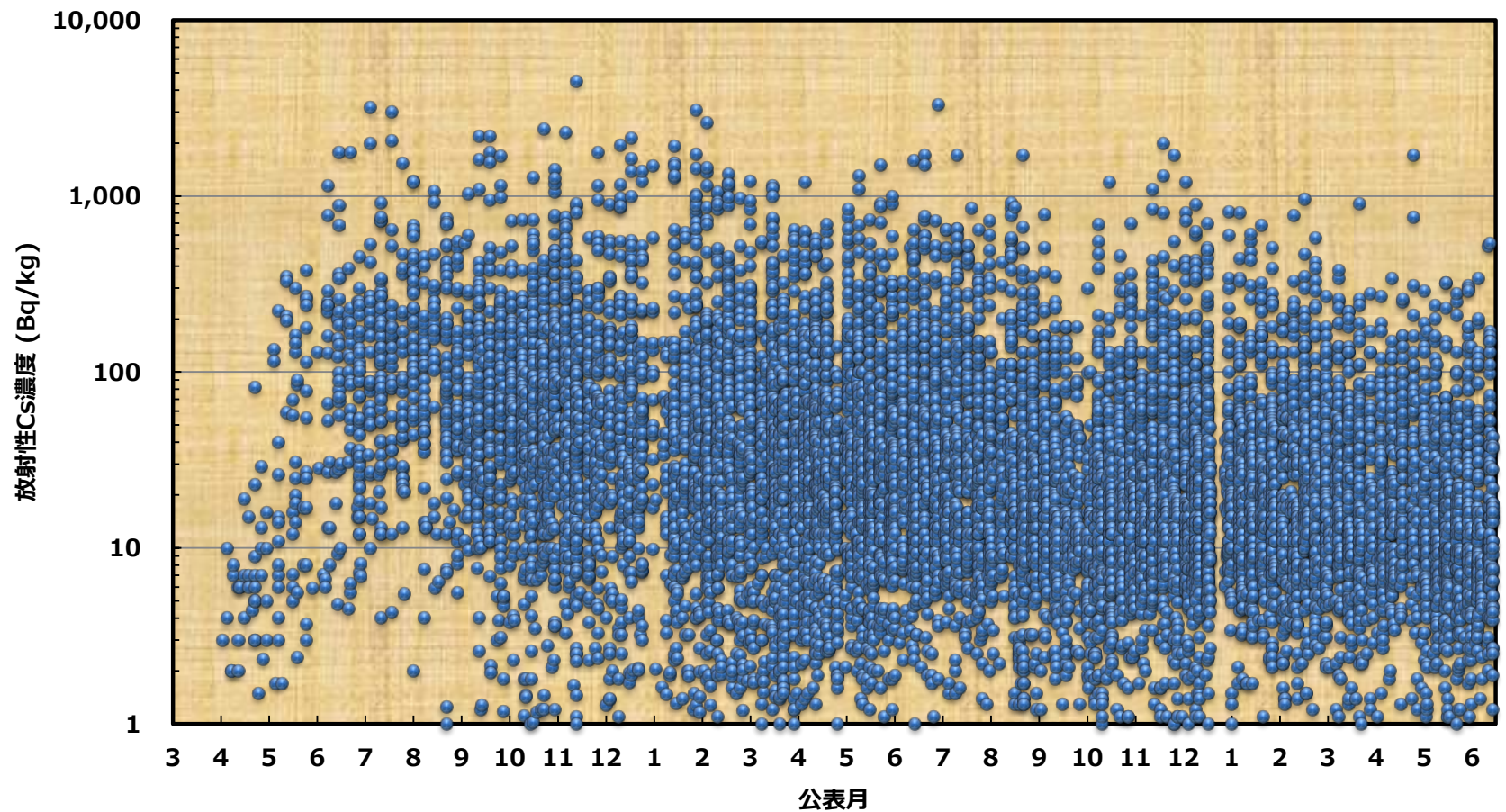
**農水省放射能調査における生息域別対象生物種数
(20試料以上の海産魚)**



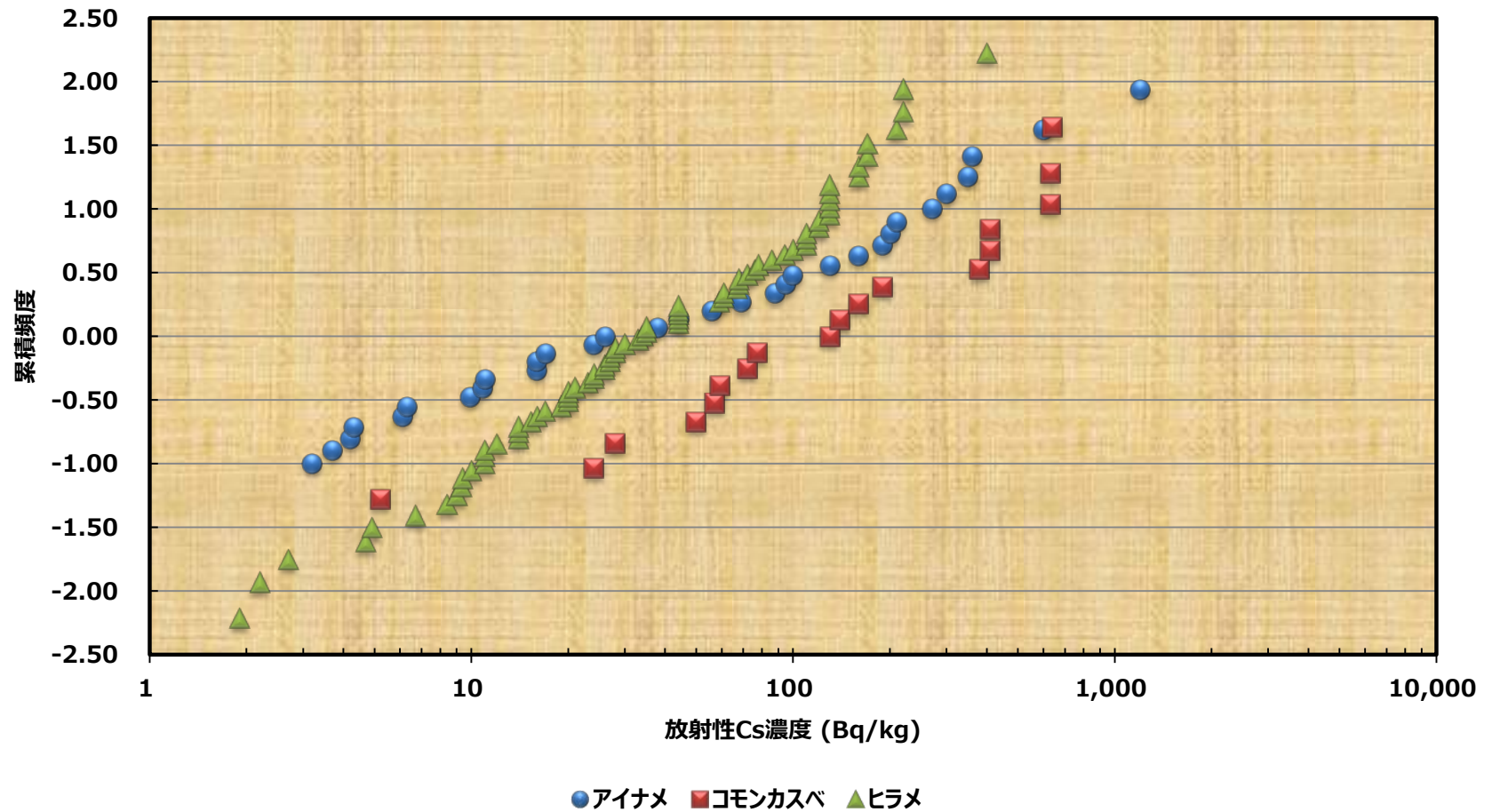
**農水省放射能調査における生息域別対象生物種数
(20試料以上の海産魚以外の生物)**



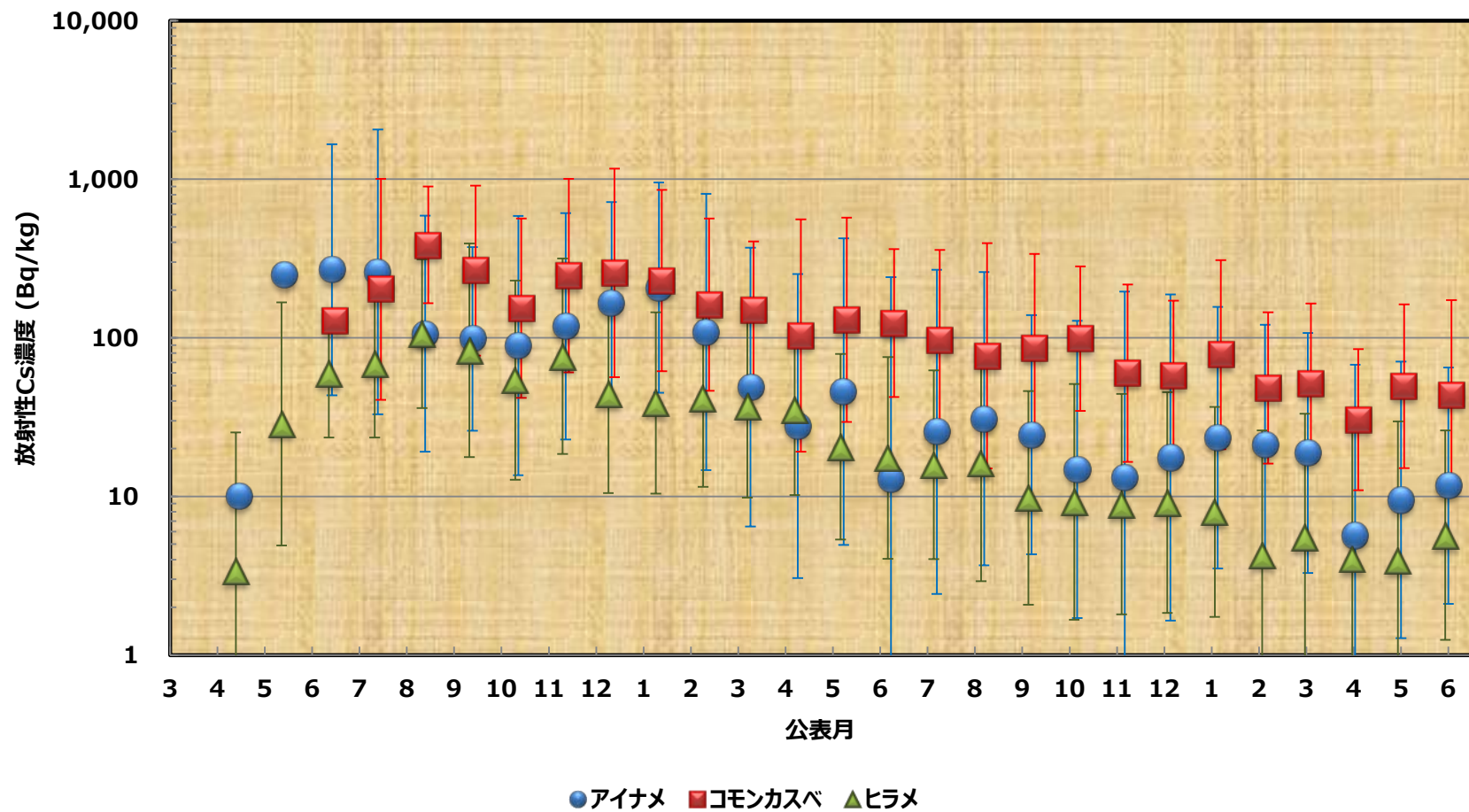
農水省調査における底層魚中 ^{137}Cs 濃度の時系列変化



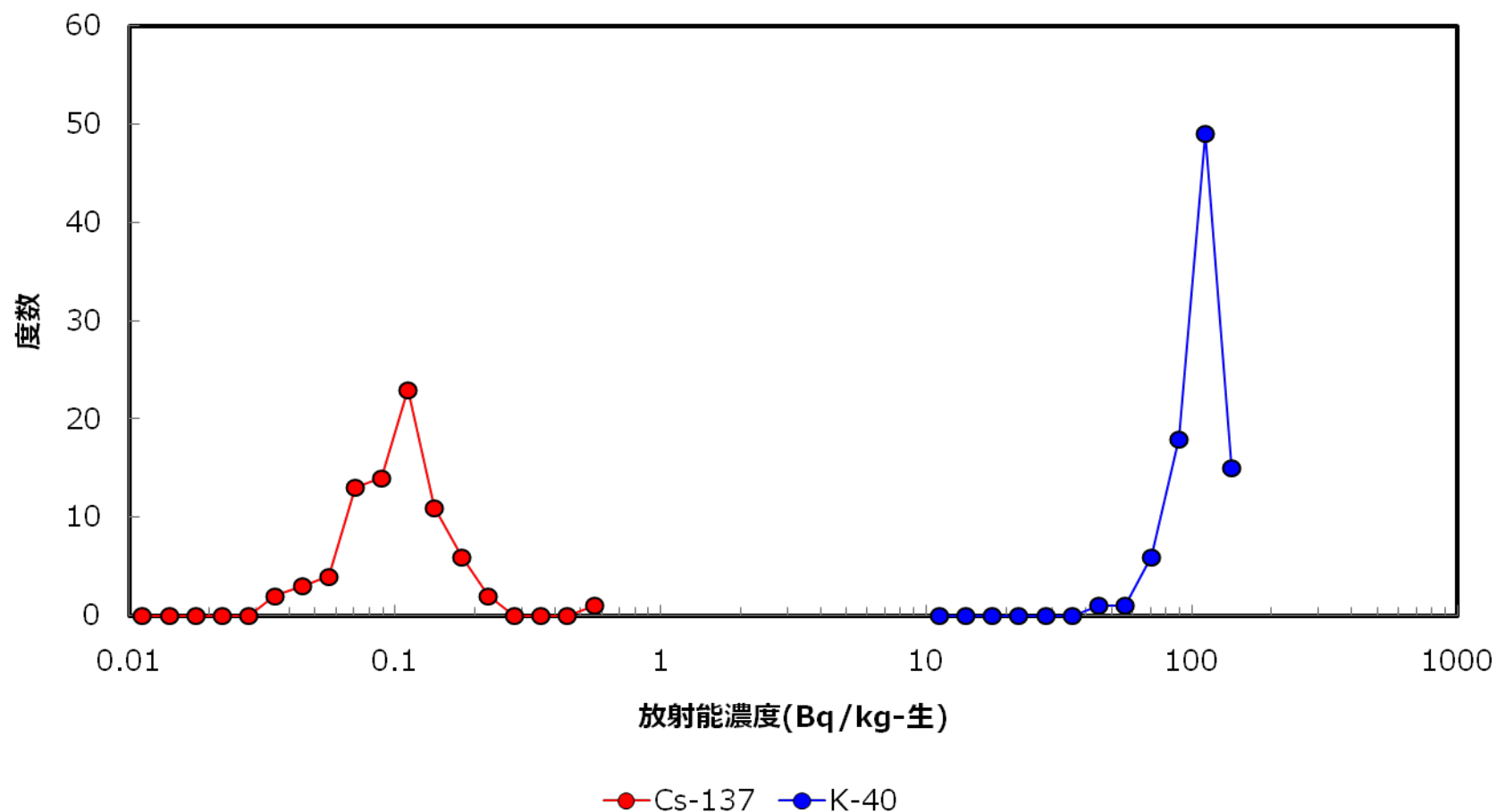
農水省調査における底層魚3種の 放射性Cs濃度値の累積出現頻度



農水省調査における底層魚3種中 放射性Cs濃度の漸減傾向



海産生物(主として魚類)中の ^{137}Cs と ^{40}K 濃度 (平成22年度海生研調査結果)



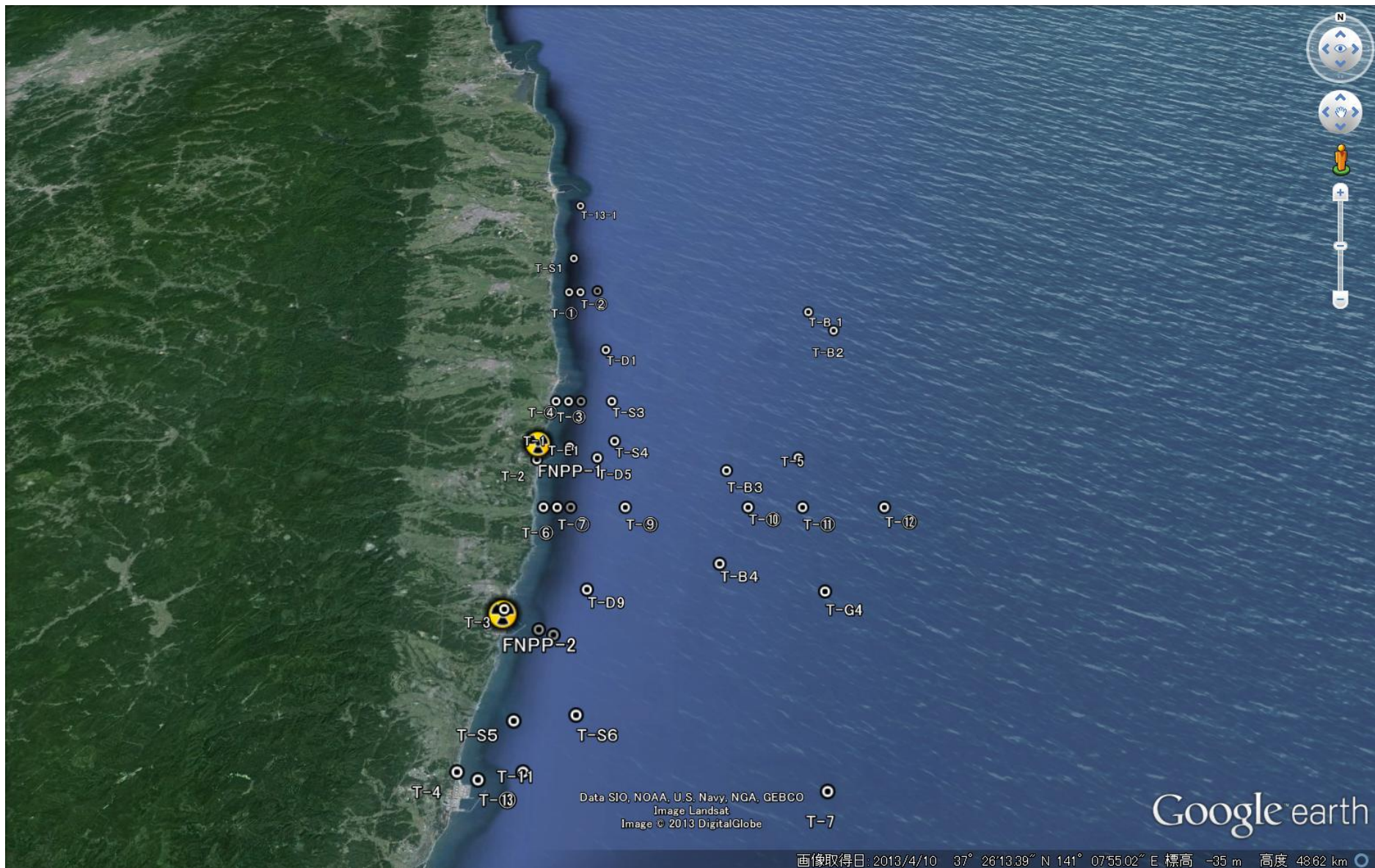
「規格基準値」の水産物を1年間摂取したときの 内部被ばく線量は？

- 100Bq/kgのお魚を毎日200g、100Bq/kgのエビ・イカ・タコ類を毎日20g、100Bq/kgのワカメなどの海藻類を毎日40g食べ続けると.....
- $100\text{Bq/kg} \times (200+20+40)\text{g/日} \times 365\text{日/年}$
 $\div 1000\text{g/kg} \times 1.3 \times 10^{-8}\text{Sv/Bq}$
 $= 0.000123\text{Sv/年}$
 $= \underline{0.123\text{mSv/年}}$
- この生活をこれから70年間続けると累積線量は：
 $0.123\text{mSv/年} \times 70\text{年} = 8.64\text{mSv}$
- 食品安全委員会は、「放射線による影響が見いだされているのは、通常的一般生活において受ける放射線量を除いた生涯における累積の実効線量として、おおよそ100 mSv以上と判断した。」

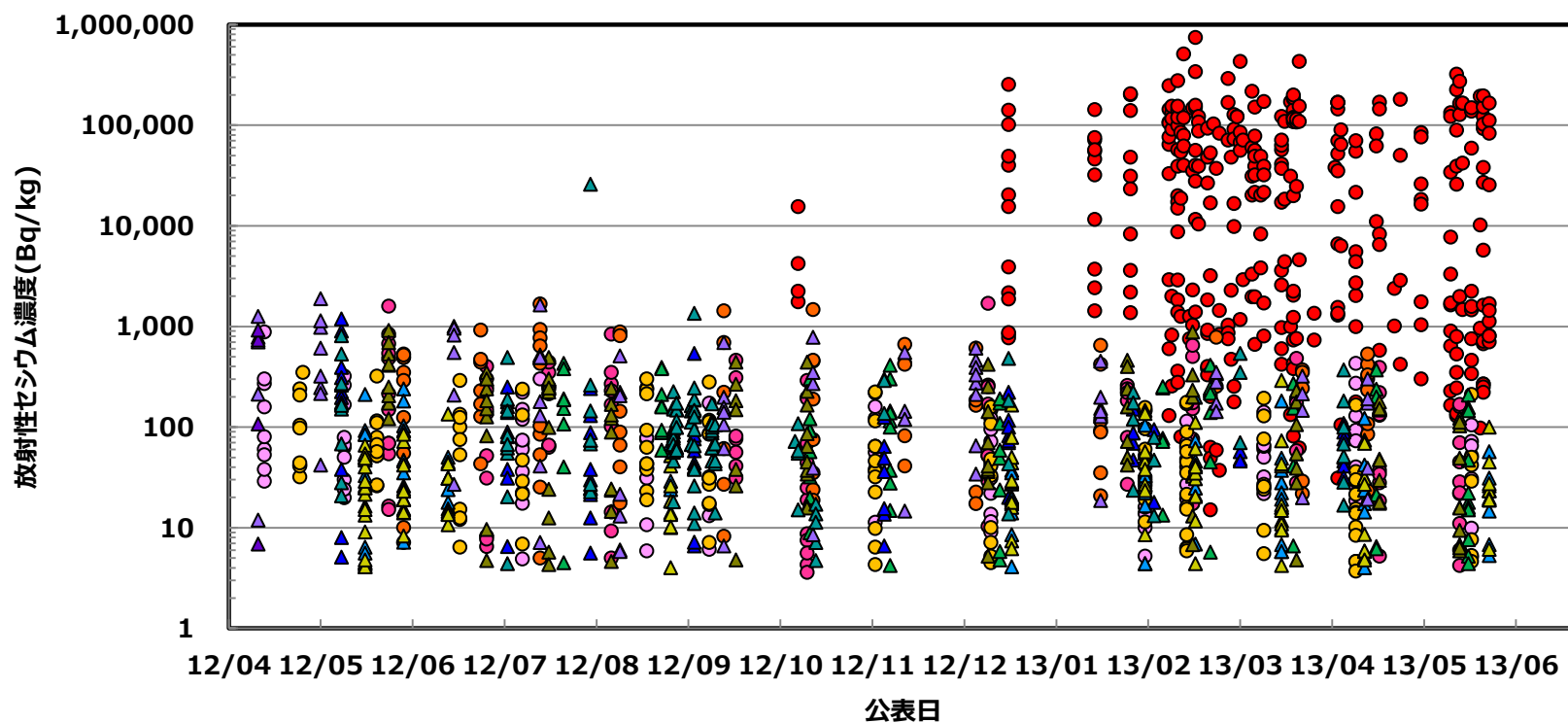
EPILOGUE



東京電力による海域モニタリング

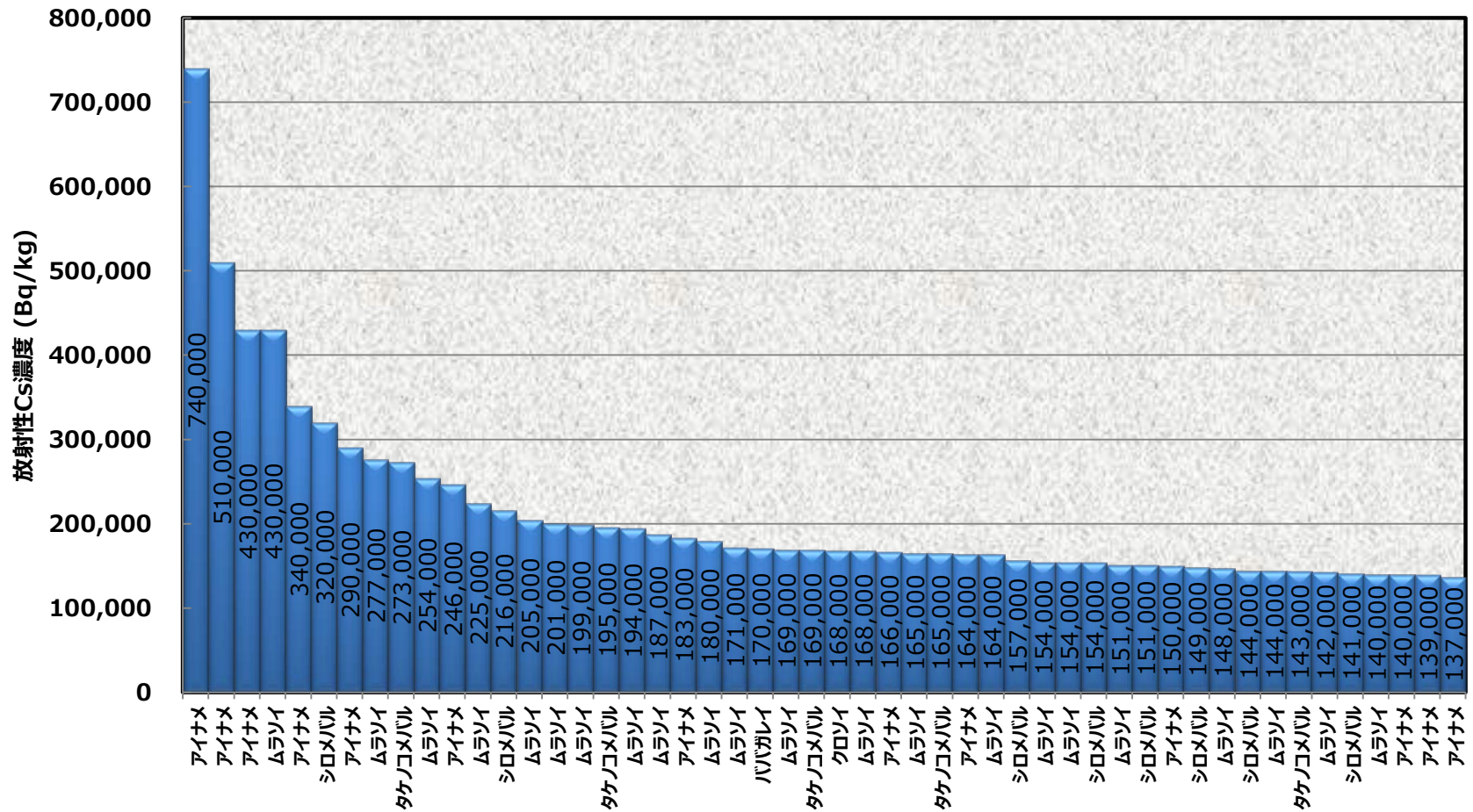


東電海域モニタリングにおける海産魚の 放射性Cs濃度



- 1F港湾内 ● 1F敷地沖合3km付近 ● 1F敷地沖合10km付近 ● 2F敷地沖合2km付近 ● 2F敷地沖合10km付近
- ▲ 熊川沖合4km付近 ▲ 小高区沖合3km付近 ▲ 小高区沖合15km付近 ▲ 請戸川沖合3km付近 ▲ 請戸川沖合18km付近
- ▲ 太田川沖合1km付近 ▲ 木戸川沖合2km付近 ▲ 木戸川沖合5km付近

東電第一原発港湾で捕獲された 放射性Cs高濃度魚種



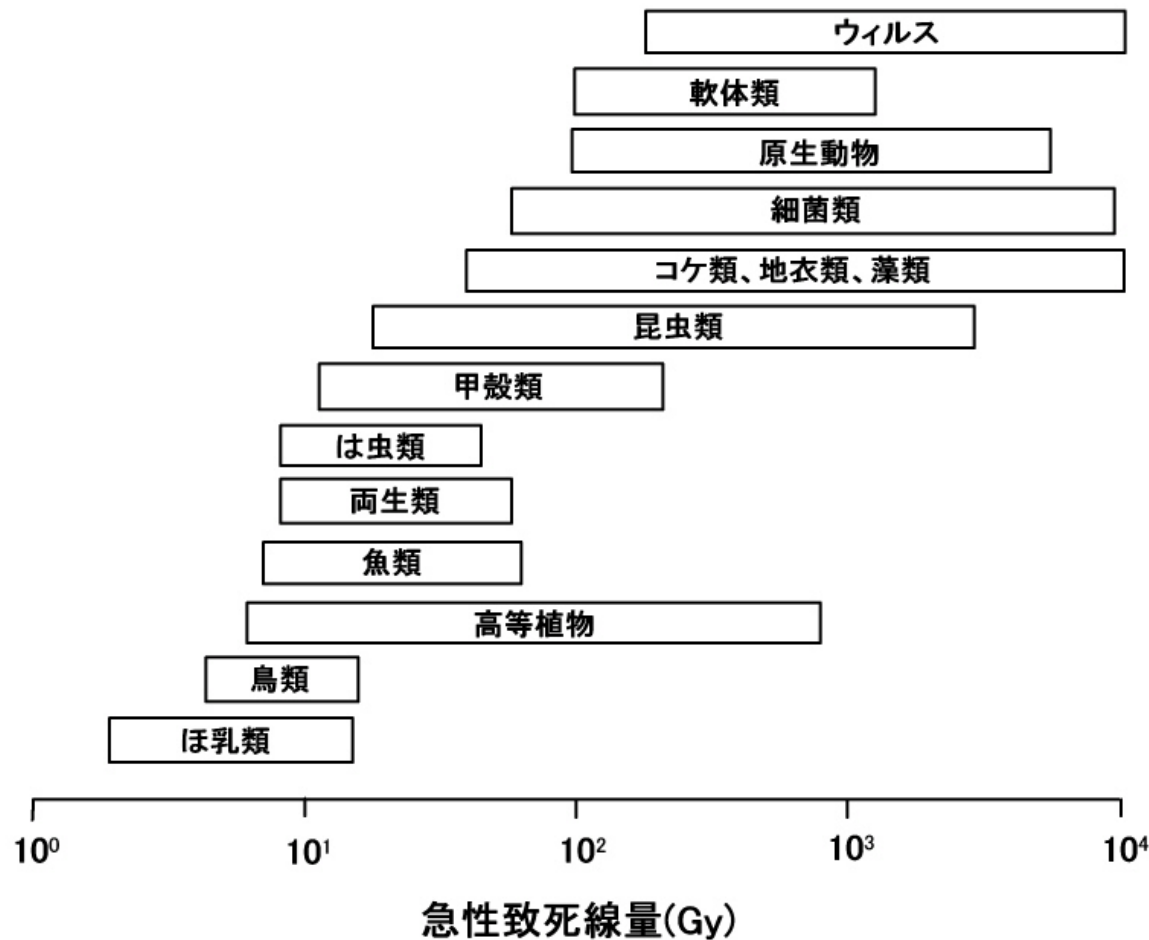
野生生物に対する放射線影響の考え方

- ヒトの場合：身体的及び遺伝的に獲得した変異に起因する個人において健康上起こり得るすべての損害(低線量で懸念される影響、がんのリスク)。
- 野生生物の場合：生物個体よりも生物集団。形態、生理、繁殖力、生産力、免疫適応における変化など確定的影響。遺伝的影響以外の確率的影響は、野生生物の影響を考えるうえで妥当性はないとされている。

● 野生生物に対する4つの考慮すべき影響

- ・Morbidity「罹患」：健全性の低下、免疫系、循環系、神経系などに対する影響
- ・Reproduction「再生産」：繁殖力や繁殖能力
- ・Cytogenetic effects「細胞遺伝的影響」：生殖腺、組織における遺伝的変化
- ・Mortality「致死影響」

放射線の急性照射に対する生物種ごとの 放射線感受性の比較



魚類の慢性被ばく影響

(国連科学委員会2008年報告より)

線量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	生物種	放射線種	観察された影響	影響の指標
$(1-10) \times 10^2$	ヒラメ メダカ コイ科の魚	γ	精巣重量と精子生産の減少 多産性の低下 放卵の遅滞	再生産
$(1-5) \times 10^3$	ヒラメ ゲンゲ科の魚 メダカ グッピー ニジマス	γ または β	精巣重量および精子含量の減少 精原細胞の極端な減少 繁殖力低下や完全不妊 オス求愛行動阻害 免疫反応低下	再生産 病的状態
$(5-10) \times 10^3$	メダカ	γ	精原細胞の減少	再生産
$(1-5) \times 10^4$	メダカ グッピー	γ	不妊・幼生生存率低下 脊椎異常の増加	再生産
$>5 \times 10^4$	グッピー	γ	両親の照射後の新生魚の無影響	致死影響

魚類の慢性被ばく影響

(国連科学委員会2008年報告より)

水系(評価期間)生物種	線量率 ($\mu\text{Gy/d}$)	観察された影響
Karachai湖(1951-1952)	300,000-800,000	湖沼生態系の全滅
Techa川	30-2,000	河川上流の魚類の大量斃死
チェルノブイリ原発冷却水貯留池(1986-1992) レンギョ(<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	0.2-3	再生組織系の異常増加 性細胞の47-90%に状態錯乱 生殖細胞の不妊
レニングラード原発廃棄物放水路(1980-1983) コイ科の魚類(ローチ、 <i>Rutilus rutilus</i>)	0.007-2	魚体の胸鰭鰭条数の非対称性 変動係数における2~3倍の増加

生物相に対する線量基準値の例

生物相	IAEA	NCRP	UNSCEAR (1996)
陸上植物	10mGy/d	—	
陸上動物 死亡率 再生産	1mGy/d	— — —	— 10mGy/d 1mGy/d
水生生物		10mGy/d	10mGy/d

福島第1原発近傍のアイナメの内部被ばく線量率

- アイナメ中放射性Cs : 740,000 Bq/kg
(ただし ^{137}Cs : ^{134}Cs =1:1とする)
- アイナメに対する線量換算係数として淡水産マス(1.26kg)の値が使用できるとすると(ICRP Pub108より):
 ^{137}Cs : $4.4 \times 10^{-3} (\mu\text{Gy/d}) / (\text{Bq/kg})$
 ^{134}Cs : $4.9 \times 10^{-3} (\mu\text{Gy/d}) / (\text{Bq/kg})$
- 答え :
$$370,000 (\text{Bq/kg}) \times 4.4 \times 10^{-3} (\mu\text{Gy/d}) / (\text{Bq/kg})$$
$$+ 370,000 (\text{Bq/kg}) \times 4.9 \times 10^{-3} (\mu\text{Gy/d}) / (\text{Bq/kg})$$
$$= 3,441 (\mu\text{Gy/d}) = 3.4 (\text{mGy/d})$$

海洋の放射能汚染でゴジラは誕生するか？



ゴジラ：
海生爬虫類から
陸上獣類に進化
しようとする中間
型の生物、
身長:50m、多く
の解説文には核実
験の放射線で恐竜
が変異したとされてい
る。