



2015年11月6日

小田原お堀端コンベンションホール

福島第一原発事故による水産物の汚染の今

森田 貴己

国立研究開発法人
水産総合研究センター中央水産研究所（水産庁 東海区水産研究所）

独立行政法人
水産総合研究センター本部

2010年4月～2013年9月
水産庁在籍



水産研究所における主な放射能調査

- 1954年 第5福竜丸被爆をうけて、調査開始（俊鶺丸）
- 1950年～ 米ソ大気圏内核実験増加をうけて、調査を強化
- 1960年～ 米国原子力潜水艦寄港に対して調査開始
- 1975年～ 深海への低レベル放射性廃棄物投棄予備調査開始
- 1986年 チェルノブイリ事故対応調査
- 1993年 旧ソ連日本海への放射性廃棄物海洋投棄に対して、
IAEA、韓国、ロシアと国際共同調査
- 1997年 米国の劣化ウラン弾影響調査
- 1999年 東海村JCO臨海事故対応
- 2011年～ 東電福島第一事故対応



東京都立
第五福竜丸展示館



俊鶺丸錨（水産大学校、下関）

海産生物等放射能調査 (海産生物)

日本海区水産研究所

ブリ	スルメイカ
ハタハタ	ホタルイカ
ニギス	マガキ
アカガレイ	ツバイ
サクラマス	ズワイガニ
マアジ	ホッコクアカエビ
スケトウダラ	ワカメ
マイワシ	ミスダコ
カタクチイワシ	マダコ
クロマグロ	

水産工学研究所

イカナゴ	キチジ
カジカ類	ホッケ (2地点)
スケトウダラ (2地点)	

北海道区水産研究所

シロザケ	メヌケ類	ホタテガイ
ニシン	アブラガレイ	ツブガイ
ホッケ	スケトウダラ (2地点)	ベニズワイ
マダラ	ミスダコ	ナガコンブ

中央水産研究所

マイワシ (2地点)	スルメイカ
マサバ	マダコ (2地点)
ブリ	サクラエビ
サンマ	マガキ
キンメダイ	アワビ
マグロ類 (4地点)	ワカメ
アブラツノザメ	

西海区水産研究所

マアジ	マダコ (3地点)
タチウオ	ウチワエビ
シログチ	サザエ
ゴマサバ	ワカメ
アマダイ	ソウダカツオ

試料選択の考え方

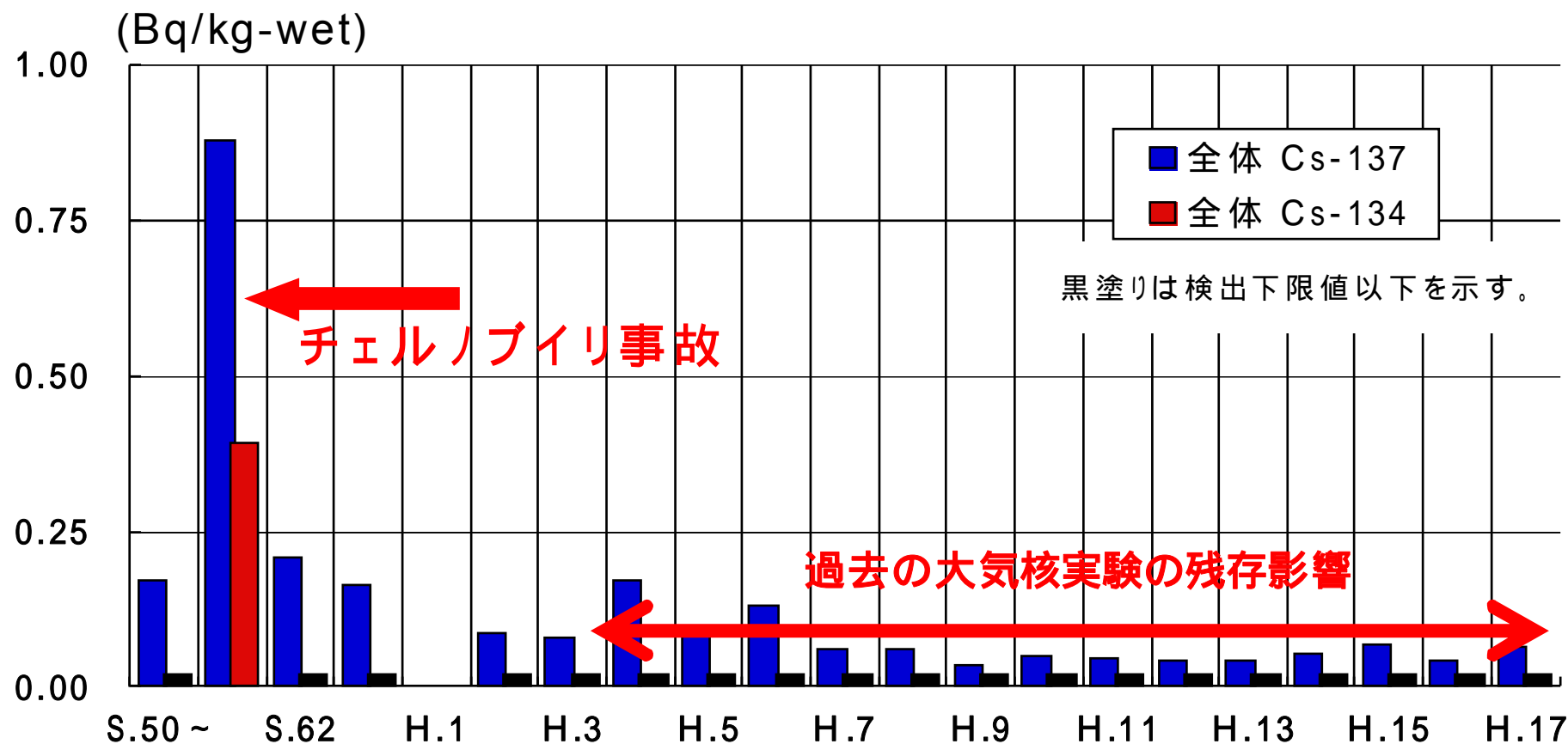
海域

魚類、軟体類、甲
殻類、藻類

浮魚、底魚

食性 (低次、高次)

北太平洋産マイワシの ^{137}Cs 濃度の経年変化



マイワシ中のCs-134,-137濃度の経年変化

東電福島第一原発から放出された主な放射性元素

- ヨウ素.....I-131（半減期 8.04日）
- セシウム… Cs-137（半減期 30.1年）、Cs-134（半減期 2.07年）
 - 1) カリウムと同じ挙動を示し、**水に良く溶ける**。→特定の臓器に蓄積しつづけない。
 - 2) **強く粘土にくっつく**。

・ビキニ事故で、主体であった重金属系の放射性元素（Mn-54, Fe-59, Co-60, Zn-65）は、今回の事故では微量しかありません。

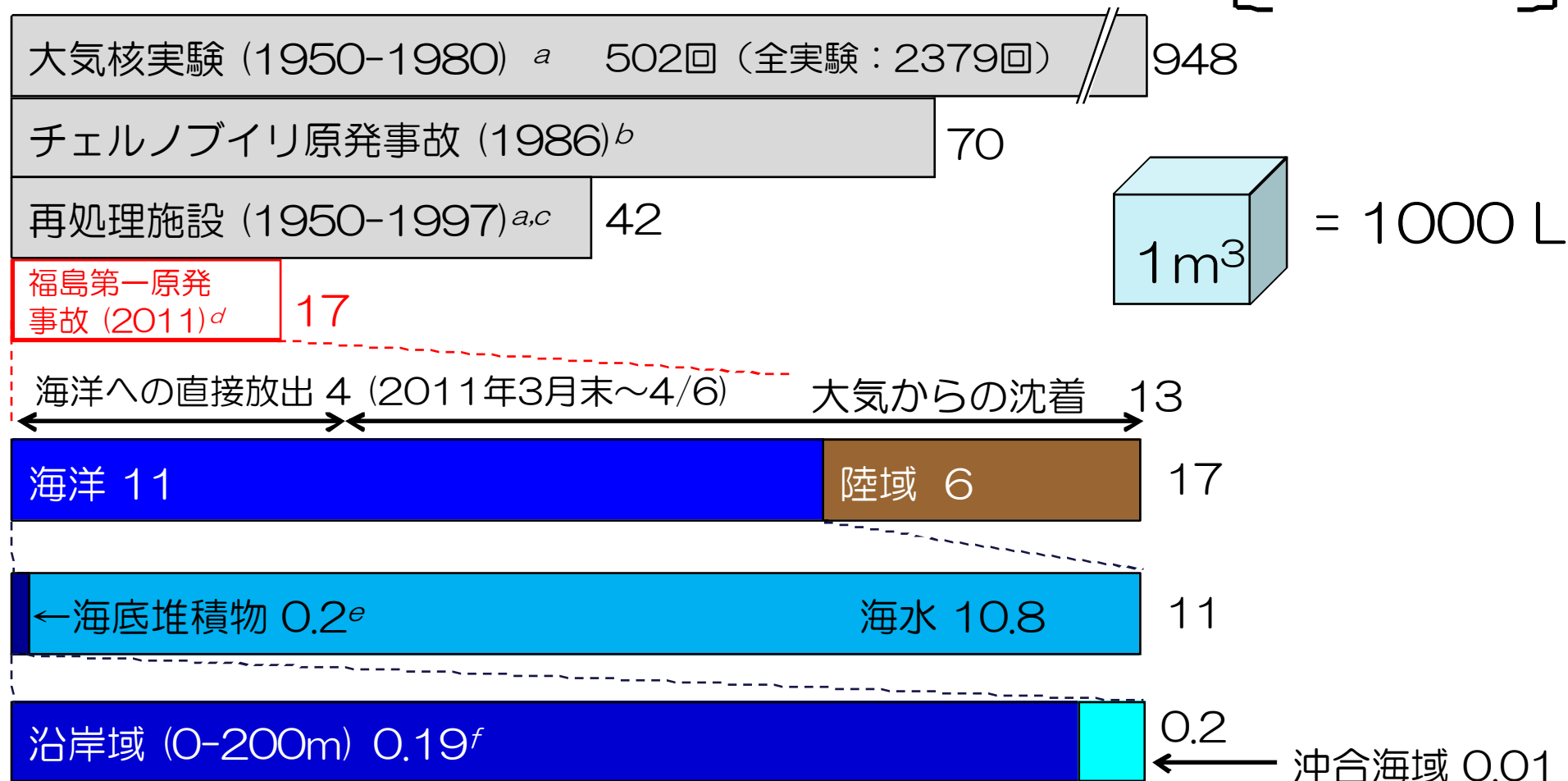
元素周期表

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8				1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0
1	H																		He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	**																
*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

^{137}Cs の環境への放出量 (PBq = 10^{15}Bq)

福島第一原発の事故では、 ^{137}Cs = 134 Cs (放射能量)

[Cs-137: 約5.0kg
Cs-134: 約350g]



^a UNSCEAR (2000), ^b UNSCEAR (1993), ^c Smith et al. (1993) *J. Environ. Radioact.* 68, 193-214, ^d Kobayashi et al. (2013) *J. Nucl. Sci. Technol.* In press, ^e 乙坂, 小林 (2013) 水環境学会誌 36, 印刷中 (2011年11月現在の推定値), ^f 原子力機構 (未公表データ)

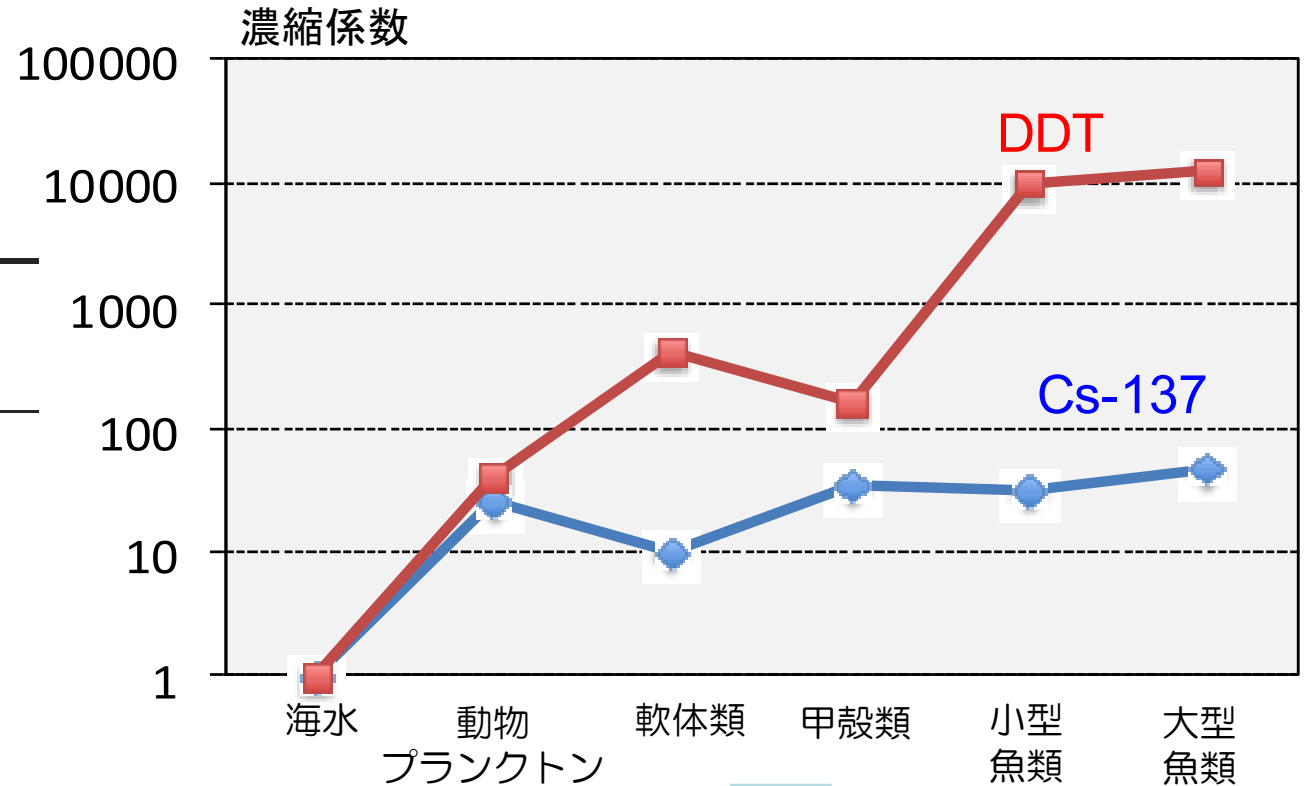
(原研 乙坂氏より改)

食物連鎖をつうじて濃縮しないの？

$$\text{濃縮係数} = \frac{\text{生物中の濃度}}{\text{水中の濃度}}$$

濃縮係数	海産魚の濃縮係数
セシウム	5~100
ヨウ素	10
ストロンチウム	1~3
ウラン	10
プルトニウム	3.5
水銀	360~600
DDT	12000
PCB	1200~10000000

生物濃縮はかなり低い。

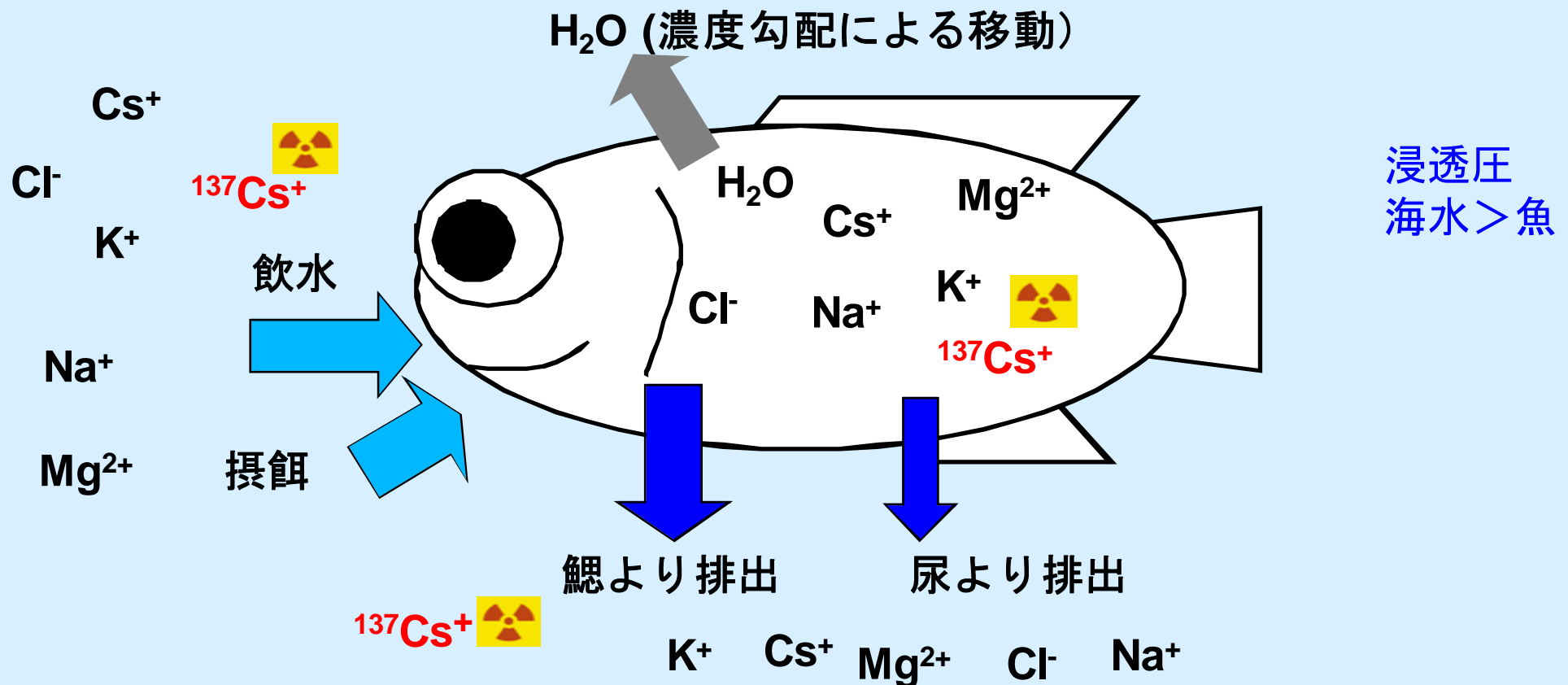


食物連鎖をつうじて、蓄積し続けるわけではない。

なぜ、蓄積し続けないのか？

水産物中の塩類の流れ（１）

1. セシウムは、水によく溶ける性質があります。

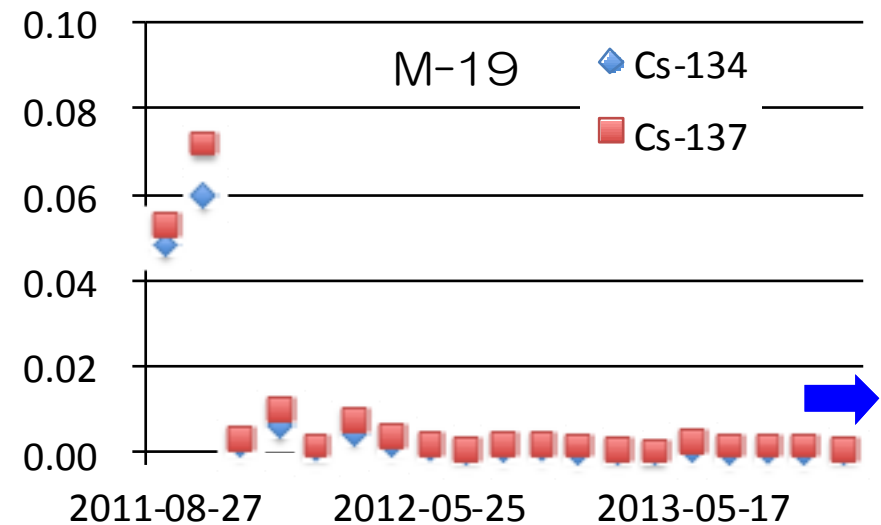
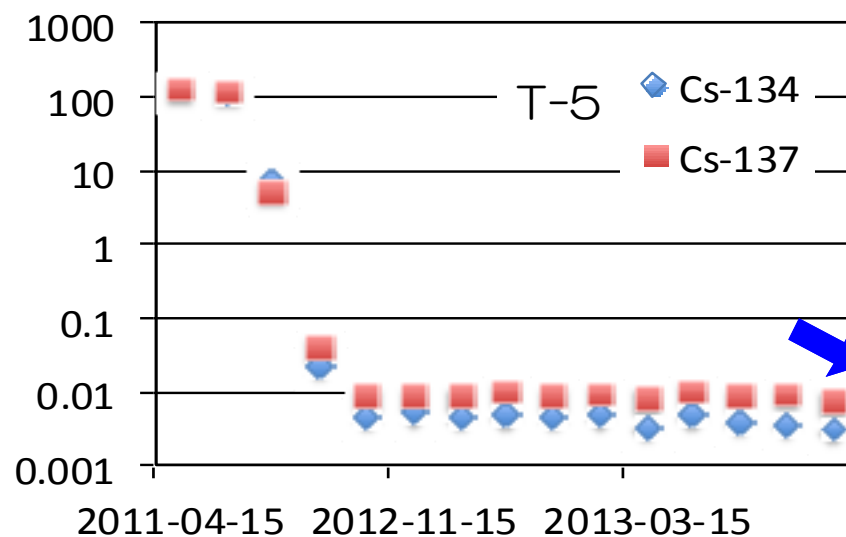
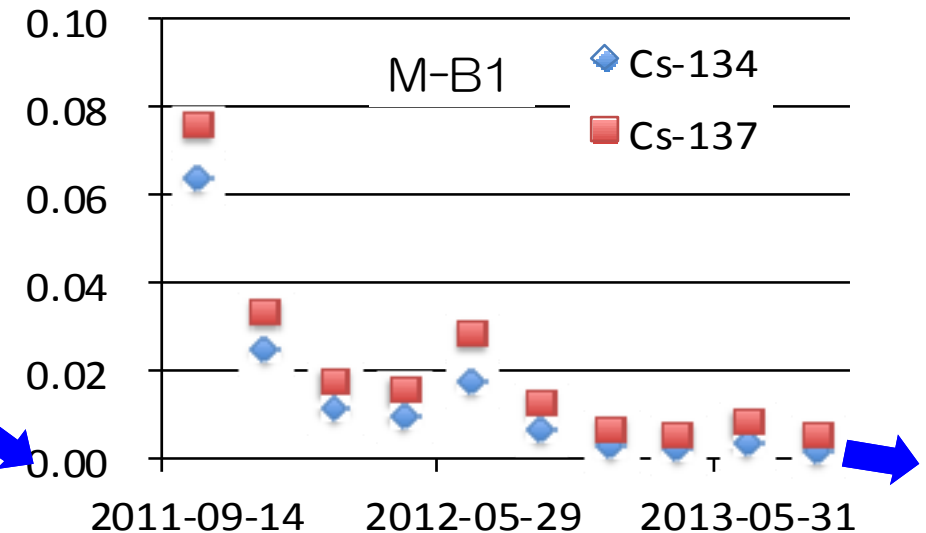
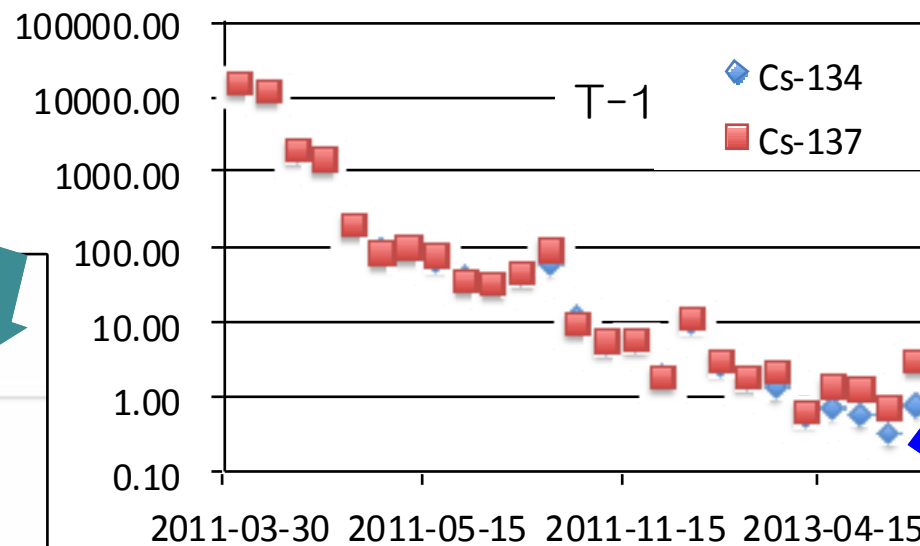
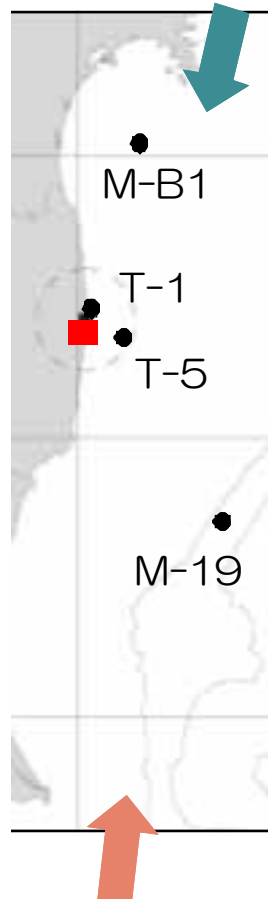


- ・ 放射性Csは体外に排出されるので、蓄積しつづけない。
- ・ 魚中（特に浮魚）の濃度は海水に依存する。

（参考文献：会田勝美編、魚類生理学の基礎, 2002）

海水中の放射性物質の濃度 (Bq/L)

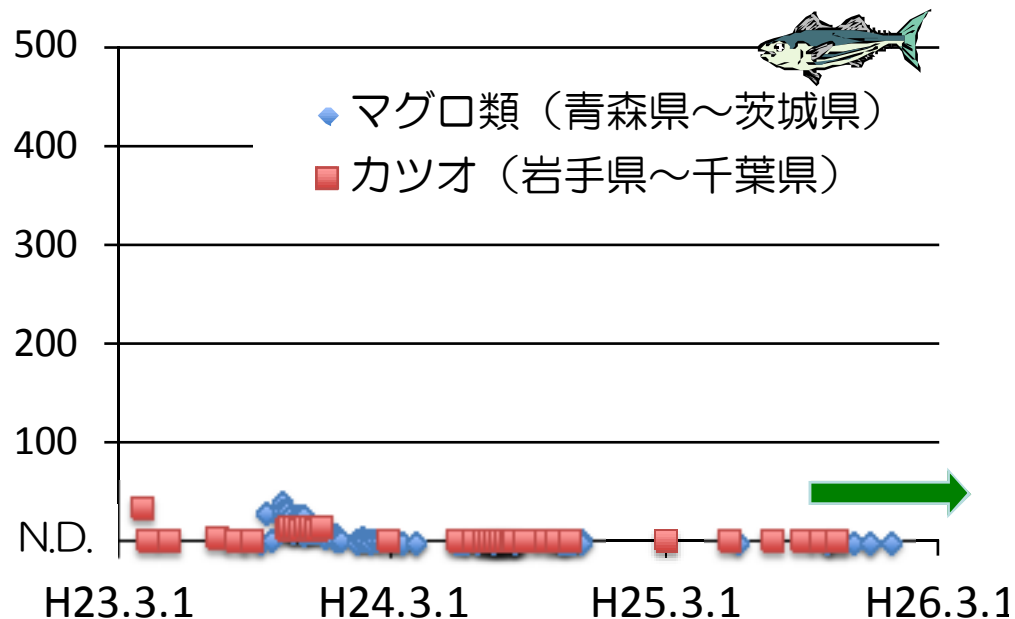
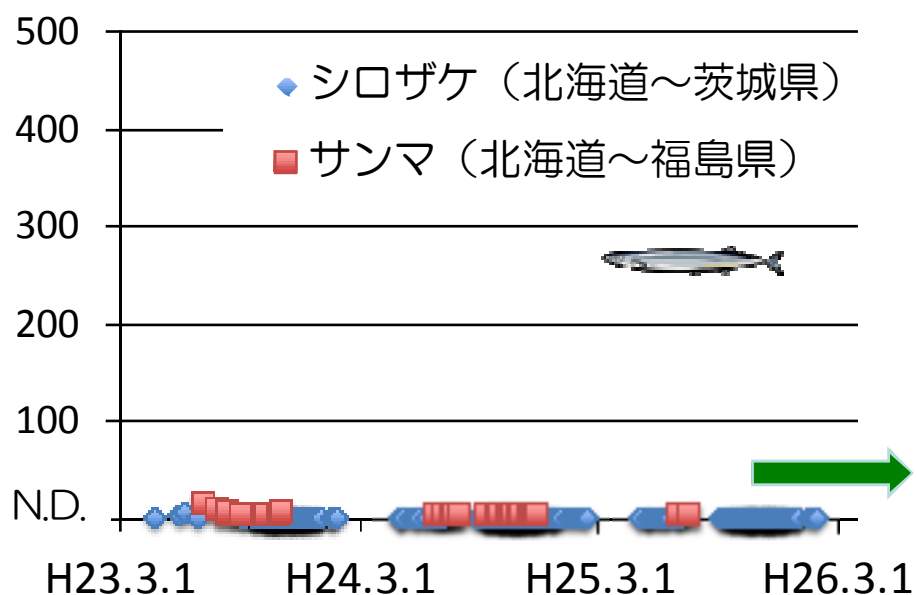
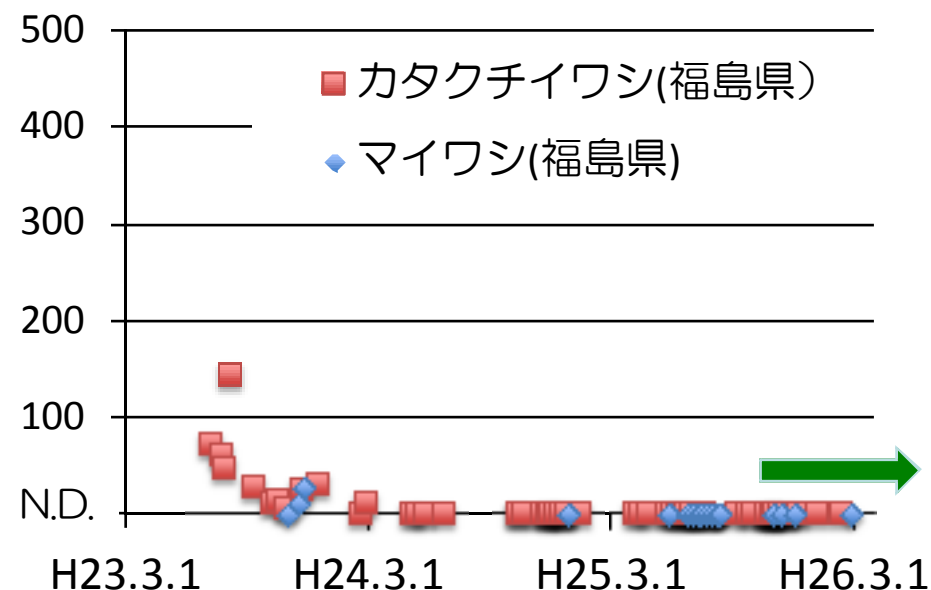
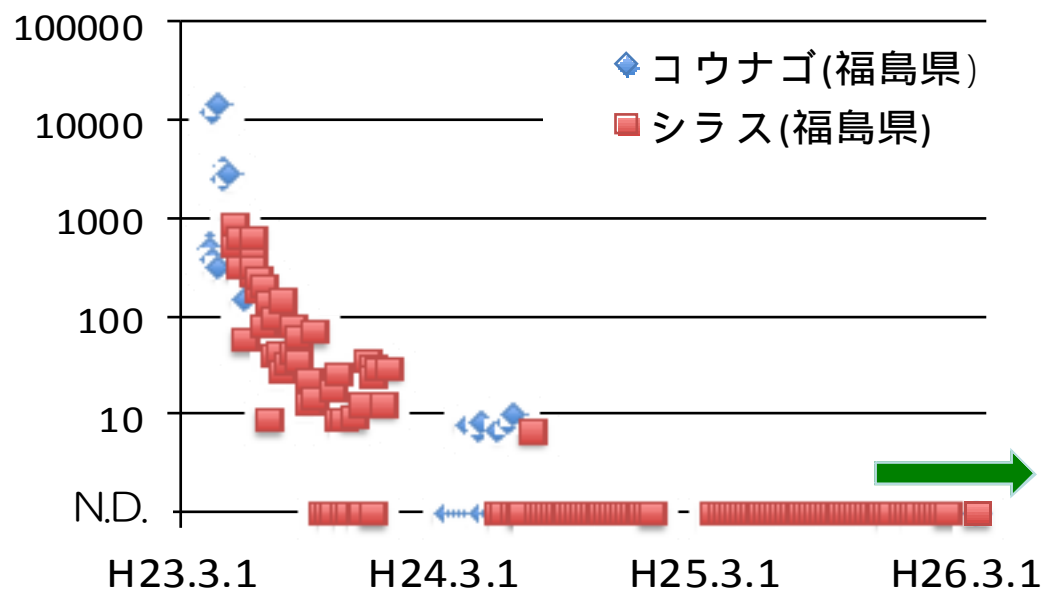
(規制庁HPより)



海水の濃度は、港湾の外では既に事故前の水準 (0.0013~0.0019 Bq/L) です。

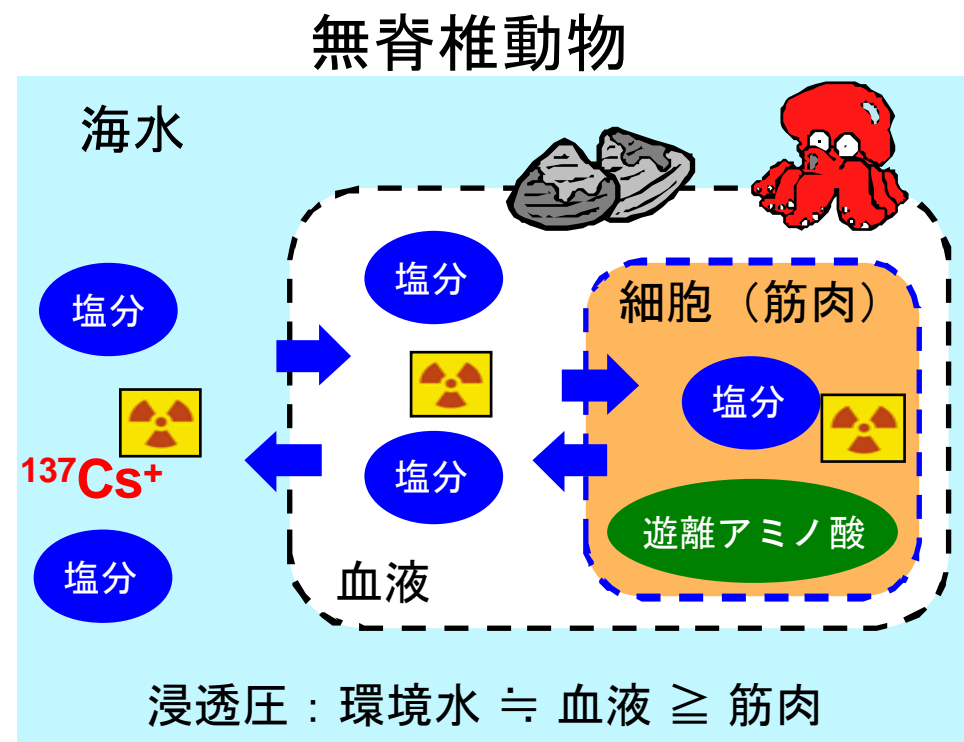
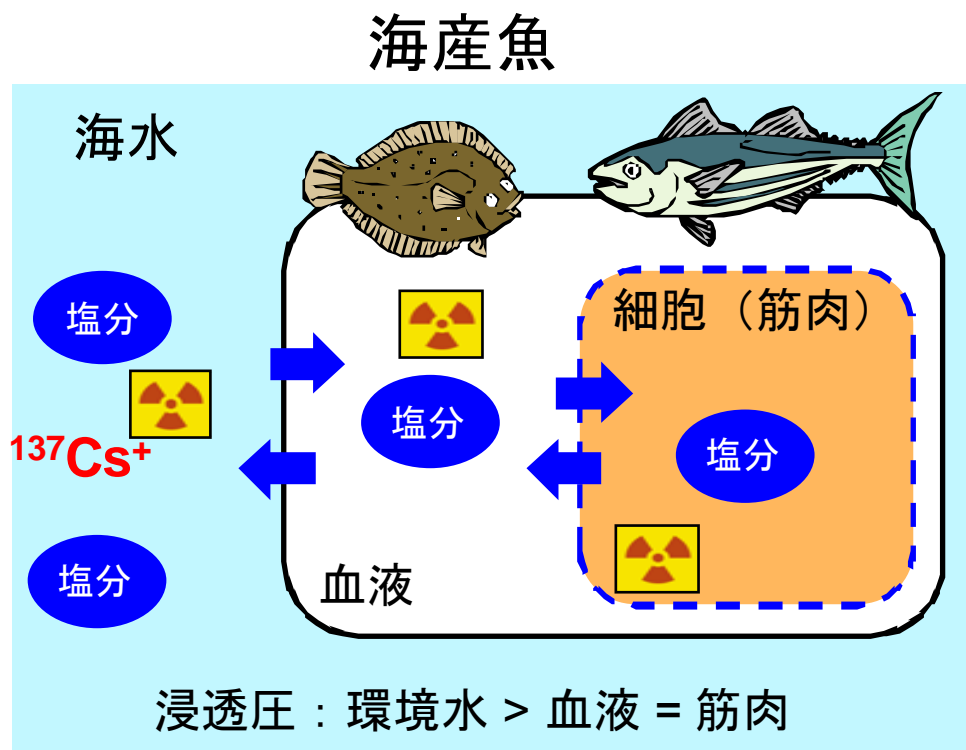
水産物の汚染状況（１）

Cs-134 + Cs-137 の合算値(Bq/kg-wet)



水産物中の塩類の流れ（２）

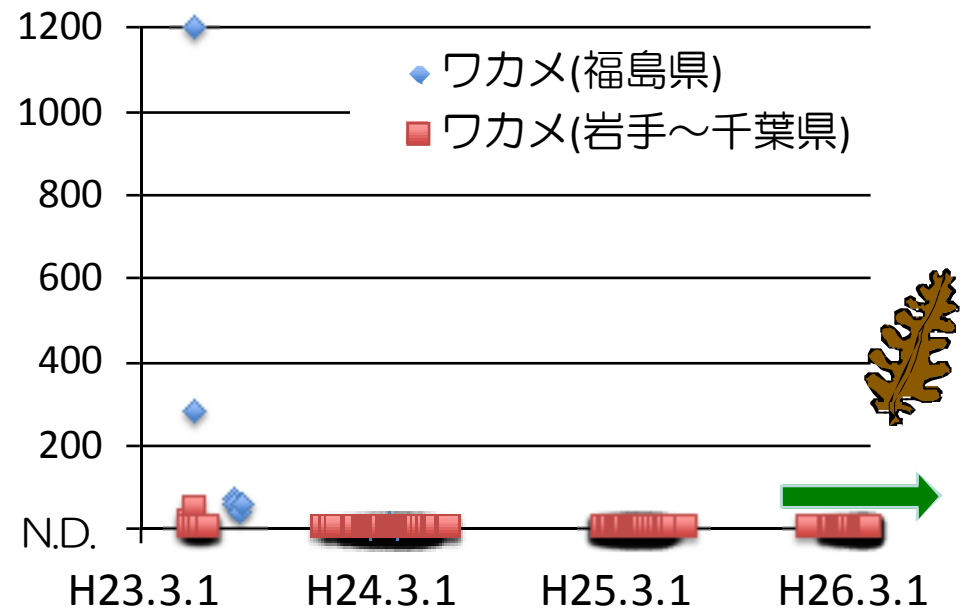
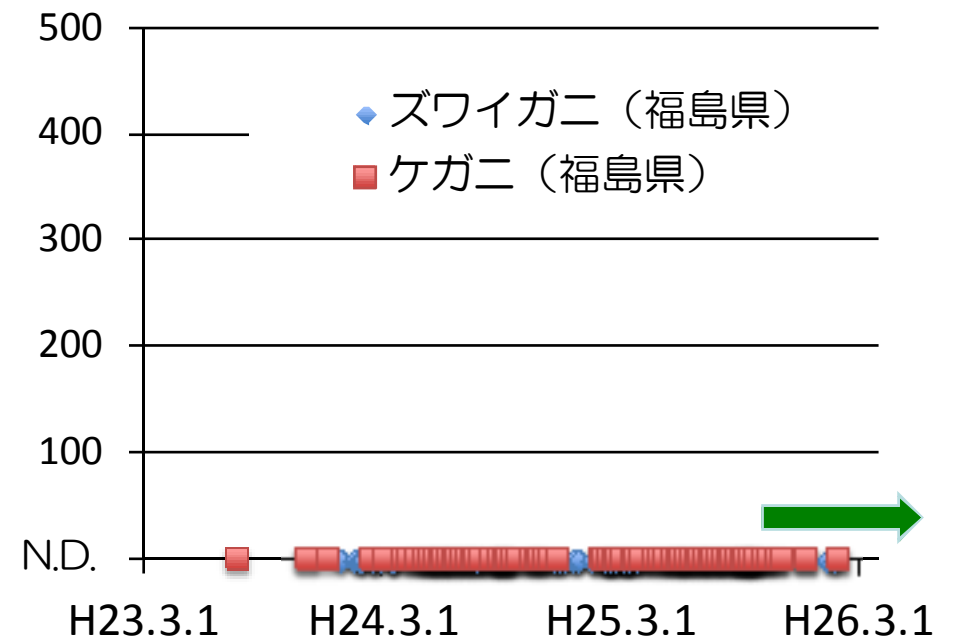
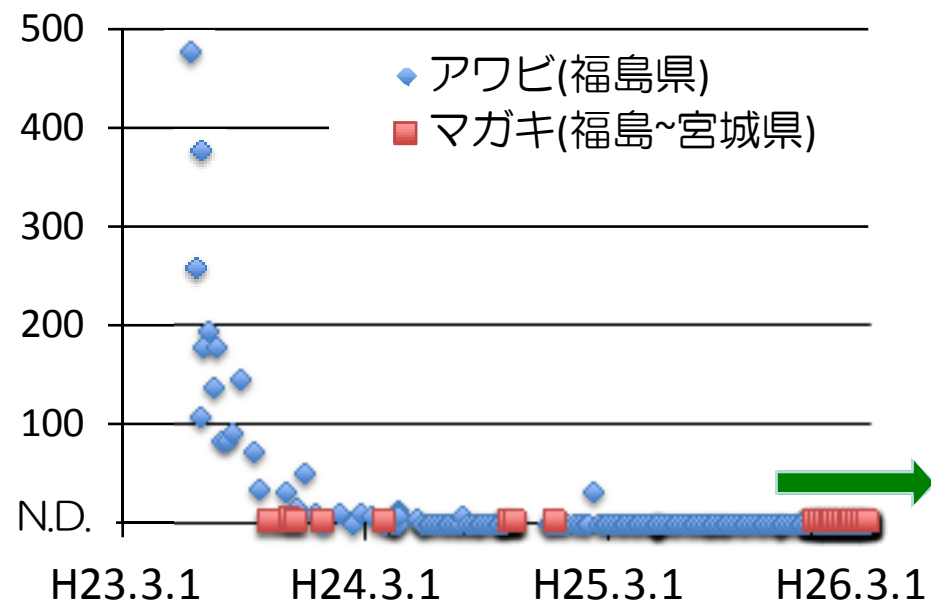
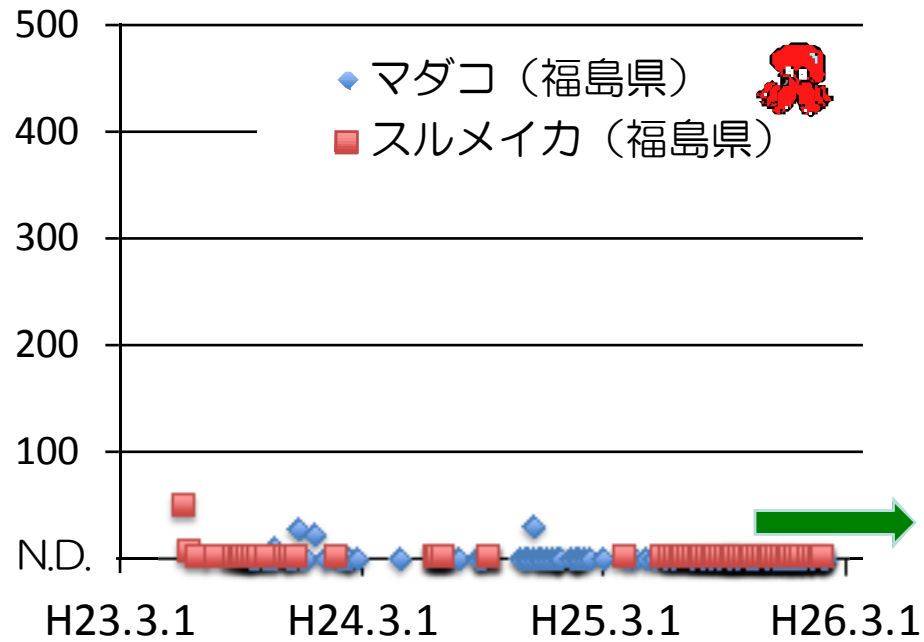
◎無脊椎動物は海水とほぼ同じ浸透圧を持つため、海水の濃度が低下すると直に濃度が低下する。



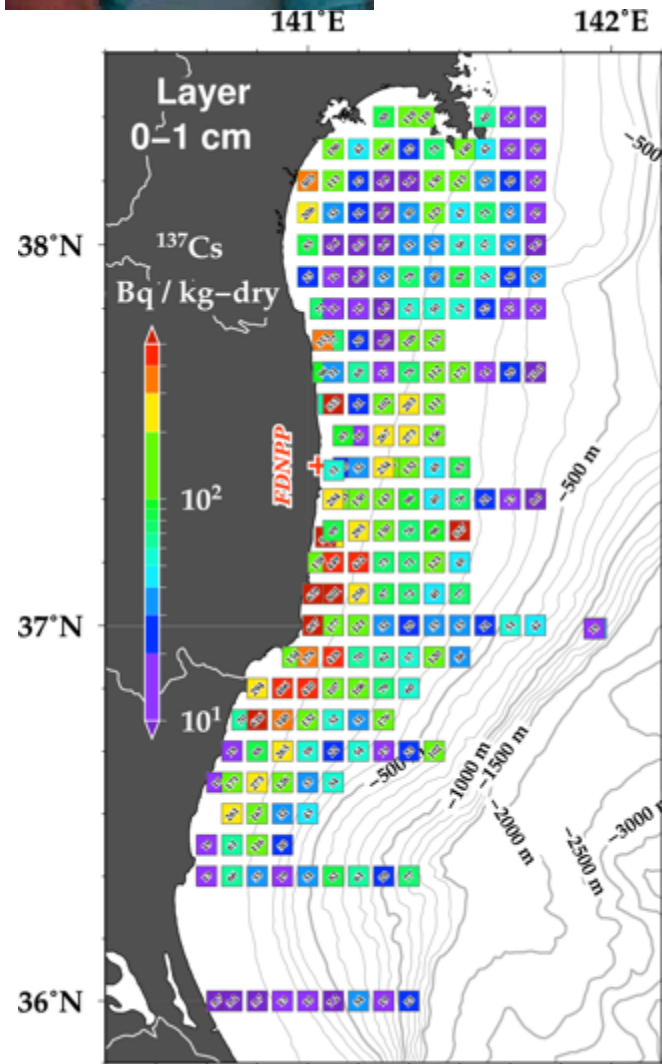
※福島県の試験操業が、タコと貝類から始まったのは、科学的根拠があります。

水産物の汚染状況（２）

Cs-134 + Cs-137 の合算値(Bq/kg-wet)

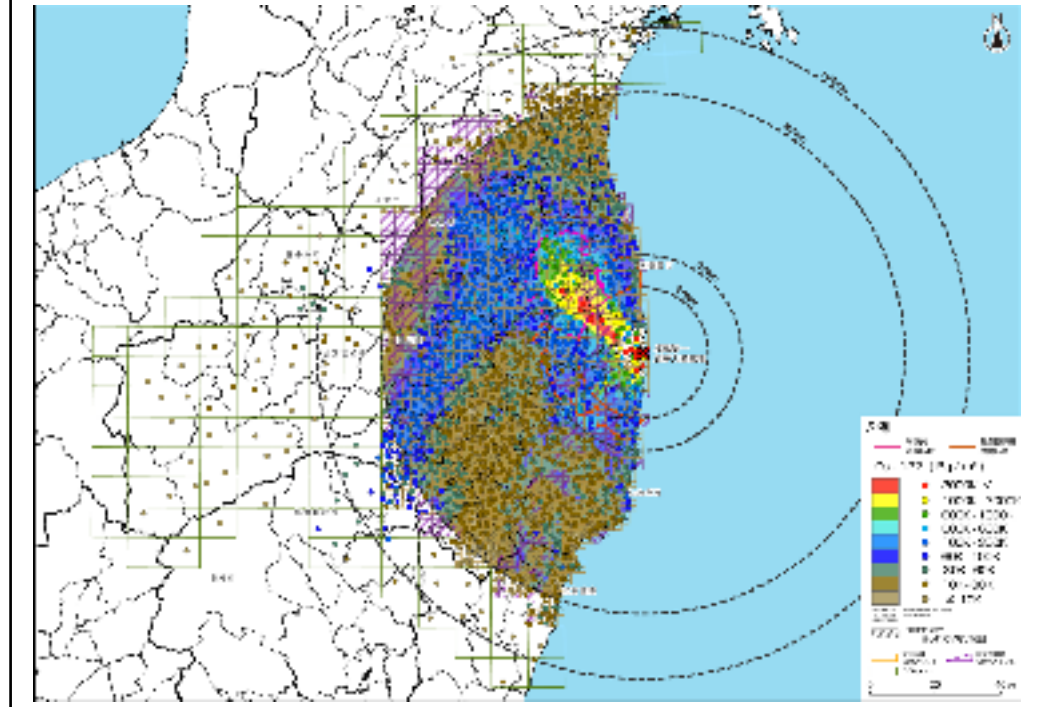


海底土の汚染状況



(水研センター安部ら)

第3次航空機モニタリング結果とセシウム137の土壌濃度マップの比較について 別紙6



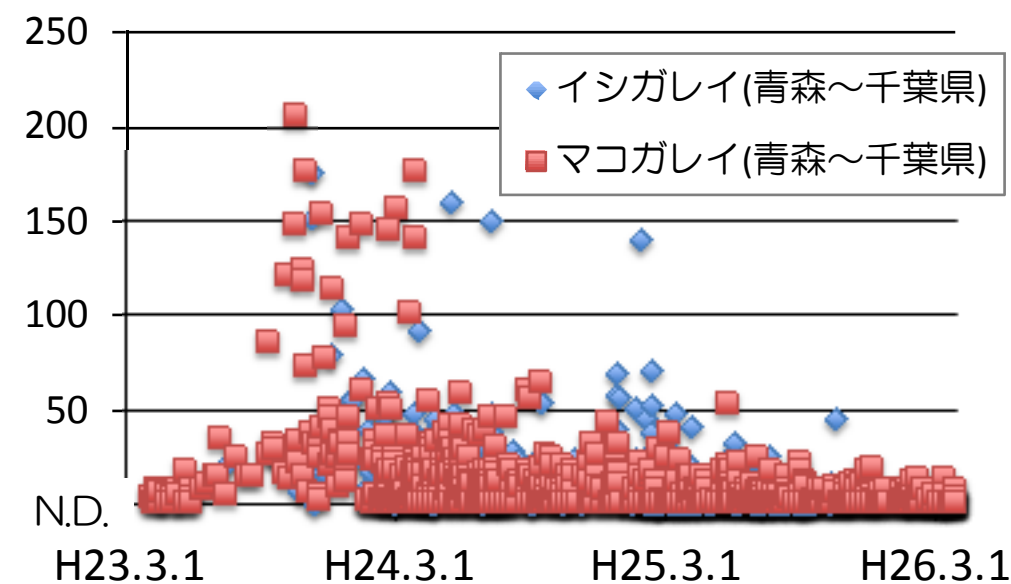
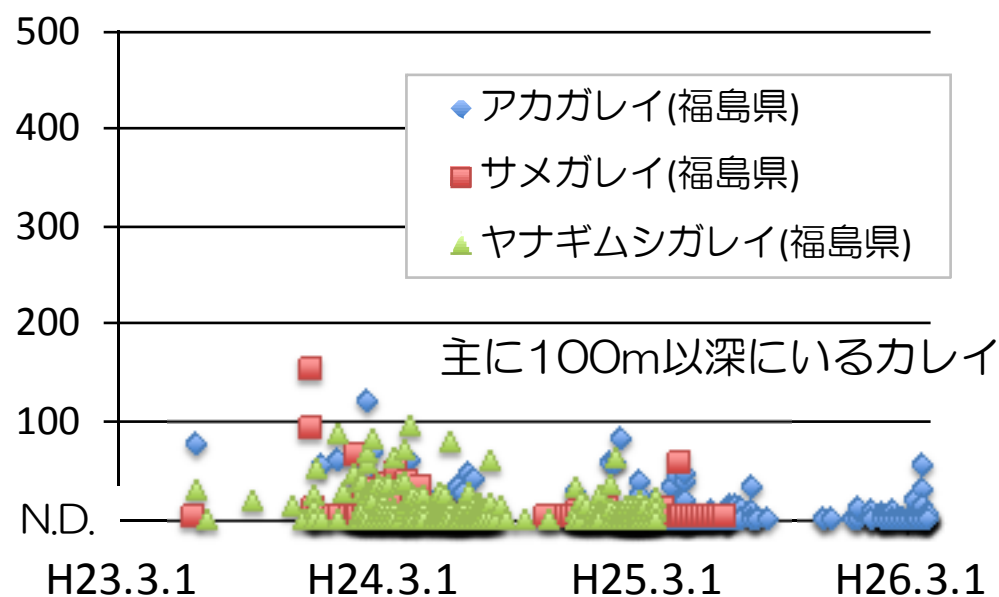
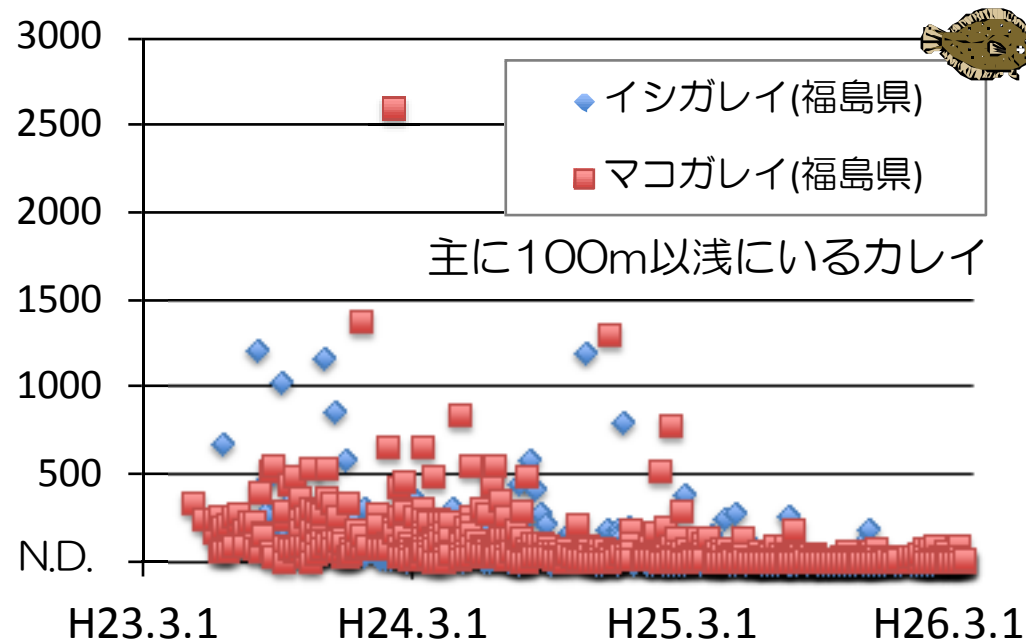
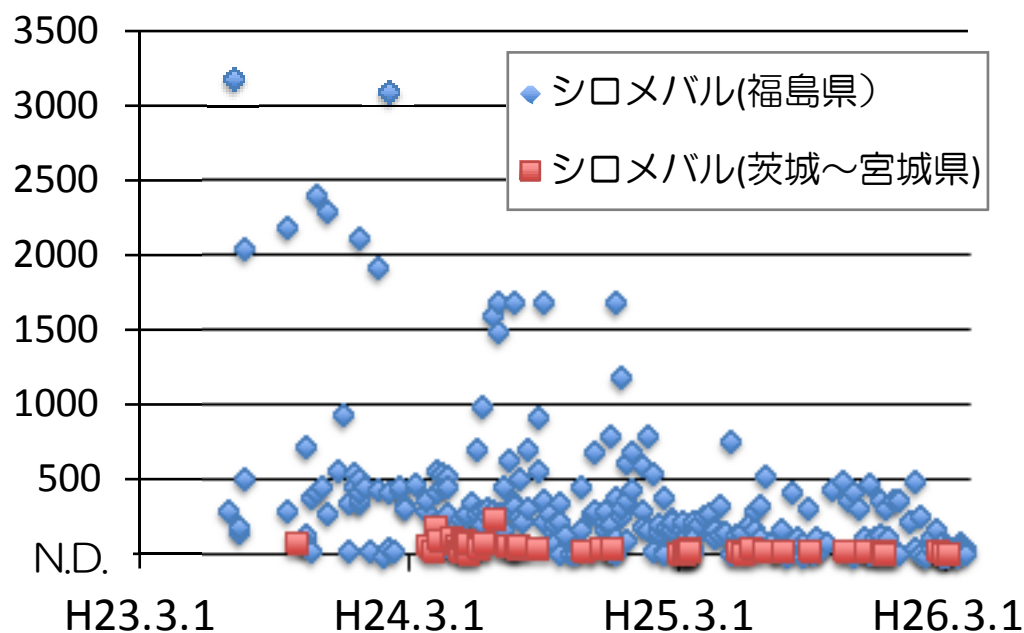
(文部科学省HPより)

~ 7.1×10^{11} Bq/km² (原発極近傍除く)

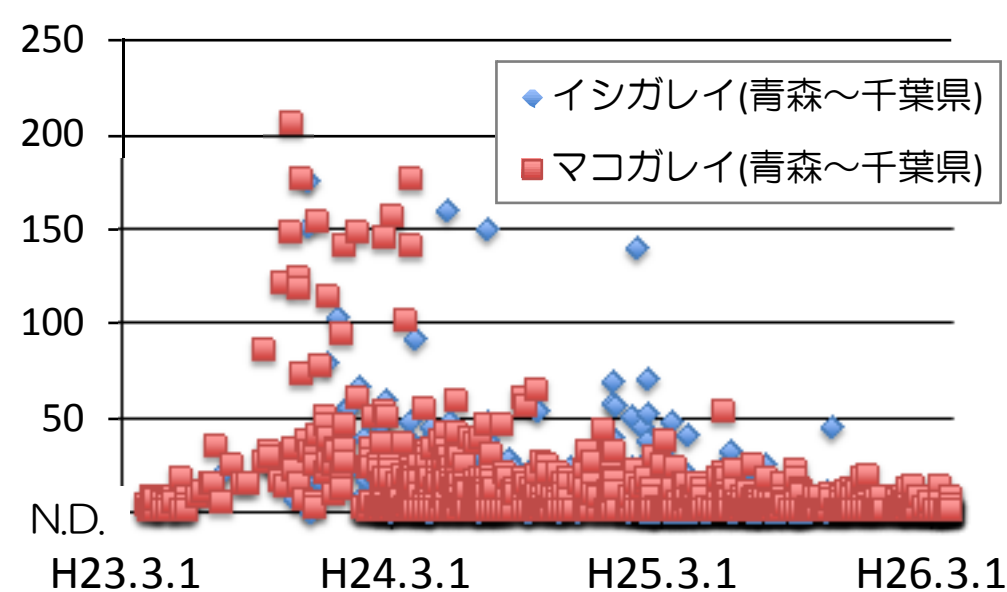
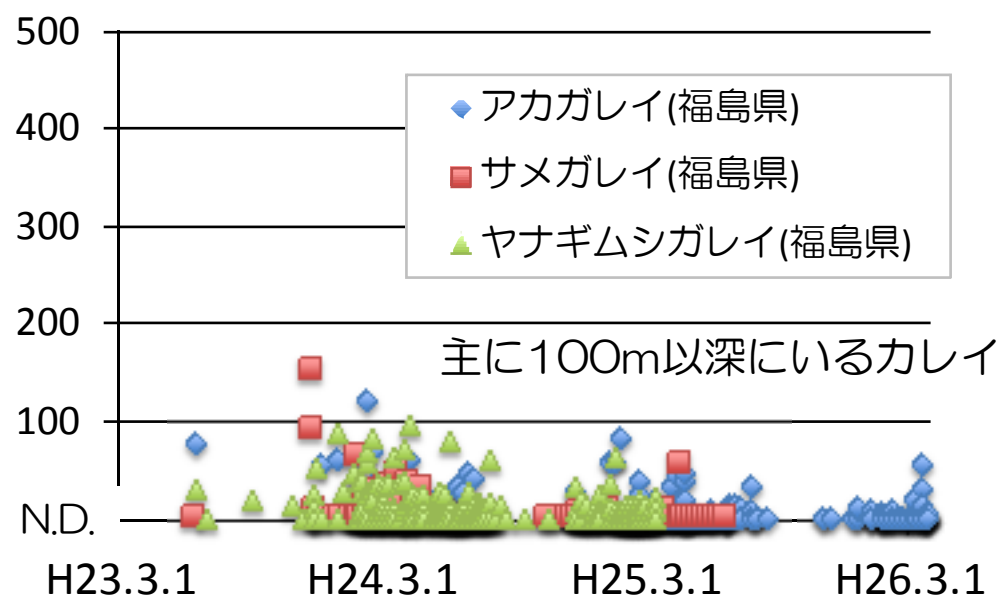
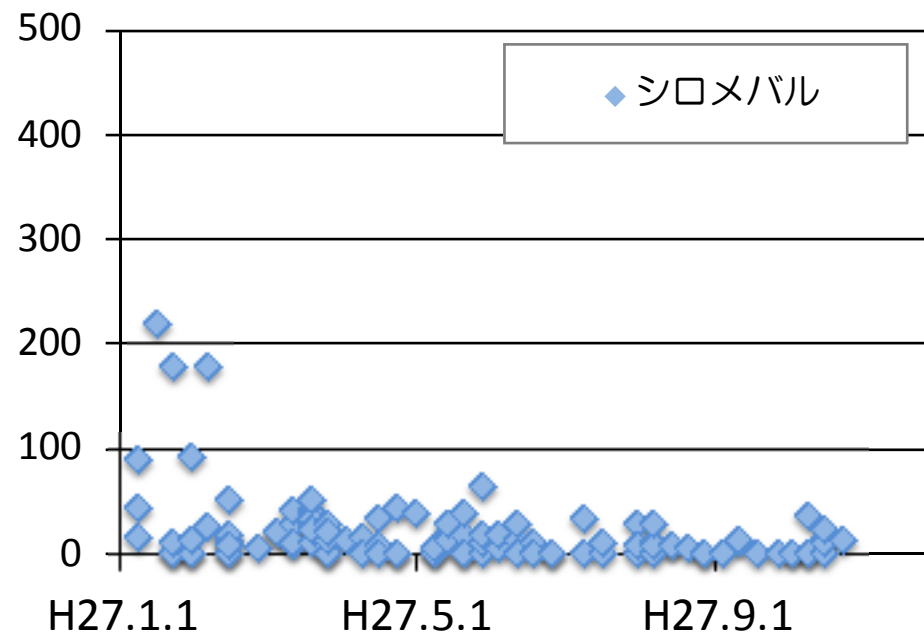
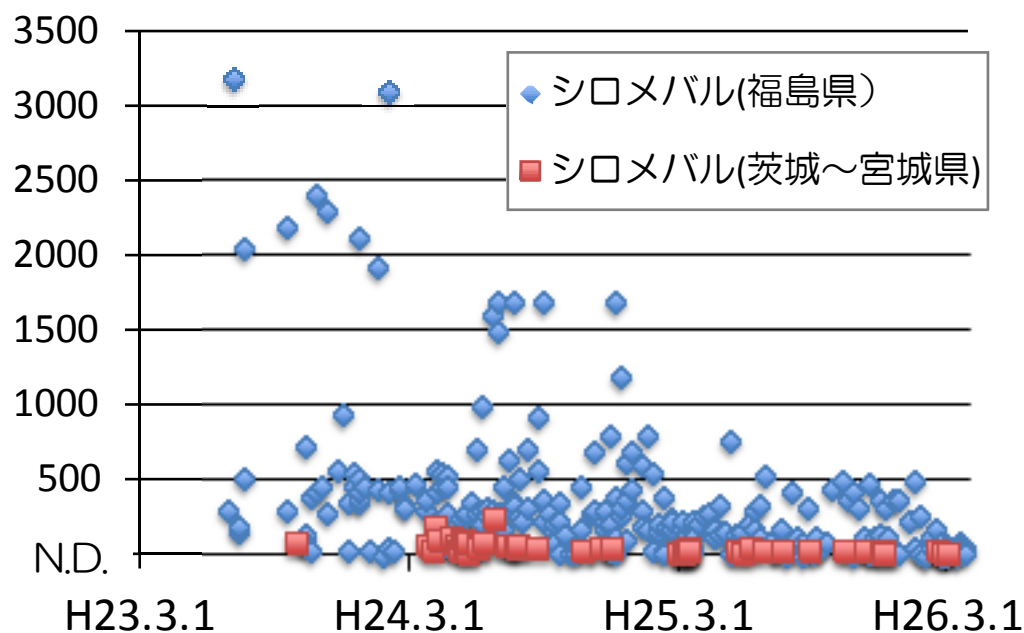
約10~1250Bq/kg-dry (平均200 Bq/kg-dry)

→ $1.3 \times 10^8 \sim 1.6 \times 10^{10}$ Bq/km² (平均 2.6×10^9 Bq/km²)

水産物の汚染状況 (3) Cs-134 + Cs-137 の合算値 (Bq/kg-wet)



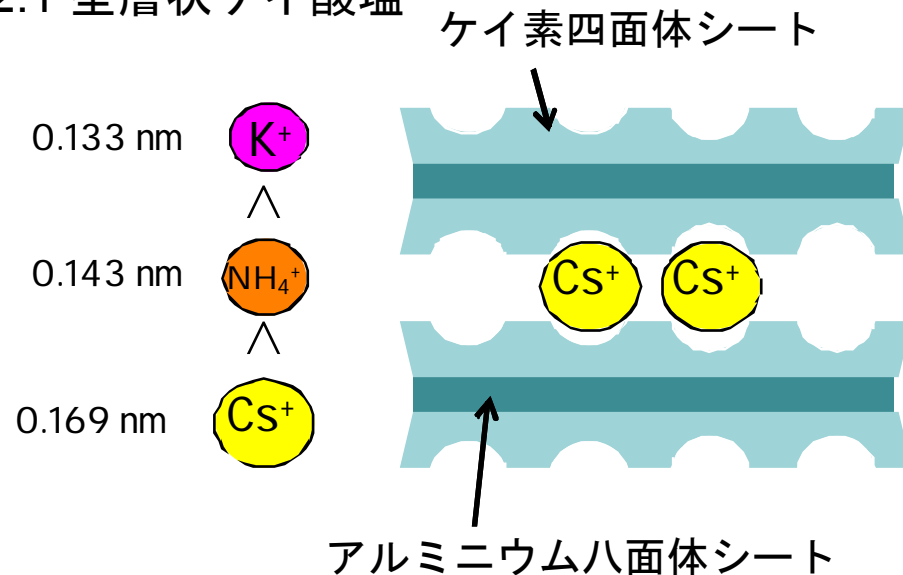
水産物の汚染状況 (3) Cs-134 + Cs-137 の合算値(Bq/kg-wet)



海底土中の放射性セシウムの移行

2. セシウムは、粘土鉱物に強く吸着する性質があります。

2:1 型層状ケイ酸塩



(土壌肥料学会HPより)

地下水は汚染されない。

生物に吸収されるのが困難

海底土からのCs-137の移行割合

ゴカイ (汽水性)	0.179
海藻 (紅藻)	0.069
二枚貝 (コタマガイ)	0.045
ナマコ (深海性)	0.04

参考文献

- ・Ueda et.al, J Radiat Res,19, 1978.
- ・森田, ていち,120, 2012.

これまでの研究では、海底土からの
海産物への移行は少ないとされている。

阿武隈川のアユ (2013年7月)

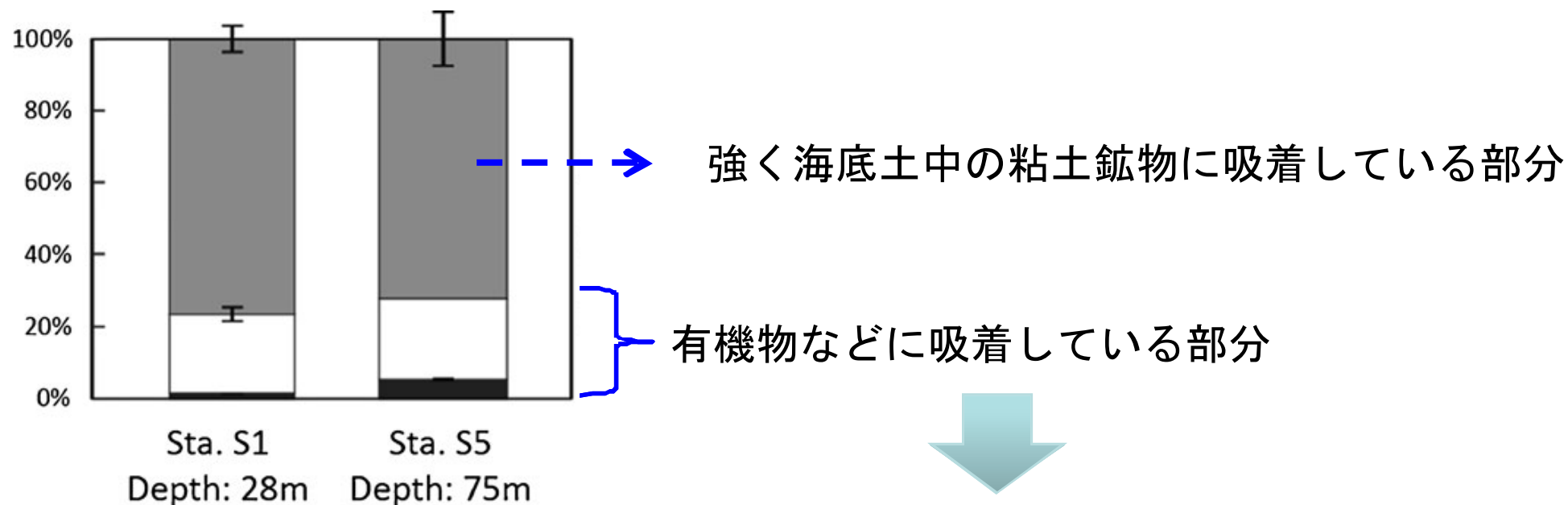
筋肉: 44 Bq/kg-wet

胃内容物: 1479 Bq/kg-wet

底魚類の汚染源は？（１）

セシウムは、海底土に吸着しているのでは？

茨城県沖堆積物中の ^{137}Cs の形態別存在割合



・魚が食べるものに汚染がある（あった）

■ Residue

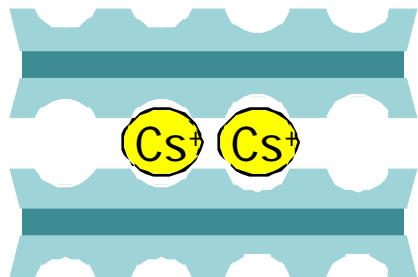
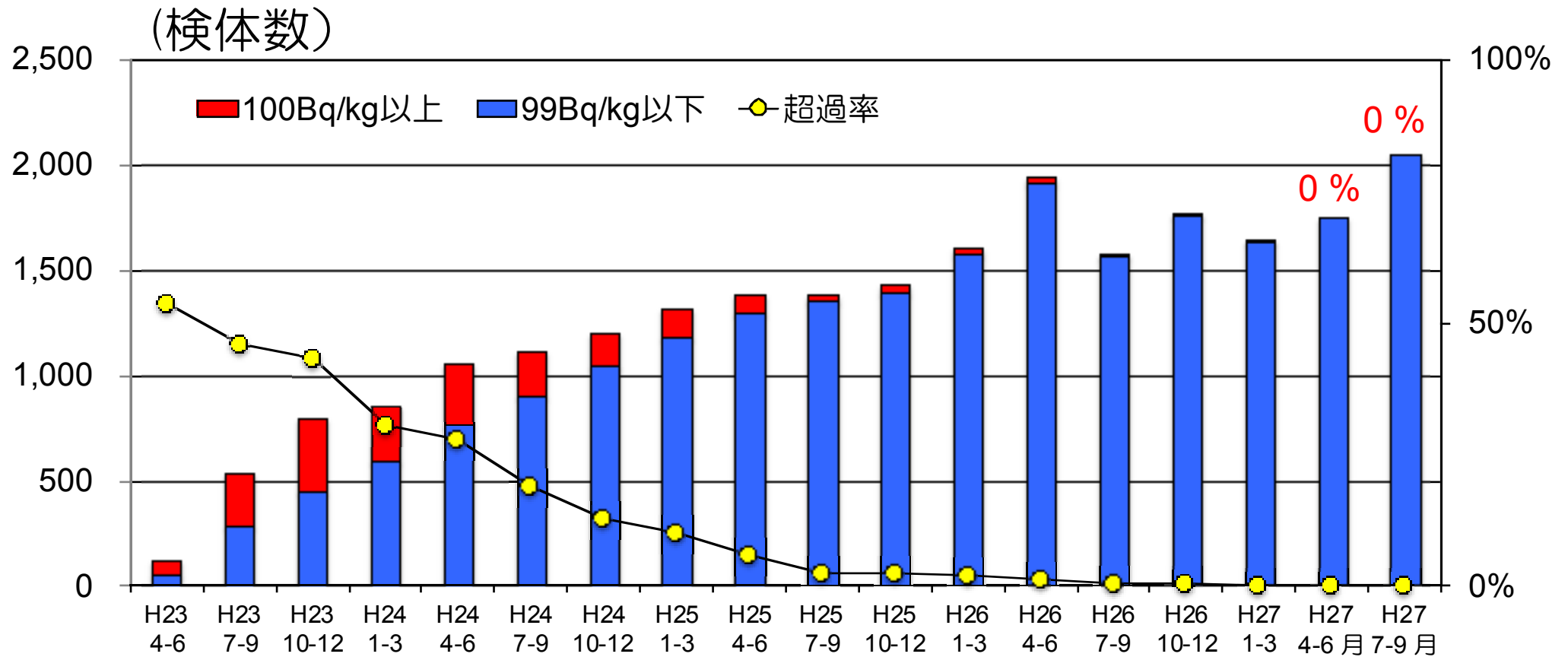
(10% 過酸化水素水抽出)

□ Organic matter

(1M 酢酸アンモニウム抽出)

(Otosaka and Kobayashi, 2012)

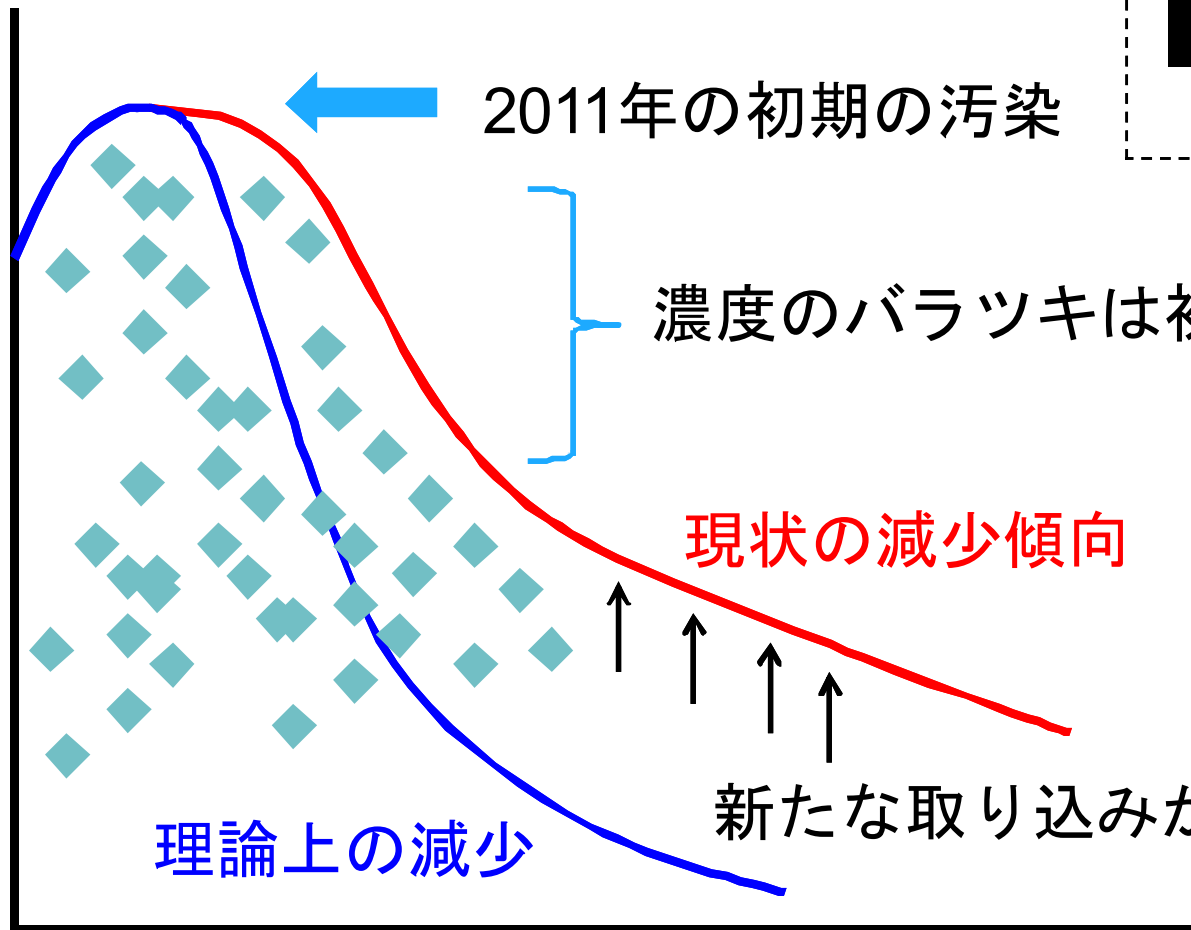
福島県底魚類の調査結果



粘土鉱物への吸着が徐々に進んでいると考えられる

底魚類の汚染について

濃度



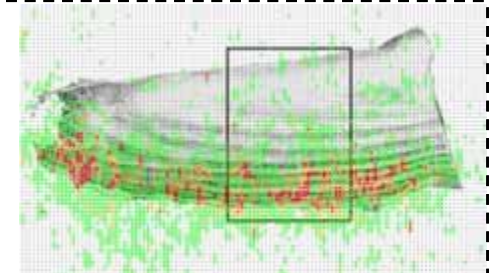
2011年の初期の汚染

濃度のバラツキは初期の汚染の違い

現状の減少傾向

理論上の減少

新たな取り込みからの汚染による下支え



耳石のIP画像

汚染源：海底土（有機物）



・吸着・拡散・覆土

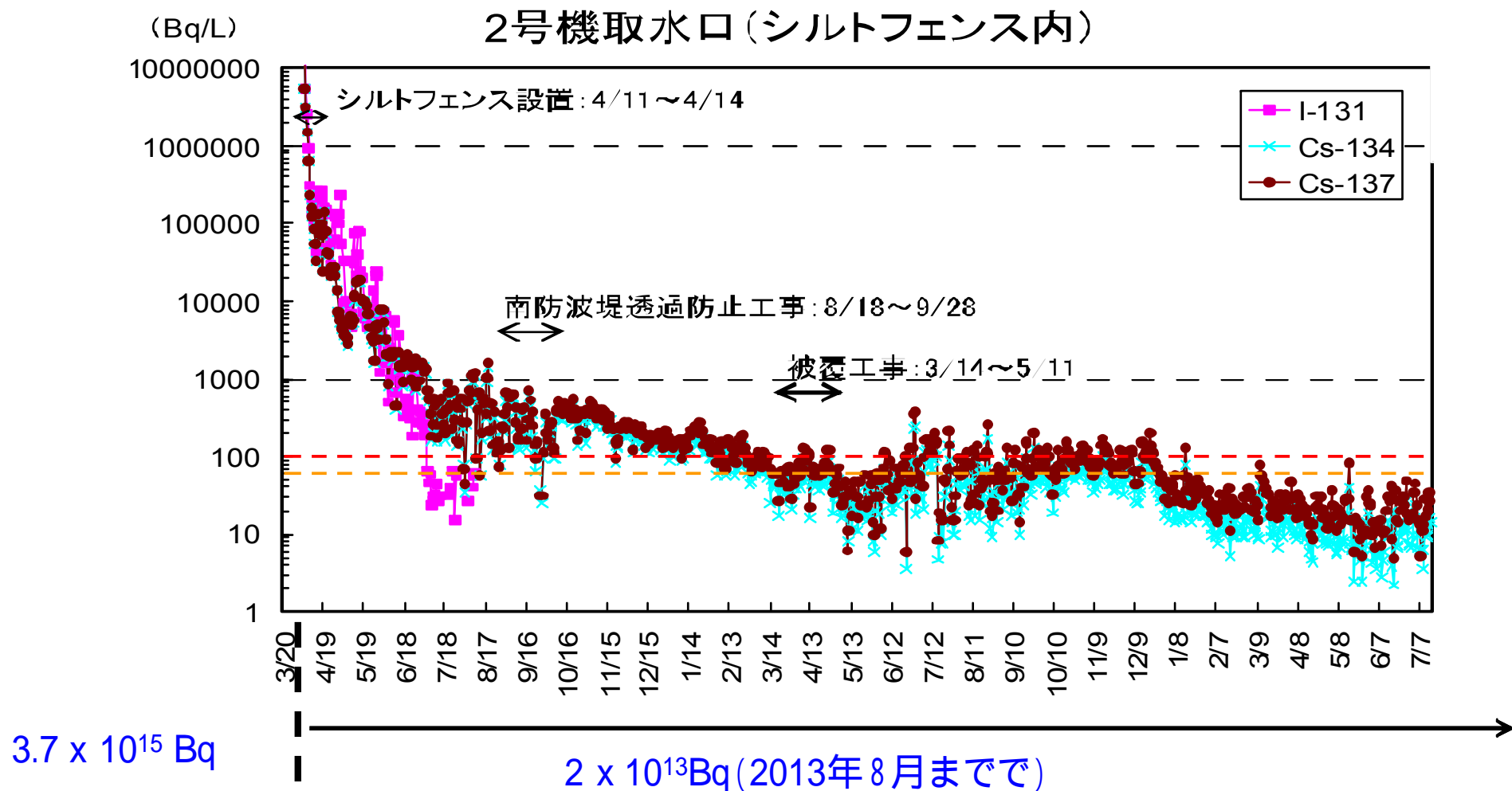
時間

事故後から汚染水(セシウムを含む)が漏れ続けていた(2013年8月公表)

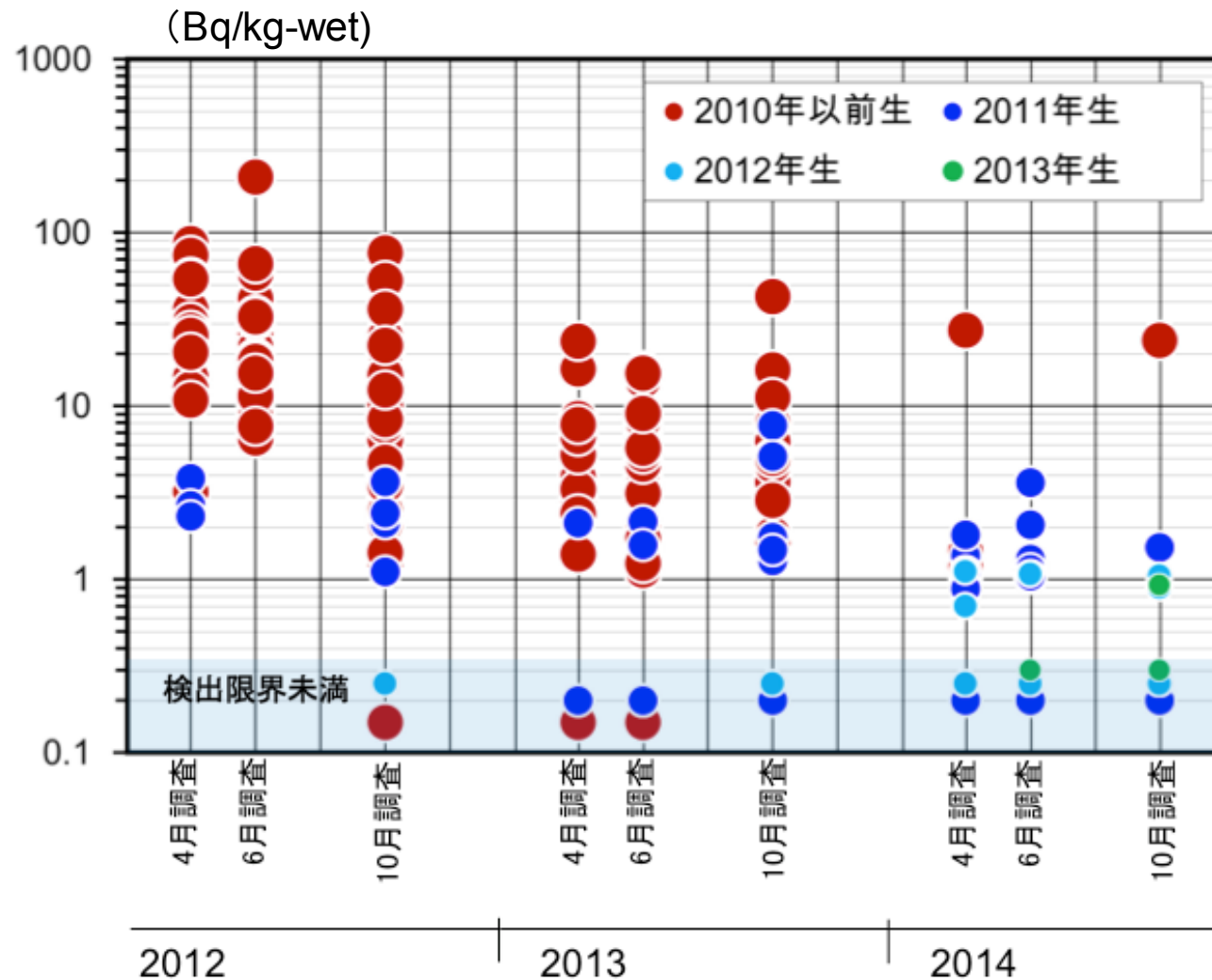
最大20兆 Bq(2×10^{13}) が850日(10~50L/日)かけて漏出

<<<< 事故直後には、 3.7×10^{15} Bq が10日程度で漏出

2011年4月 計画排水 4.2×10^{10} Bq (10,393 m³)



汚染は現在も継続している？



○現場での取り込み実験



マダラの放射性Cs濃度

(東北水研 成松ら)

汚染は現在も継続している-2？

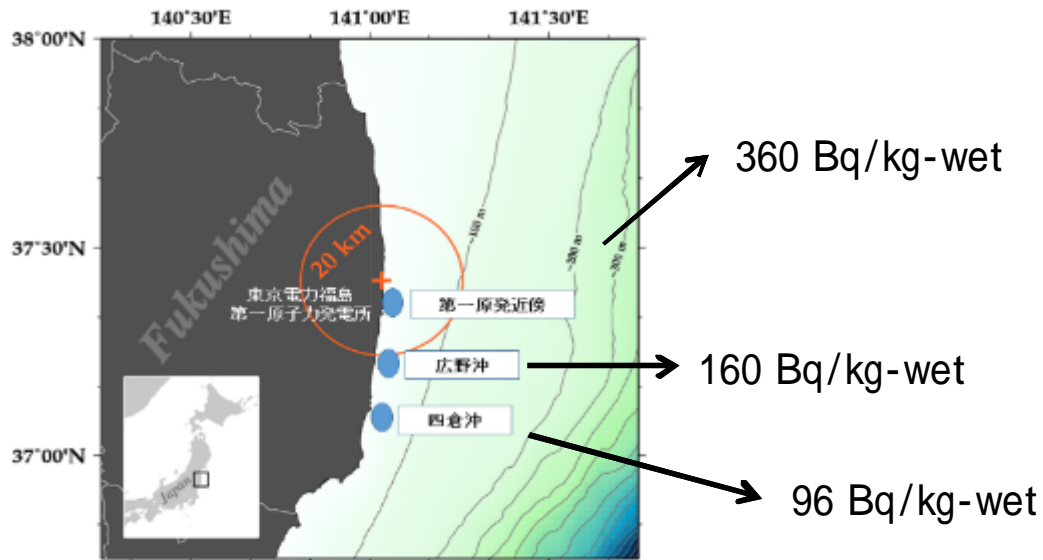


図1. 飼育実験に用いた海底土の採取地点とCs-137濃度

実験に使用した魚

ヒラメ : 2才魚 (TL 266 ~ 409 mm)

クロダイ : 1才魚 (TL 85 ~ 156 mm)



図2. 福島海洋科学館(アクアマリンふくしま)で飼育

- 5 t 水槽 x 2 (アオゴカイは0.1t 水槽)
- 餌は汚染されていな配合飼料 (アオゴカイは無給餌)
- 海水は掛け流し
- 数日毎に魚を取り上げ、筋肉部を測定 (アオゴカイは全体)

実験結果

実験開始前のCs-137濃度

ヒラメ : 0.84~1.2 Bq/kg-wet
 クロダイ : 不検出 (1.1Bq/kg-wet未満)
 アオゴカイ : 不検出 (0.6 Bq/kg-wet未満)

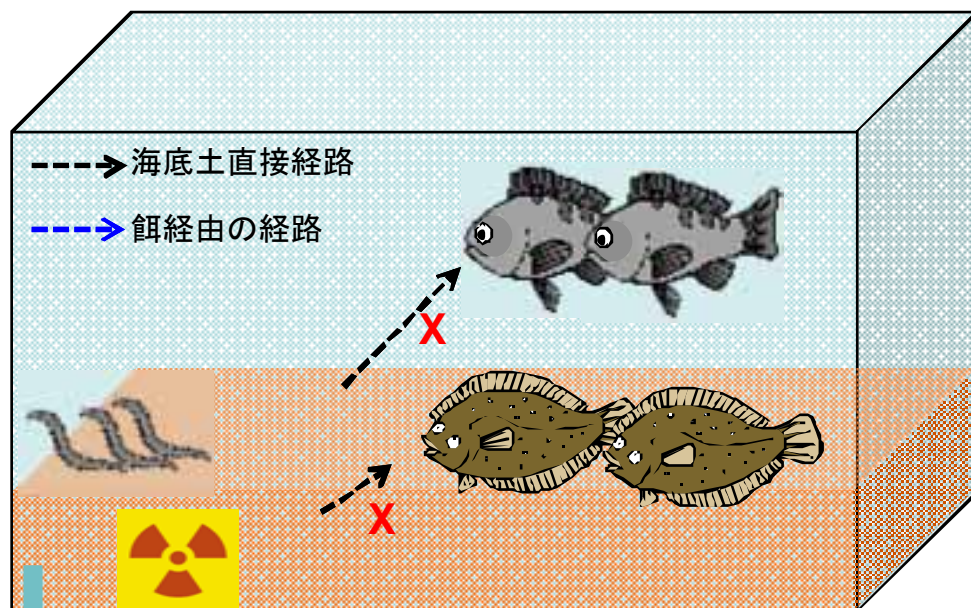


飼育期間中 (飼育日数) のCs-137濃度

ヒラメ(49日) : 0.67~2.3 Bq/kg-wet
 クロダイ(70日) : 0.67~4.8 Bq/kg-wet
 アオゴカイ(84日) : 0.85~26 Bq/kg-wet



アオゴカイは、海底土濃度の1/20 ~ 1/40



飼育期間中の5 t 水槽におけるCs-137濃度

海水 : 16~78 mBq/L、
 海底土 : 76~610 Bq/kg-wet

結論 :

汚染した海底土上にいても、明確な濃度上昇は見られませんでした。

水産物は、ちゃんと検査されているの？

H23年度（暫定規制値：500 Bq/kg）流通品基準越え品目（100 Bq/kg超過）

	農産物	肉類	卵・乳製品	水産物
平成23年度	27 (147)	91 (561)	0 (0)	0 (2)

H24, 25, 26年度（基準値：100 Bq/kg）流通品基準越え品目

	農産物	肉類	卵・乳製品	水産物
平成24年度	7	1	0	2
平成25年度	7	0	0	0
平成26年度	10	0	0	0

（データは厚労省HPより）

- 津波被害で検査が遅れた事により、検査の重要性が徹底された。
- 福島県魚連が、事故後直ぐに漁業を自粛したこと。
- 養殖魚は、餌の管理が適切に行われた。

水産物の調査まとめ

平成24年4月1日以降、全都道府県で基準値以下が確認されている代表的な海産水産物

海藻	全種					
貝類	全種					
イカ・タコ類	全種					
エビ・カニ類	全種					
表層魚	イワシ類	サンマ	イカナゴ	シラス	カマス類	トビウオ
中層魚	サバ類	カジキ類	カツオ	マグロ類	ギンザケ	シロザケ
	ブリ	アオザメ	ヨシキリザメ	カンパチ	コノシロ	サワラ
	シイラ	シシャモ	チダイ	ヒラマサ		
底層魚	アカムツ	アジ類	アオメエソ	イシダイ	イトヒキダラ	ウマヅラハギ
	キンメダイ	キチジ	トラフグ	ニシン	マハゼ	マフグ
	ミギガレイ					
ほ乳類	クジラ類					

出荷制限・操業自粛がおこなわれている海産魚種
(ただし、直近3ヶ月100Bq/kgを超えたものではありません)

赤字は直近3ヶ月全てN.D.のもの
青字は直近3ヶ月全て20Bq/kg以下のもの
緑字は直近3ヶ月全て50Bq/kg以下のもの

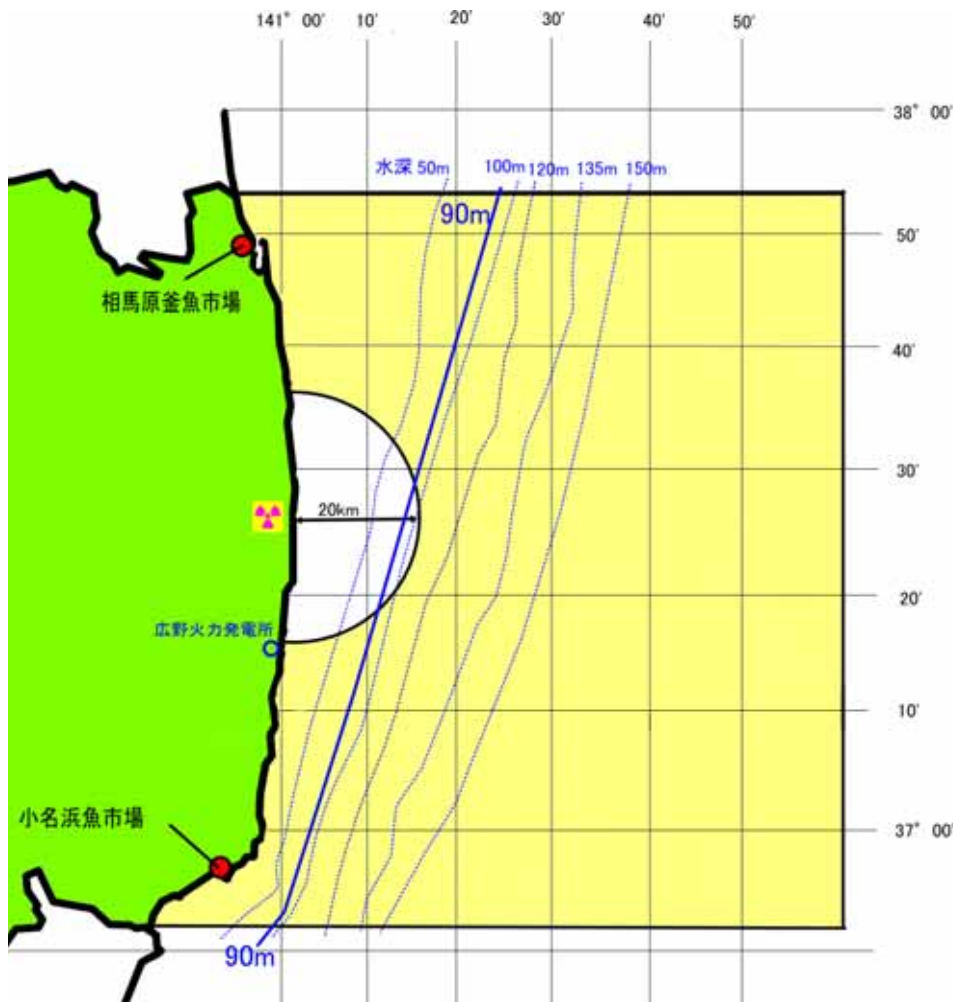
岩手県	スズキ、クロダイ（H27年度調査なし）
宮城県	スズキ、クロダイ
茨城県	スズキ、クロダイ（北部）、イシガレイ（北部）、コモンカスベ、シロメバル

福島県	アイナメ、アカシタビラメ、イカナゴ、イシガレイ、ウスメバル、ウミタナゴ、エゾイソアイナメ、カサゴ、キツネメバル、クロウシノシタ、クロソイ、クロダイ、ケムシカジカ、コモンカスベ、サクラマス、サブロウ、シロメバル、スズキ、ナガツカ、ヌマガレイ、ババガレイ、ヒガンフグ、ヒラメ、ホシガレイ、マアナゴ、マコガレイ、マゴチ、マツカワ、ムライソ、ビノスガイ
-----	--

福島県の試験操業

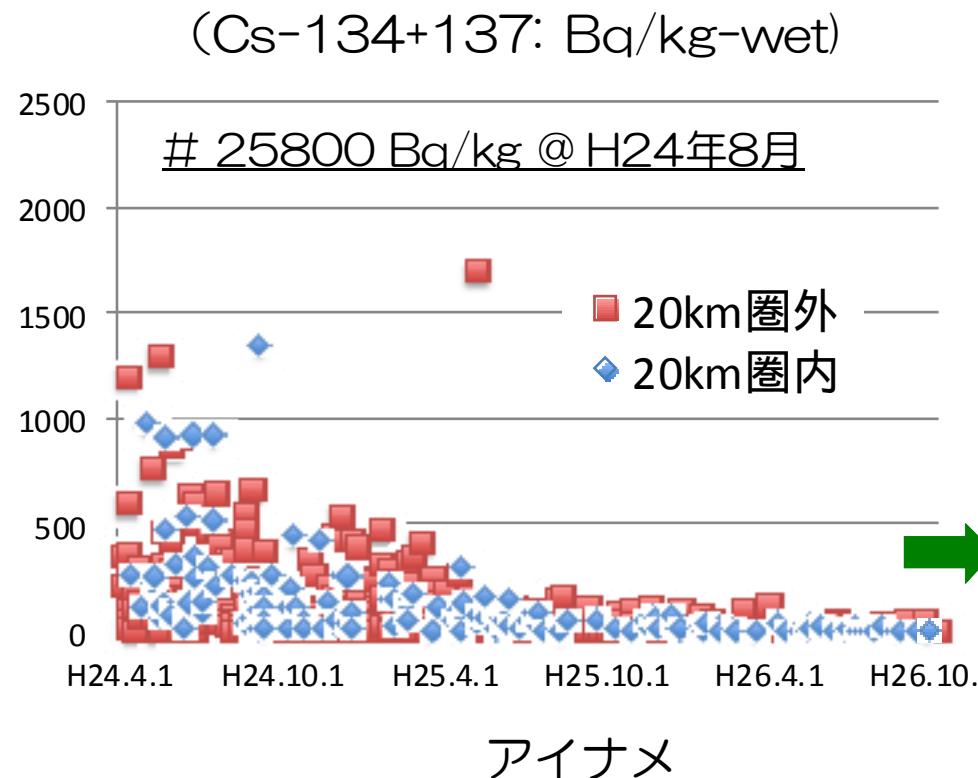
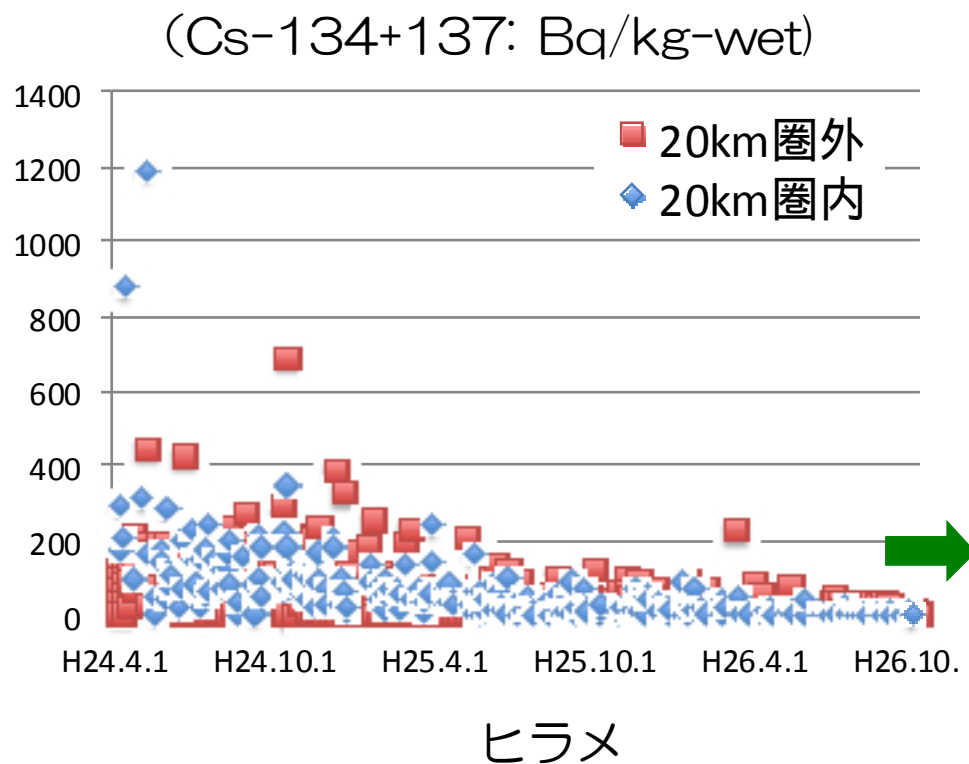
対象種は約2万5千件のモニタリング結果から安全性が確認されたものです。

試験操業対象種 64種
(平成27年5月現在)



ミスダコ、ヤナギダコ、シライトマキバイ、キチジ、ケガニ、スルメイカ、ヤリイカ、エゾボラモドキ、チヂミエゾボラ、ナガバイ、アオメエソ、ミギガレイ、ズワイガニ、コウナゴ、ヤナギムシガレイ、ユメカサゴ、キアンコウ、シラス、アカガレイ、サメガレイ、アカムツ、チダイ、ケンサキイカ、ジンドウイカ、ベニズワイ、ヒゴロモエビ、ボタンエビ、ホッコクアカエビ、イシカワシラウオ、スケトウダラ、アワビ、ヒラツメガイ、ガザミ、ホッキガイ、マイワシ、マサバ、ゴマサバ、ウマツラハゲ、オオクチイシナギ、カガミダイ、カナガシラ、ソウハチ、ホウボウ、マガレイ、マダイ、マトウダイ、オキナマコ、サワラ、ブリ、シロザケ、ヒメエゾボラ、モスソガイ、マダコ、サヨリ、マダラ、ショウサイフグ、ホシザメ、ムシガレイ、メイタガレイ、ナガレメイタガレイ

20km圏内と圏外の比較（データは水産庁HPと東電より）



○20km圏外と圏内（原発極近傍以外）では、濃度はほとんど同じ。

注：25800 Bq/kgのアイナメが採れた確率は、約 1.5×10^{-7} 以下です
(Shigenobu et al., 2014)

ストロンチウム90測定結果

海域	調査機関	ストロンチウム90 (Bq/kg)	最大Sr-90の魚の放射 性セシウム(Bq/kg)
福島県沖 (操業自粛地域)	水研センター 平成23-26年度	検出限界未満 ※1 ～ 1.2 ※2	970
福島県20km圏内 (操業自粛地域)	東京電力 平成24-26年度	0.036 ～ 6.0 ※3	1690
福島県以外	水研センター 平成23-26年度	検出限界未満※1	81

※1 検出限界値 0.02～0.04 Bq/kg、※2 平成23年12月21日採取、

※3 福島第一原発沖合3kmで平成24年12月13日採取採取

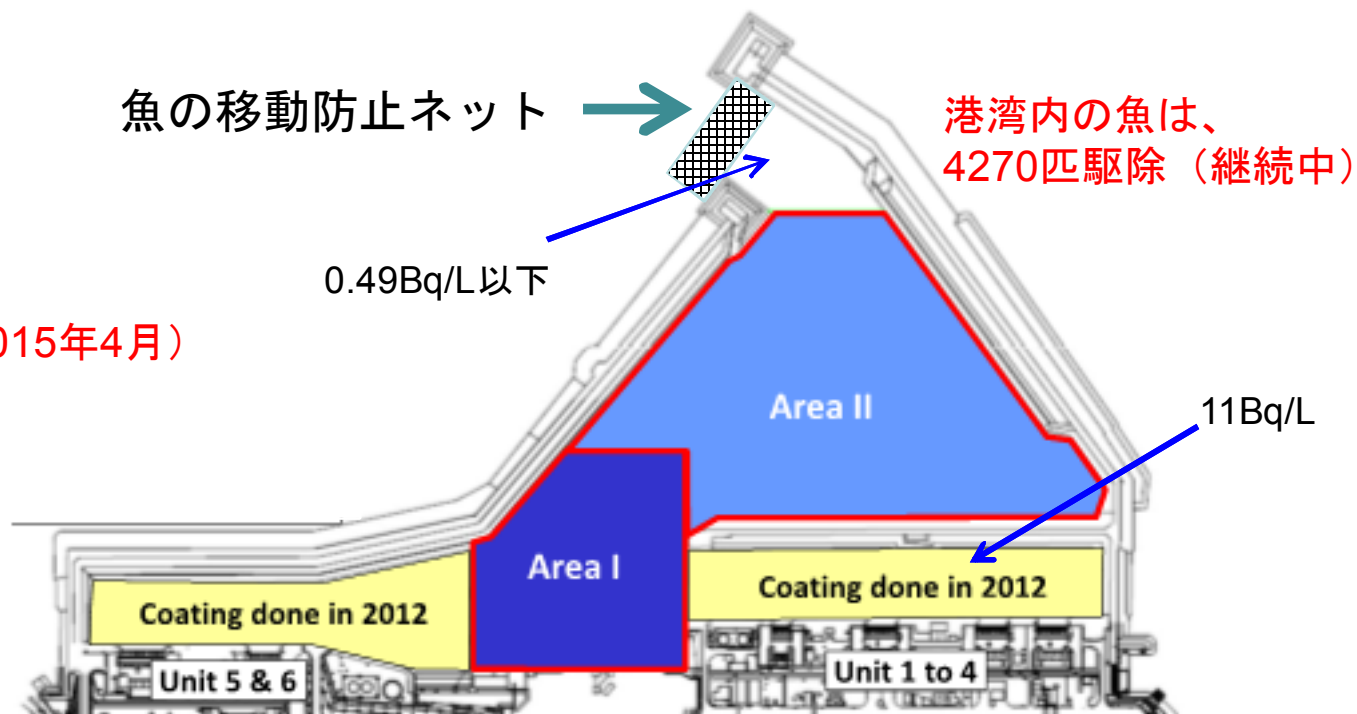
・ 2000年～2010年の我が国周辺魚類中のSr-90濃度は、検出下限値以下から0.094

○ Sr-90の汚染は、基準値設定時の想定内（セシウムの約1/10）であり、問題となる濃度は検出されていません。

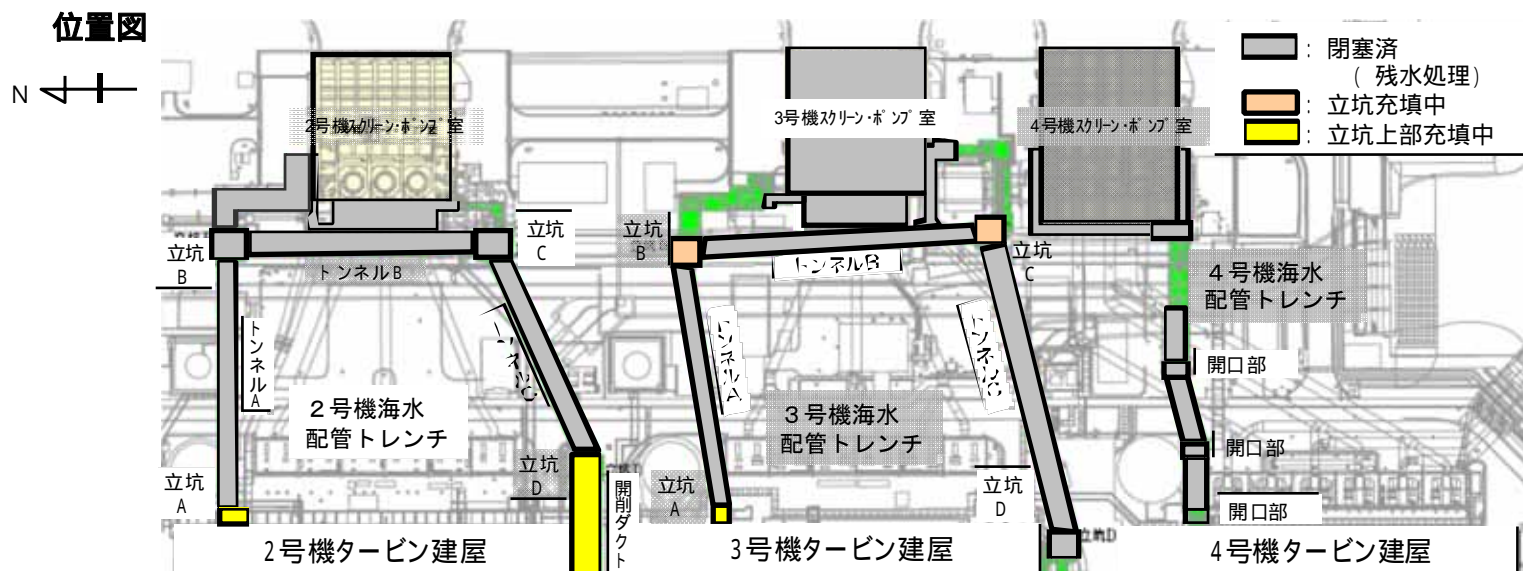
港湾内の状況

H27年9月 東電調査

1. 港湾内の海底土の被覆終了（2015年4月）



2. 海水配管内トレンチの高濃度汚染水（約10,000トン）の除去終了（2015年6月）



まとめ

- 水産物内中に入った放射性セシウムは、体外に排出されるので、蓄積しつづけるわけではありません。
- 水産物の汚染の主たる原因は、最初の高濃度汚染水であり、事故後は、全ての魚種で濃度は低下傾向にあります。
- 浮魚、無脊椎動物、海藻類の汚染は既に収束しました。底魚も一部の魚種以外は汚染は収束しています。
- セシウムは粘土に非常によく吸着するので、底土から高濃度の放射性セシウムが検出されても、必ずしも魚から高濃度の放射性セシウムが検出されるとは限りません。
- 汚染水の漏洩など様々な報道がありますが、水産物の濃度が上昇したことはありません。
- 放射性ストロンチウムやトリチウムについても、濃度は低いです。

今後、どうなるか、どうすべきか？

- 放射能濃度は着実に減少しているので、福島県においても出荷制限の解除がすみ、試験操業の海域・魚種が拡大しています。
- 実際の放射能濃度が低いにもかかわらず、漏洩の報道等により水産物の汚染への懸念が続いています（風評被害）。
- 本格操業を行っても市場に受け入れられない可能性が高く、本格操業の見通しはたってません。



水研センターとしては、以下のことを目的に活動をしています。

- ◆ 水産物、及び環境の汚染状況を正確に把握すること。
- ◆ 水産物の汚染が軽減していることを、科学的根拠を持って、分かりやすく伝えること。

END