

独立行政法人 水産総合研究センター
第10回 成果発表会

海産生物の放射能の これまでとこれから

(独) 水産総合研究センター 中央水産研究所
海洋・生態系研究センター
渡邊朝生

観 点

- 原発事故により漏出した放射性物質は海産生物へ移行し、水産業に大きな影響を与え、復興への大きな障害になっている。
- 障害を軽減するため、放射性物質の海産生物への移行の現状を把握するとともに、将来予測のための調査・研究の取組が重要。

内 容

1. 原発事故発生と漁業への影響
2. 緊急時モニタリング調査
3. 海産魚と放射性セシウム
4. 海産生物への移行の経過と現状
5. 高濃度魚について

1-1 原発事故発生と漁業への影響 経過

2011年

3/11 東北地方太平洋沖地震、津波発生

3/12 原発1号機原子炉建屋の水素爆発

3/14 原発3号機原子炉建屋の水素爆発

3/15 原発4号機原子炉建屋火災・水素爆発火災

3/22 原発放水口での放射性物質検出

水産物モニタリング強化指示

3/23 水産物に関する緊急時モニタリング調査開始

3/24 キンメダイの測定結果（N.D.）の公表

3/26→4/6 高濃度水の海への直接漏出

1-2 原発事故発生と漁業への影響

漁業被害

- いわき沖・北茨城沖のコウナゴで高濃度検出
- 重要魚種を直撃、漁業被害が現実



コウナゴ（イカナゴの仔魚）：
春に漁期を迎える。加工品（釜ゆで、佃煮）として流通。福島では5－10億の水揚げがあり、重要な漁業対象種。

海域	公表日	I-131	Cs-134 +Cs-137
北茨城沖	2011/4/4	<u>4080</u>	447
	2011/4/5	1700	<u>526</u>
	2011/4/12	<u>2300</u>	420
いわき沖	2011/4/9	1700	<u>570</u>
	2011/4/13	<u>12000</u>	<u>12500</u>
	2011/4/19	<u>3900</u>	<u>14400</u>
	2011/4/27	890	<u>3200</u>

内 容

1. 原発事故発生と漁業への影響
2. 緊急時モニタリング調査
3. 海産魚と放射性セシウム
4. 海産生物への移行の経過と現状
5. 高濃度魚について

2-1 緊急時モニタリング調査

経過

- 食品の安全確保のための水産物モニタリング強化の指示
(厚生労働省)
- 水研センターは、これまでの実績と経験*を基盤として、
緊急時モニタリング調査の立ち上げに貢献。
- 水産庁、関係の都県と連携して緊急時モニタリング調査
に参画。

*長年にわたり漁場と水産資源の安全性の確認を目的したモニタリング調査を実施

海産生物等放射能調査(1957年度～)

原子力艦寄港海域海産生物放射能調査(1961年度～)

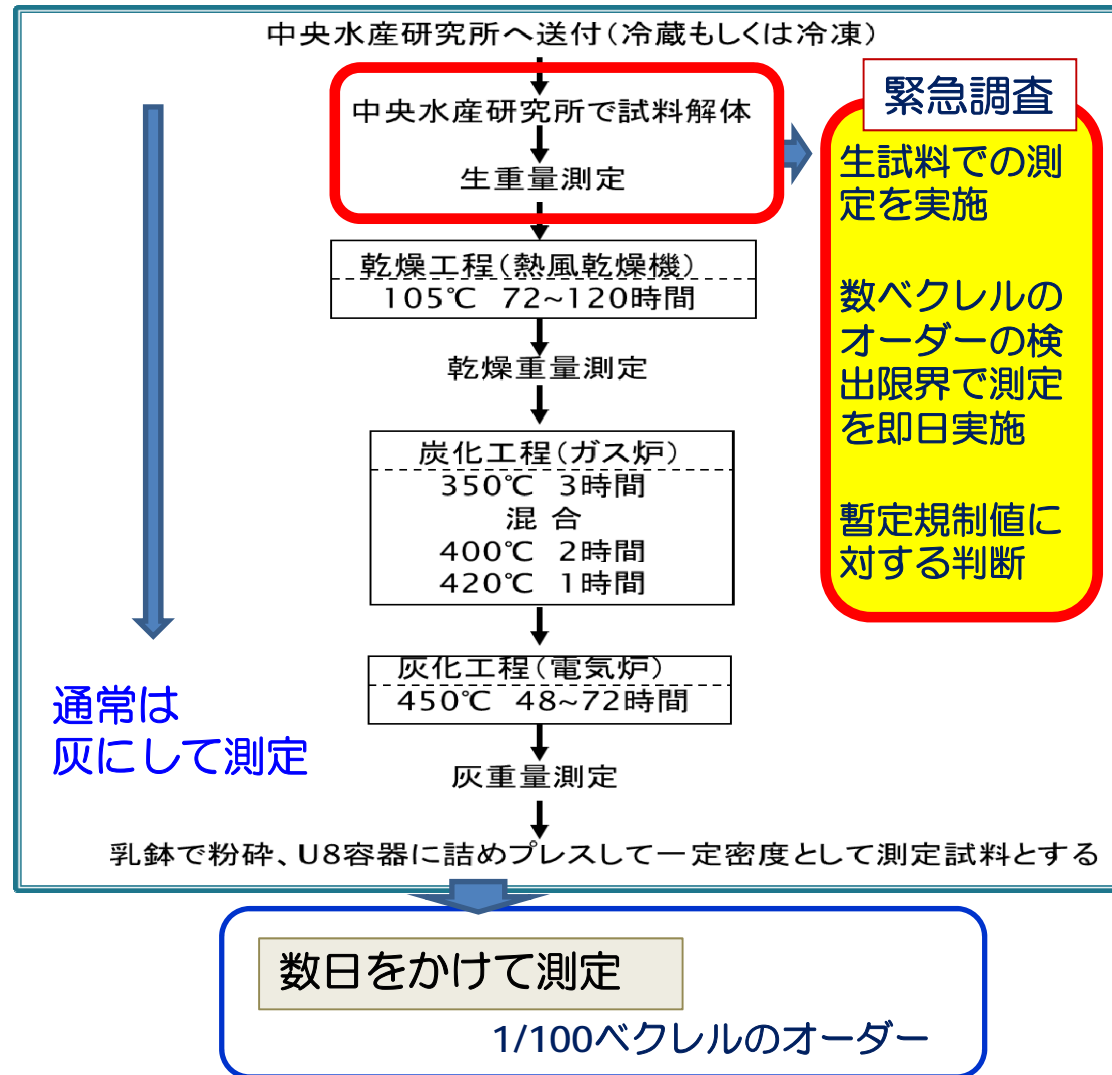
文部科学省放射能調査研究費による

2-2 緊急時モニタリング調査

生で測定⇒短時間で結果をだし基準値に対する判断に用いる
対象とする核種は放射性ヨウ素と放射性セシウム



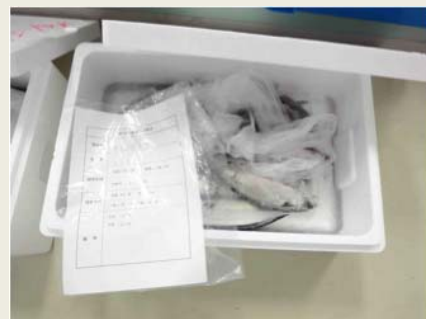
灰化電気炉



2-3 緊急時モニタリング調査

試料処理

試料の受取・加工～測定～濃度決定～報告



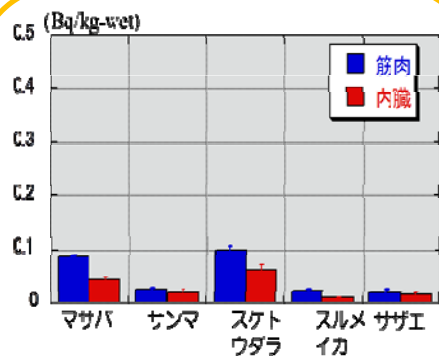
試料受け取り



測定のため前処理



測定用試料(筋肉)の作成

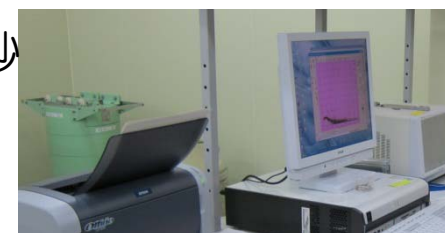


注) セシウムは筋肉中で濃度が高い。測定は筋肉試料で行う。



ゲルマニウム半導体検出器

2000秒測定

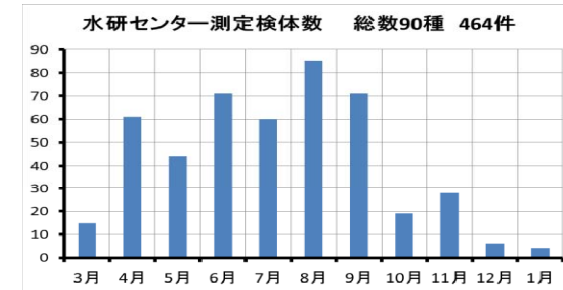


I-131, Cs-134, Cs-137
濃度決定

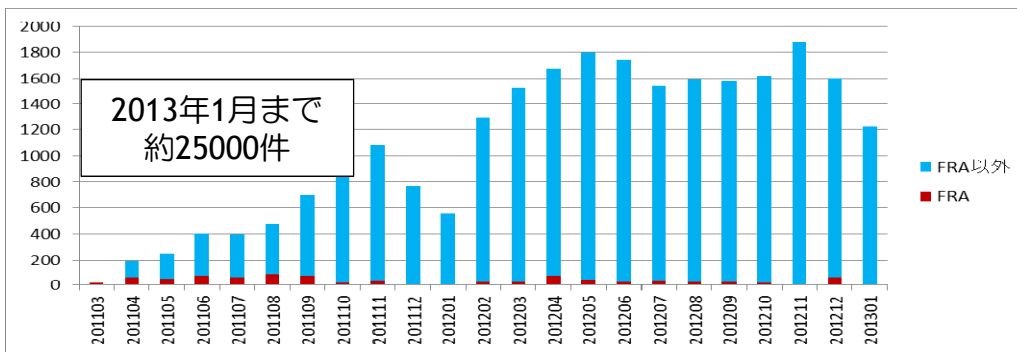
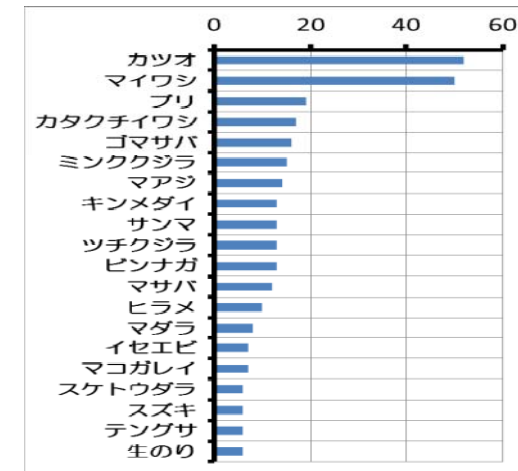
測定値の報告

緊急時モニタリング調査実績

水産物に関する放射能調査結果は水産庁HPに公開



測定した種、測定数上位20



水研センター：調査の立ち上げに貢献、2011年9月以降、影響解明調査にシフト

2-5 緊急時モニタリング調査

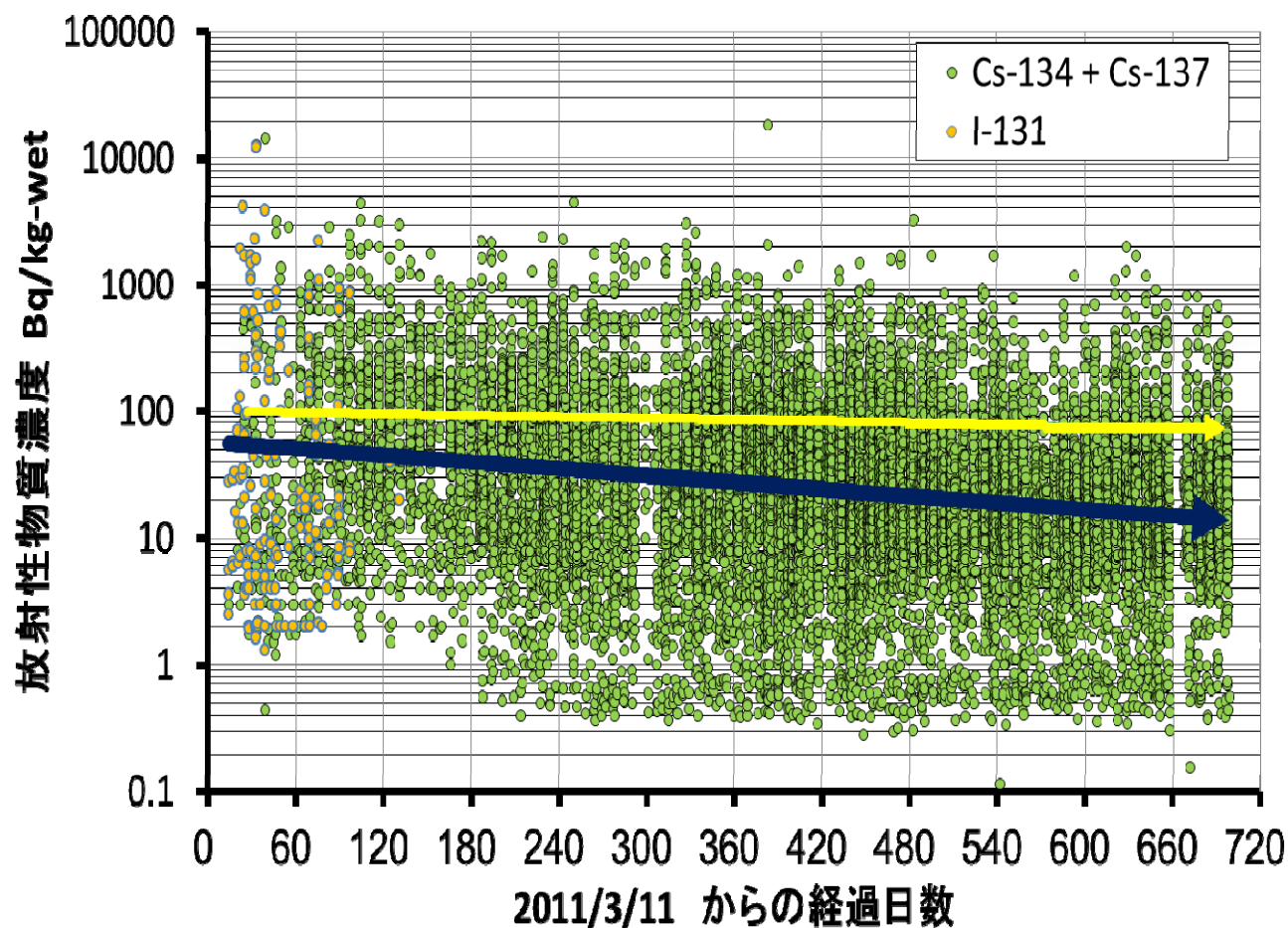
現状

海産生物（魚、海藻、貝類、海産哺乳類、いか・たこ類） 約350種

淡水産生物 約50種

放射性セシウム（Cs-134+Cs-137）の検出が続く

今後の重要核種：放射性セシウム（Cs-137）



緊急時モニタリング対象
核種の物理学的半減期による減衰

I-131 (8日) :
現在：不検出

Cs-134 (2.01年) :
現在：初期濃度の半分

Cs-137 (30.1年) :
現在：初期濃度の96%

*セシウム合計値 73%

内 容

1. 原発事故発生と漁業への影響
2. 緊急時モニタリング調査
3. 海産魚と放射性セシウム
4. 海産生物への移行の経過と現状
5. 高濃度魚について

3.1 海産生物と放射能 事故前の状態

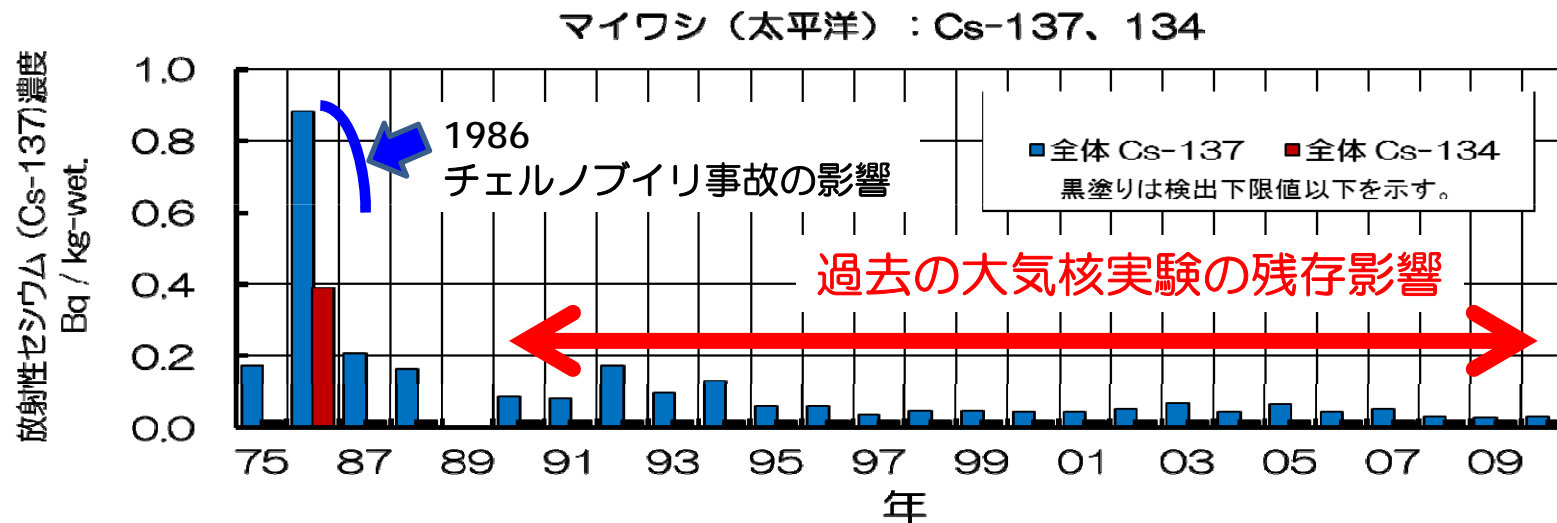
海産生物中の放射性セシウム (Cs-137)の事故前のレベル

- 2010年の太平洋沿岸域の試料の結果 (灰化試料による Bq/kg-wet)
 - 魚類 サンマ: 0.041、マイワシ: 0.052、マサバ: 0.14、キンメダイ: 0.16
 - 貝類 マガキ: 0.036、アワビ: 0.020
 - いか・たこ類 スルメイカ: 0.026、マダコ: ND

事故前のレベル ≒ 0.1

- 経年変化の事例 (マイワシ)

大気圏核実験 (1950-1980年台) に放出された放射性セシウム (Cs-137) の影響
チェルノブイリ原発事故の影響を検出



3-2 海産生物と放射能

濃縮係数

海産生物中の放射性セシウムの動態

- 海産生物と海水の比例関係 *安定した状態

$$\text{濃縮係数} = \frac{(\text{核種の濃度})_{\text{海産生物}} (\text{Bq/kg})}{(\text{核種の濃度})_{\text{海水}} (\text{Bq/kg})}$$

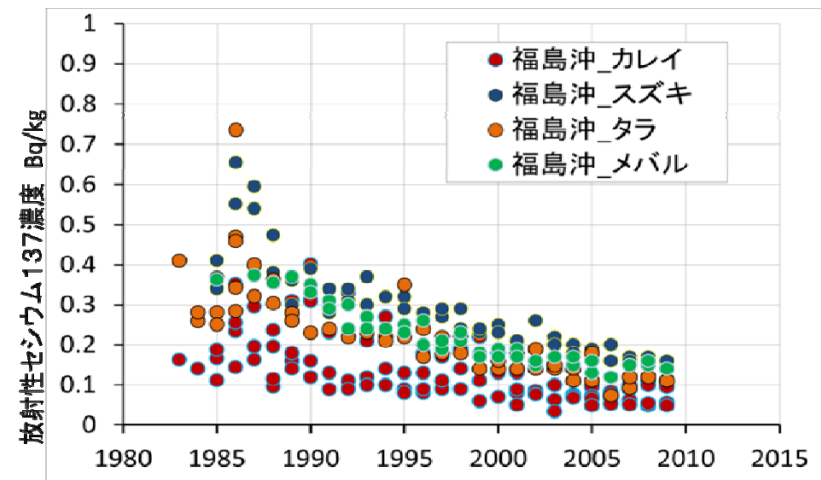
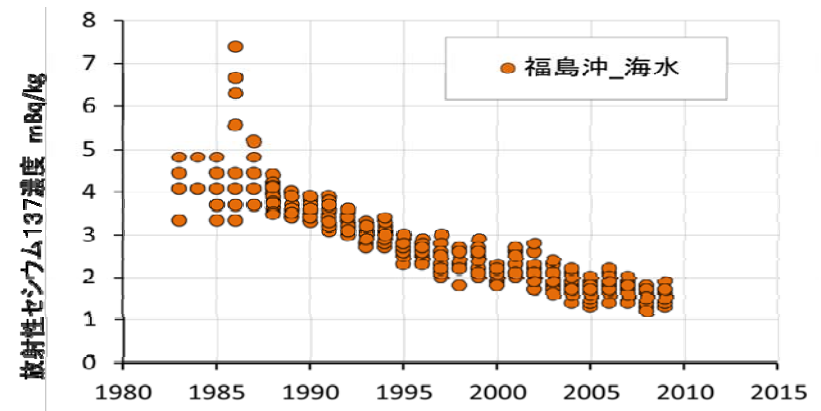
- 福島沖の魚種における濃縮係数

福島沖の魚の濃縮係数は、50~100
魚種により高低はあるが、極端に高い
濃縮係数はない。

*IAEAによる5~100と整合

	1990-1999 平均	2000-2009 平均	1990-2009 平均	海水の濃度との比
海水	2.93 mBq/kg	1.84 mBq/kg	2.39 mBq/kg	1
海底土	167 Bq/kg-dry	106 Bq/kg-dry	1.37 Bq/kg-dry	573
カレイ	0.154 Bq/kg-wet	0.084 Bq/kg-wet	0.119 Bq/kg-wet	50
スズキ	0.295 Bq/kg-wet	0.190 Bq/kg-wet	0.242 Bq/kg-wet	101
タラ	0.228 Bq/kg-wet	0.132 Bq/kg-wet	0.180 Bq/kg-wet	75
メバル	0.247 Bq/kg-wet	0.156 Bq/kg-wet	0.201 Bq/kg-wet	84

事故前の福島沖
海水：
0.001~0.002 Bq/kg-wet
底魚等：
0.1~0.2 Bq/kg-wet

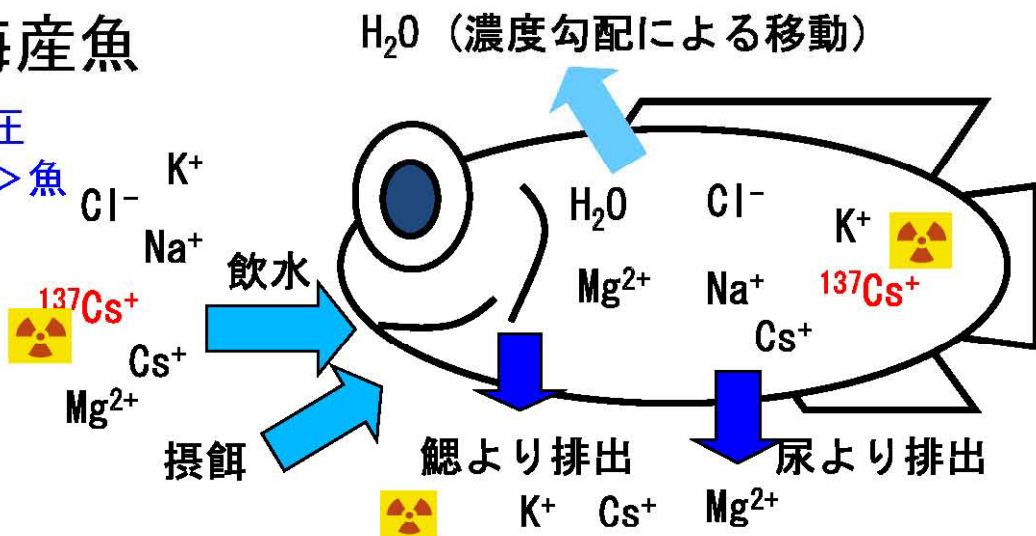


3-3 海産生物と放射能

浸透圧調節

海産魚

浸透圧
海水 > 魚

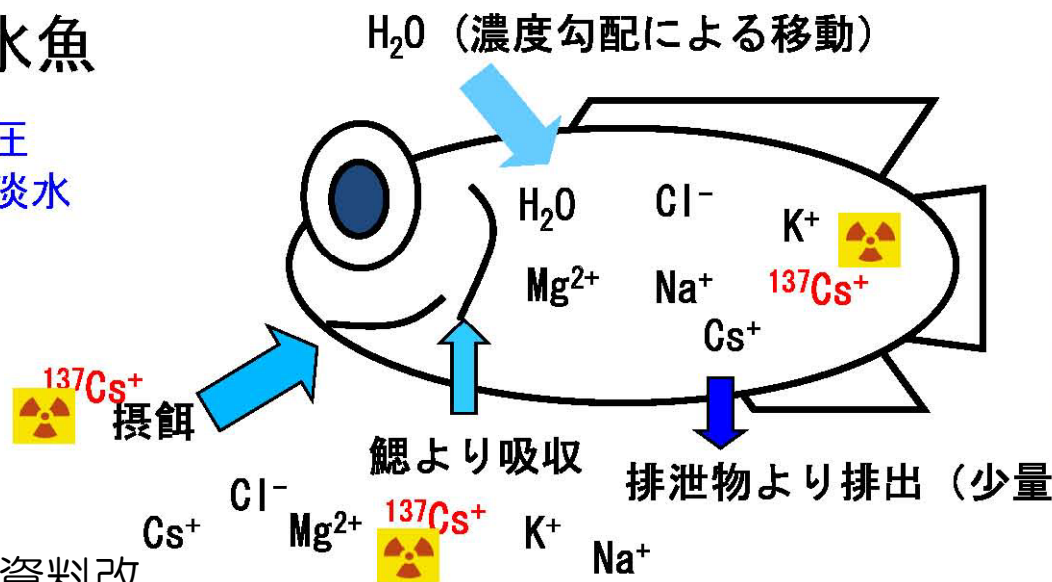


海産魚の浸透圧調節

- 電解質濃度：
海水:3.5% > 体内:0.9%
- 魚は飲水により濃度を調節
- 過剰な電解質を鰓などから排出する機能が発達
- Na⁺は体液に、K⁺, Cs⁺は細胞内

淡水魚

浸透圧
魚 > 淡水



淡水魚の浸透圧調節

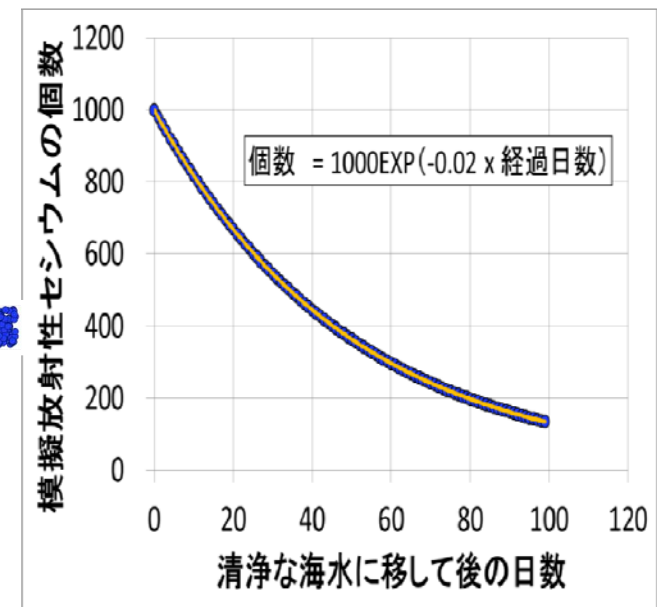
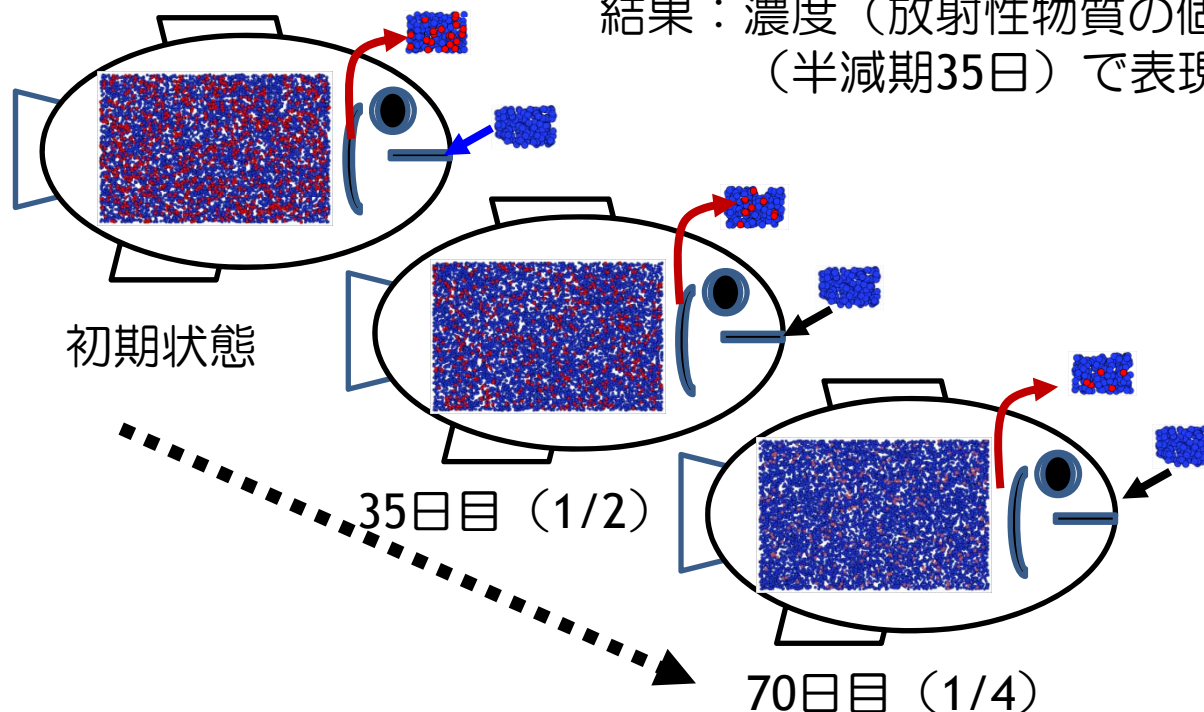
- 電解質濃度：
淡水:0.0% < 体内:0.9%
- 魚は尿により濃度を調節
- 電解質は餌と鰓から取込
- Na⁺は体液に、K⁺, Cs⁺は細胞内

3-4 海産生物と放射能

海産魚の体内濃度の変化の思考実験（指数関数）

- 仮定 1) 体内の電解質量は一定
：初期条件 10000個（内1000個が放射性セシウム）
2) 魚を放射性セシウムを含まない清浄な海水にて飼育
3) 毎日一定の量の電解質を体外から取り込み、同量を排出
：毎日200個を取込み（清浄な海水、放射性セシウムを含まない）
毎日200個を排出（体内濃度に比例した個数の放射性セシウムを含む）
4) 取り込まれた電解質はすべて体内の電解質と入れ替わる

結果：濃度（放射性物質の個数）の減り方は指数関数（半減期35日）で表現される

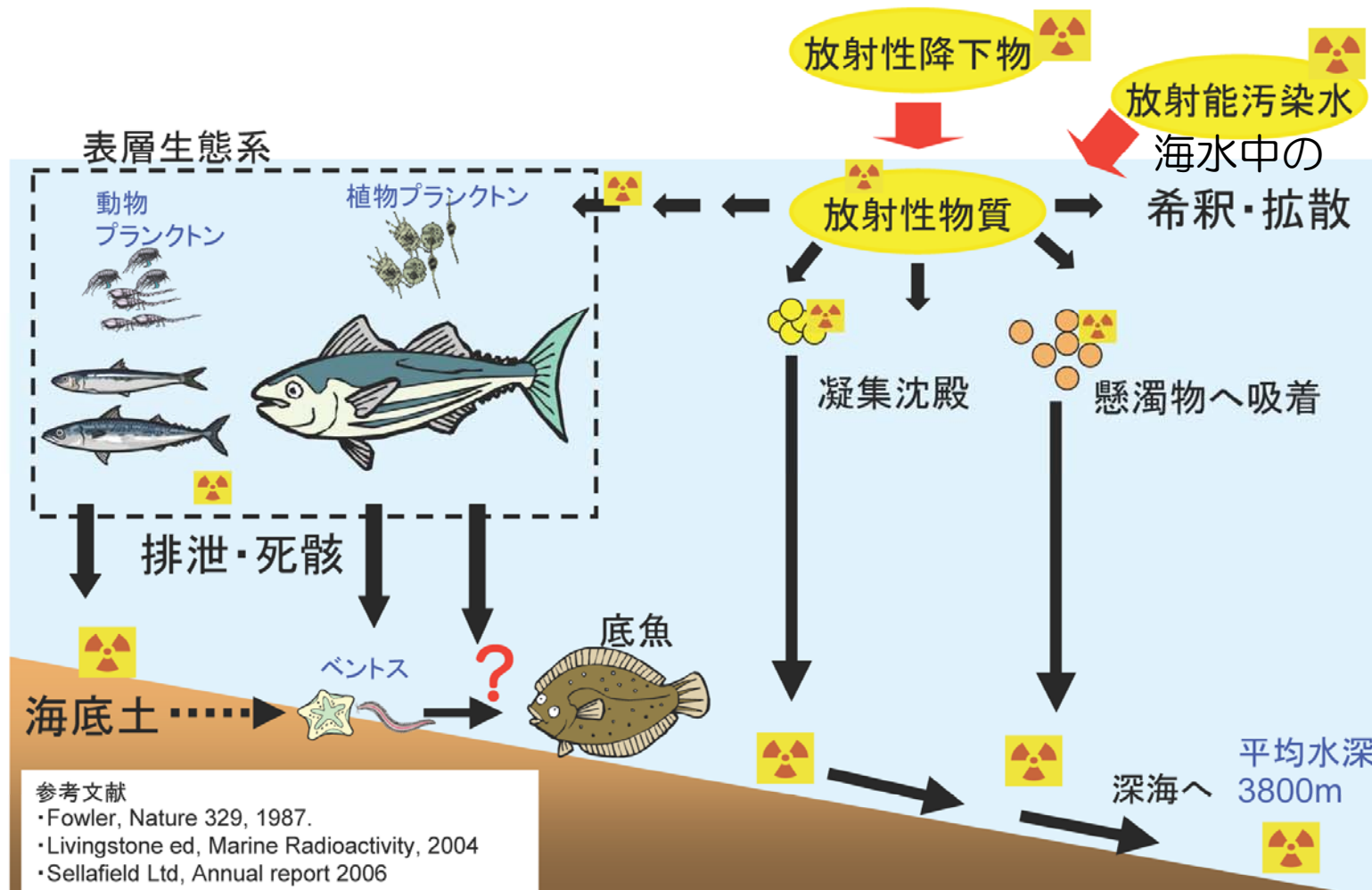


内 容

1. 原発事故発生と漁業への影響
2. 緊急時モニタリング調査
3. 海産魚と放射性セシウム
4. 海産生物への移行の経過と現状
5. 高濃度魚について

4-1 海産生物への移行の経過と現状 環境

海洋環境および生態系中での放射性物質の動態 放射性セシウムは海洋生態系の中を動く

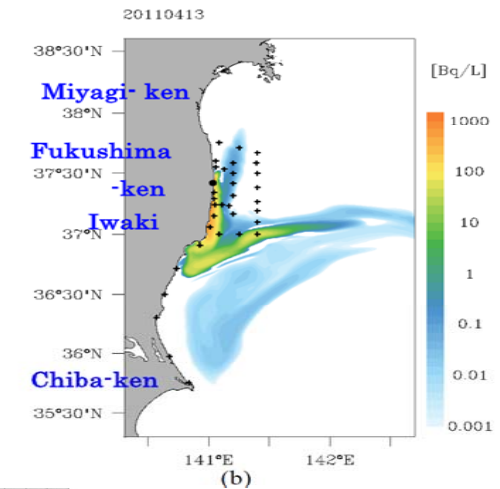
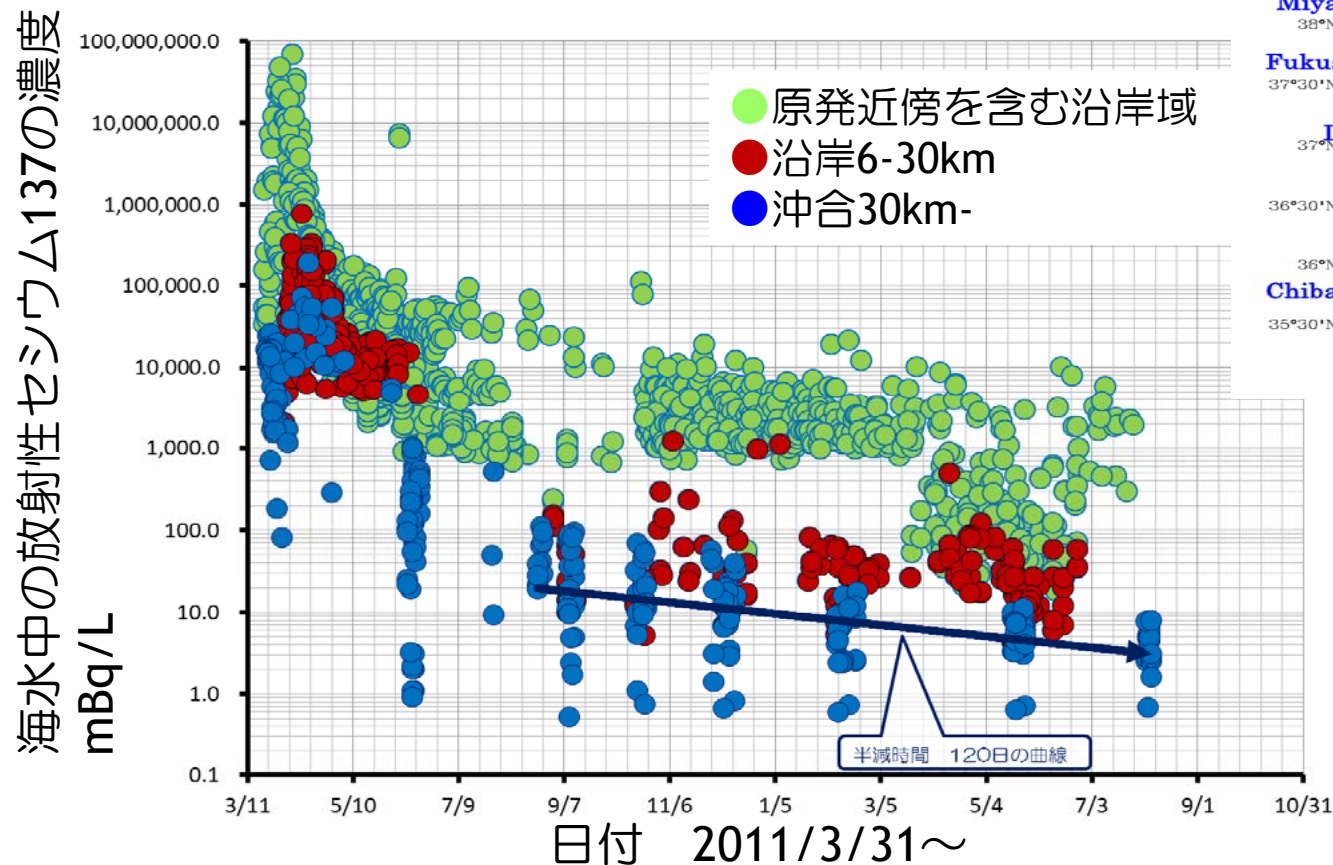


参考文献
・Fowler, Nature 329, 1987.
・Livingstone ed, Marine Radioactivity, 2004
・Sellafield Ltd, Annual report 2006

4-2 海産生物への移行の経過と現状 環境

事故後の福島沖の海水濃度の変化

3月下旬～4月にピーク 原発周辺の沿岸域で1万Bq/L超え
沿岸域で相対的に高く、沖合で低い分布
5月以降はゆっくりと低下



4月13日の海水中の濃度分布。
電力中央研究所の津旨さんたちによるシミュレーションの結果（津旨ら、2012）。

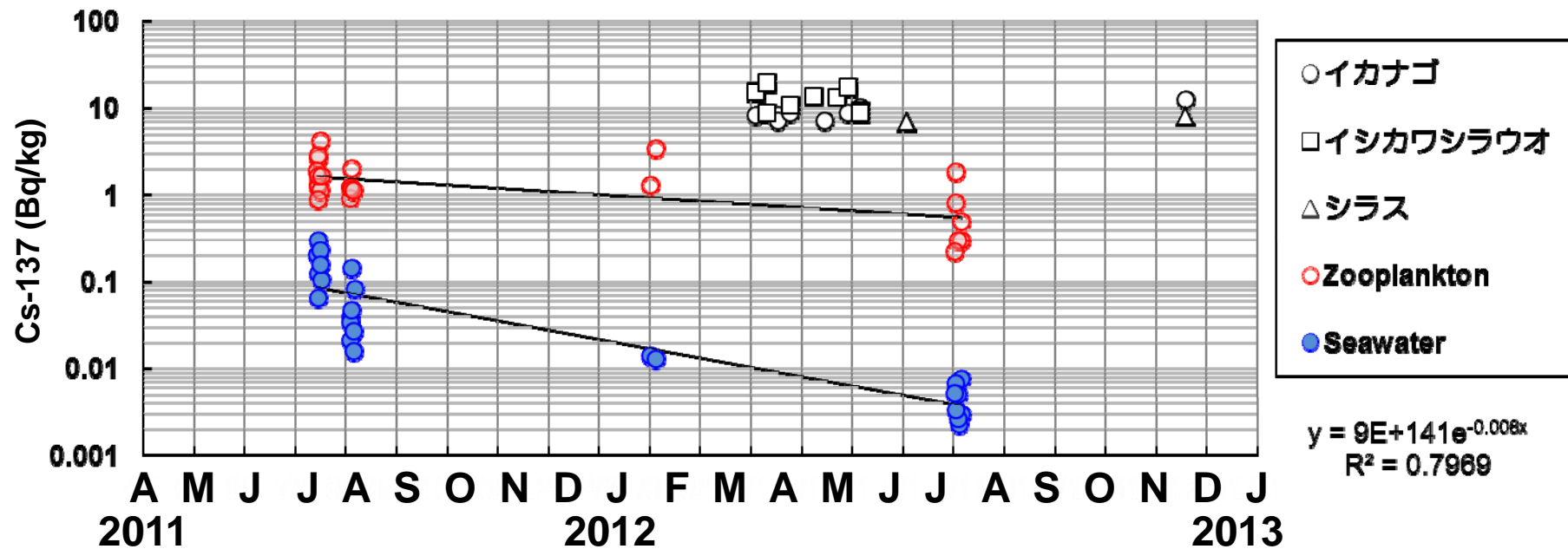
4-3 海産生物への移行の経過と現状 環境

動物プランクトン（水研センターの調査による）

福島沖合：1～5Bq/kg-wet（2011夏季）

0.2～1Bq/kg-wet（2012夏季）

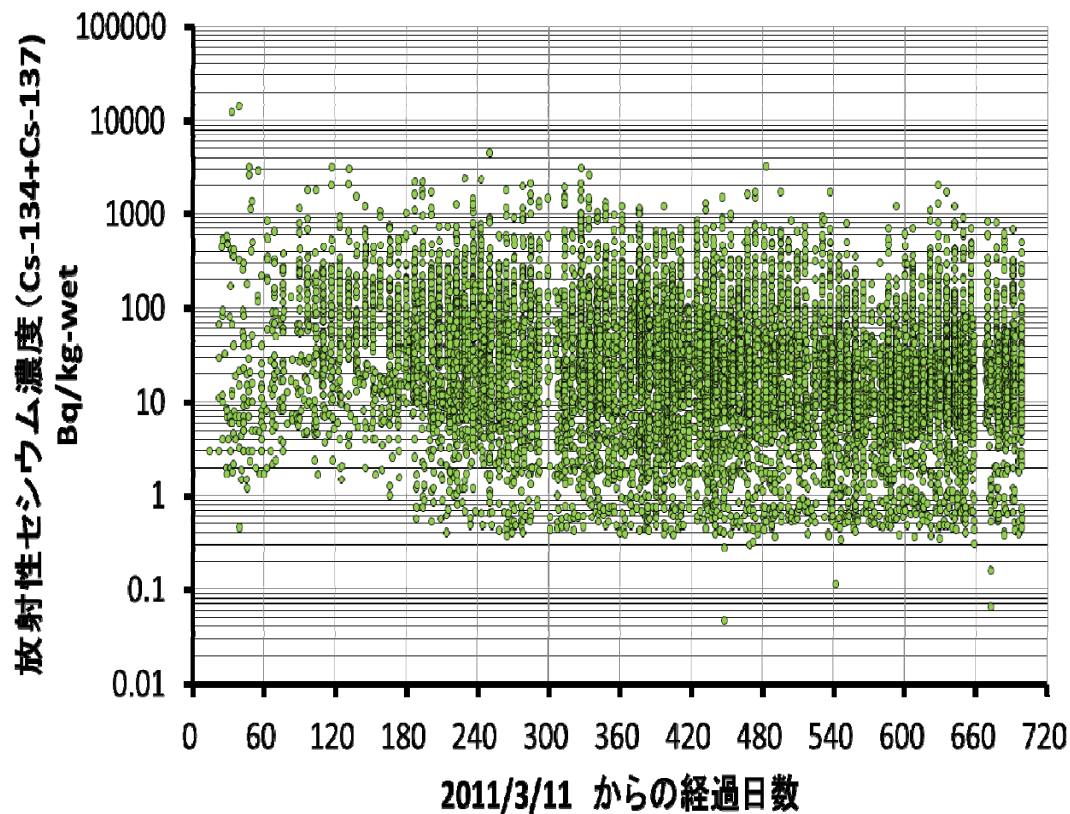
海水の濃度の低下とともに動物プランクトンも濃度低下



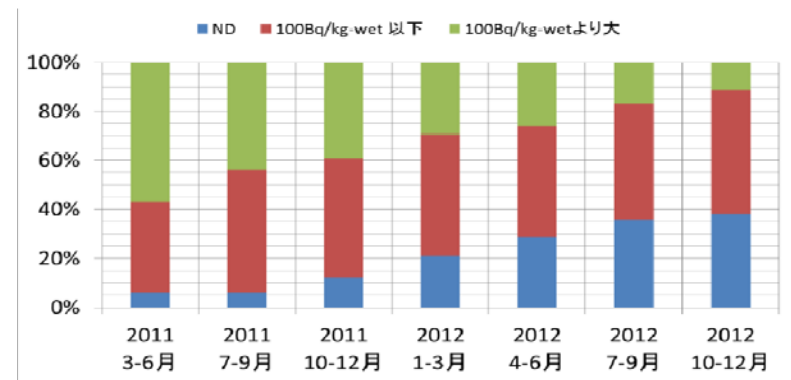
4-4 海産生物への移行の経過と現状 海産魚

海産魚の放射性セシウム濃度の変化

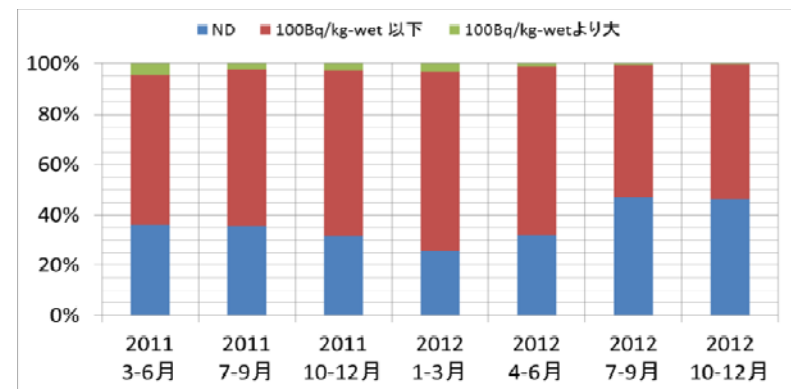
－ 全体として濃度低下傾向、着実にN.D.率上昇、100Bq超率低下 －



福島海域

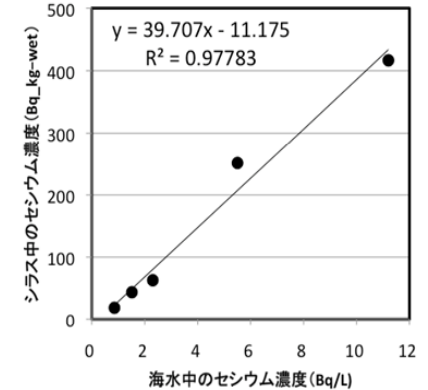
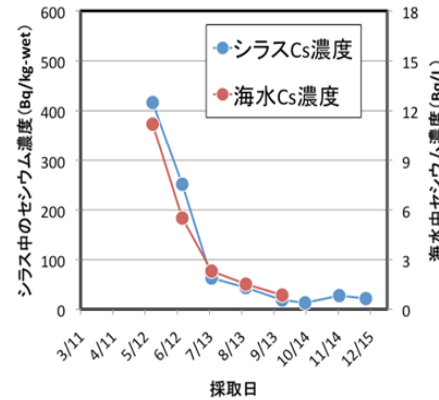
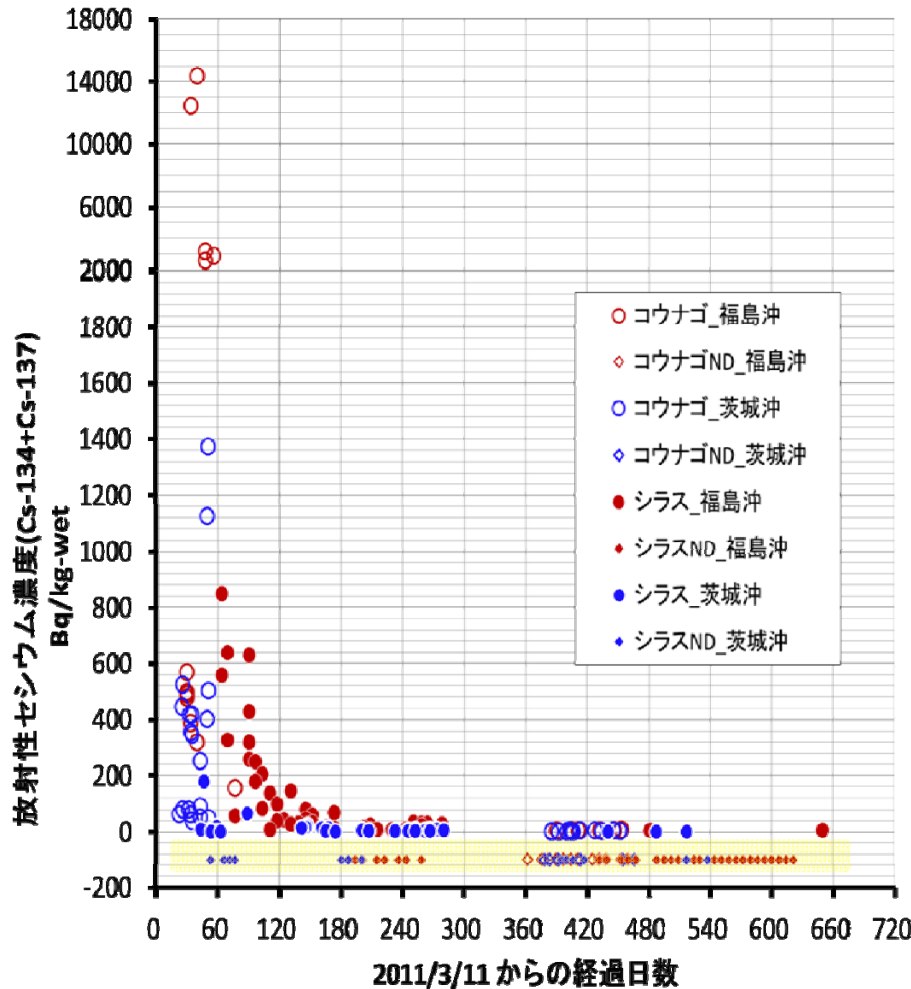


福島以外



4-5 海産生物への移行の経過と現状 海産魚

ごく表層に分布した魚への移行（コウナゴ・シラス）
 事故直後に高濃度検出、その後急速に低下、夏以降不検出増加。

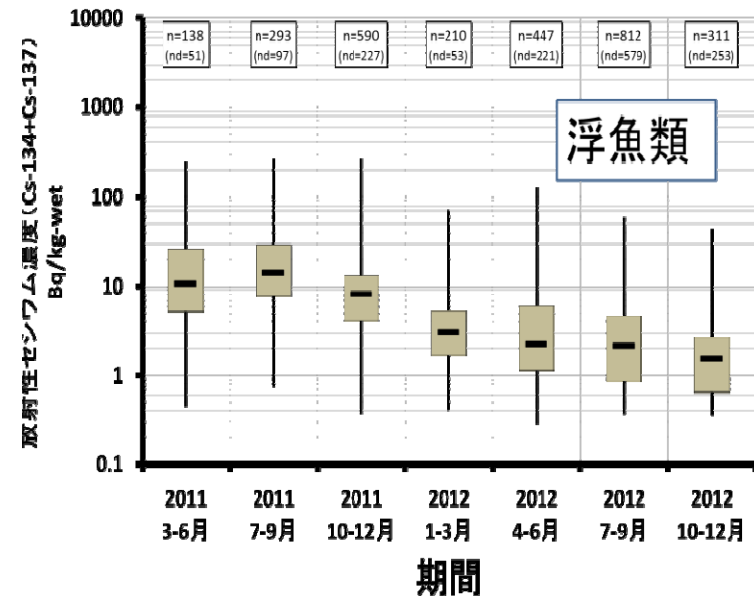
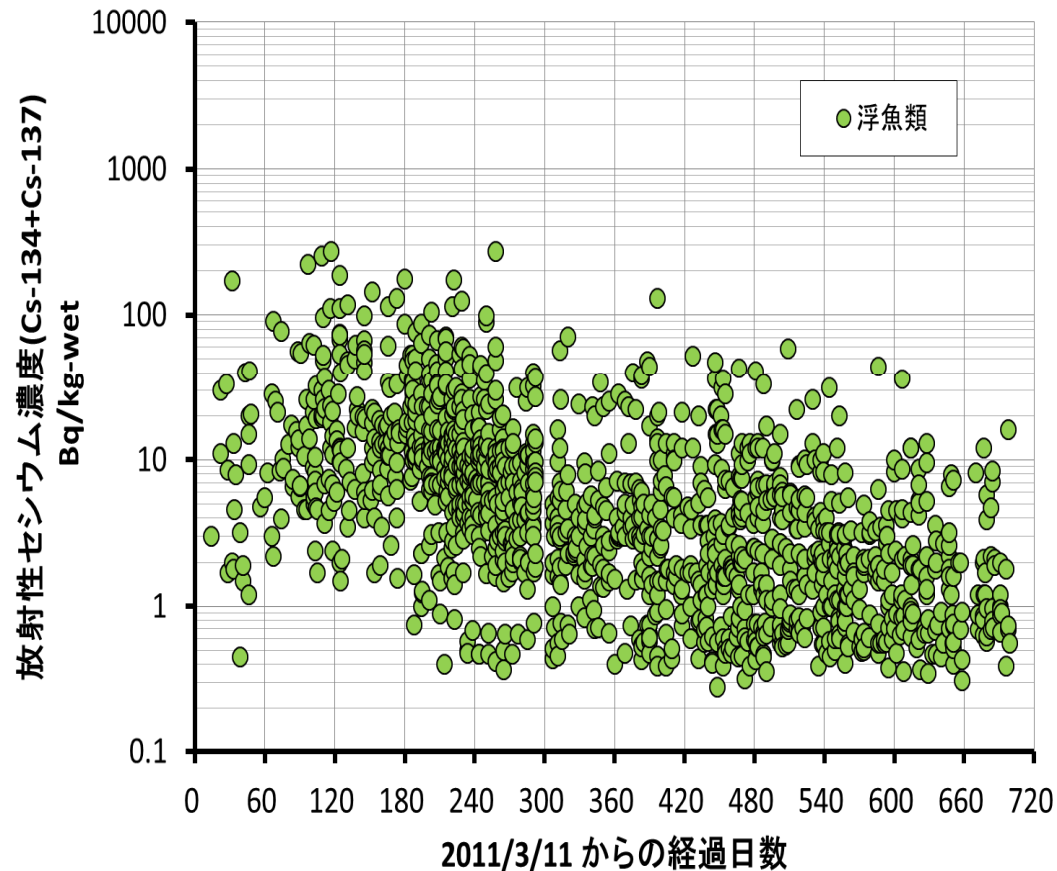


- シラスの濃度の変化は福島沖の海水中の濃度と、ほぼ同期して低下。
- 原発の南の沿岸域ではコウナゴ、シラスなどの海面近くに分布する仔稚魚は、初期高濃度水の影響を直接に受けたと考えられる。

4-6 海産生物への移行の経過と現状 浮魚

浮魚全般について

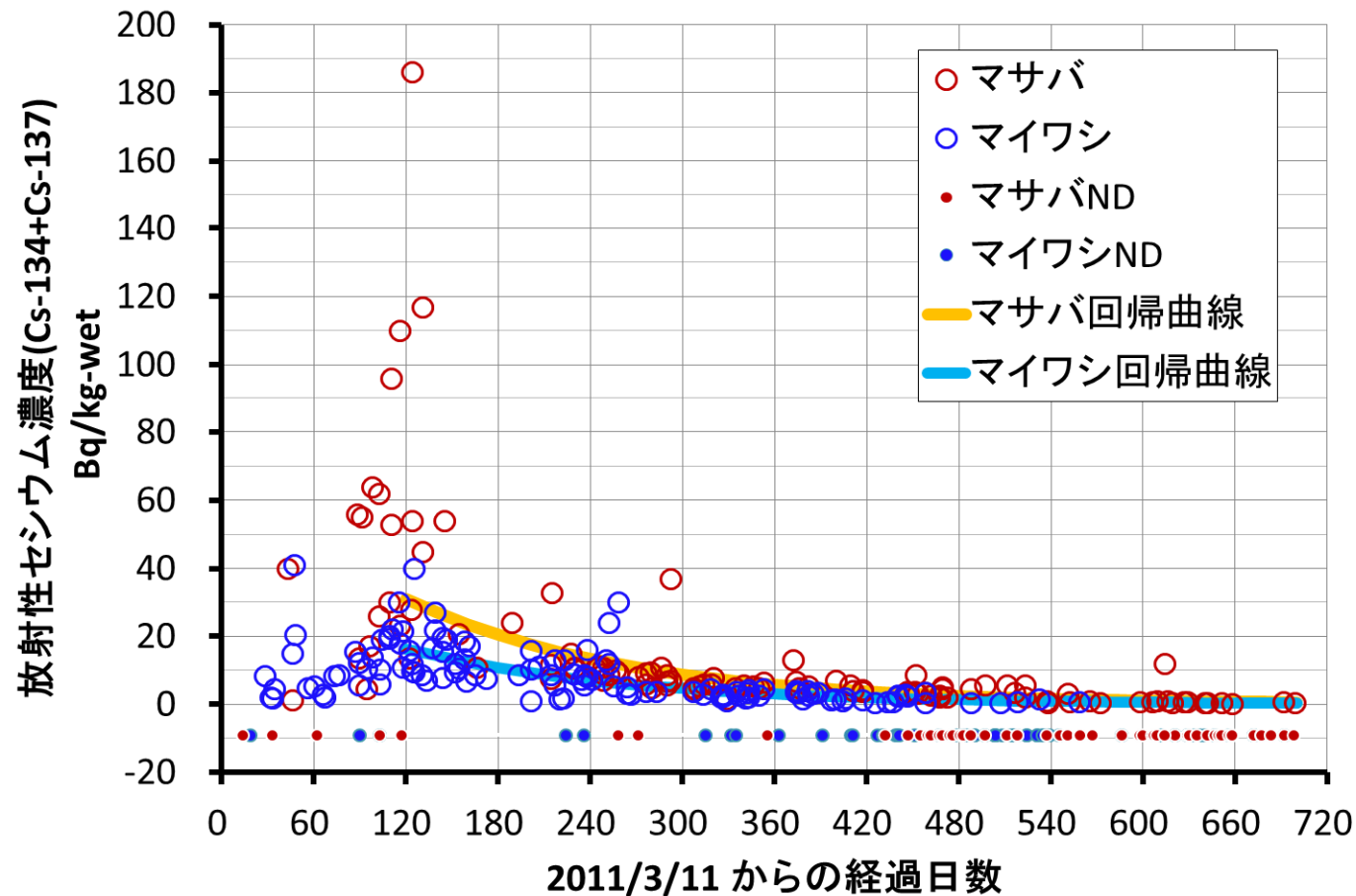
- ・ 浮魚類、初期の段階で濃度上昇、夏にピーク
- ・ 夏以降濃度低下、100Bq/kg-wet超は現在は無



4-6 海産生物への移行の経過と現状 浮魚

小型浮魚類（マイワシ、マサバ）

2011春・夏の濃度上昇傾向、夏以降の濃度低下。
濃度低下は100日程度で濃度が半減するスピードで進む。

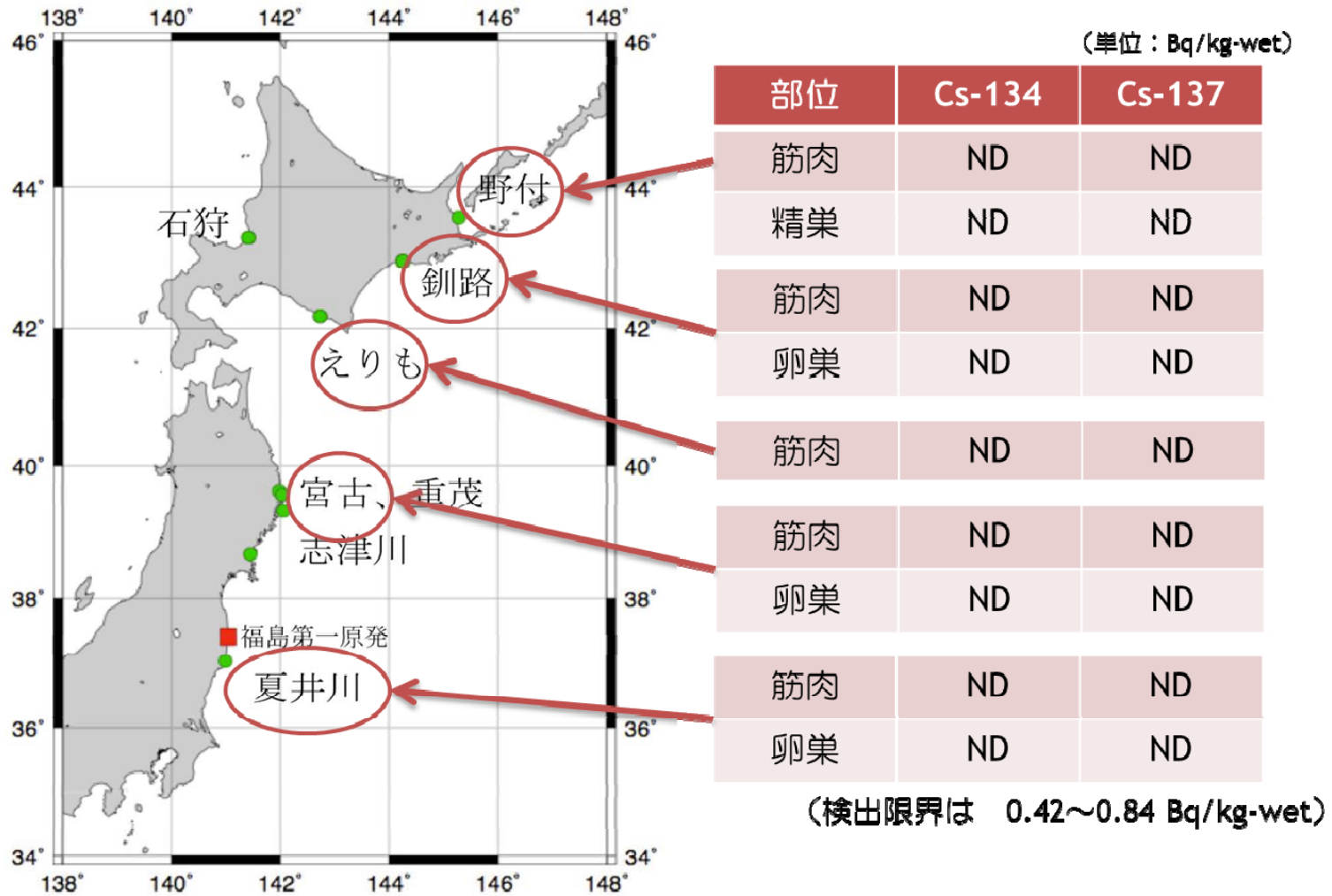


4-7 海産生物への移行の経過と現状 海産魚

小型浮魚類の現状（灰化試料による精査）

魚種	海域	時期	Cs-137濃度(Bq/kg-wet)	
			2012年灰試料	2001~2010の濃度幅
サンマ	釧路沖～ 日立・鹿島沖	2012年10月、 11月	0.13~0.21	0.033~0.079
マイワシ	銚子沖	2012年6月、8 月	0.39~0.42	0.030~0.090
マサバ	銚子沖	2012年12月	0.43	0.091~0.15
ゴマサバ	銚子沖	2012年10月、 12月	0.35~0.75	
マアジ	銚子沖	2012年8月、12 月	1.2~3.3	0.05~0.18

4-8 海産生物への移行の経過と現状 サケ

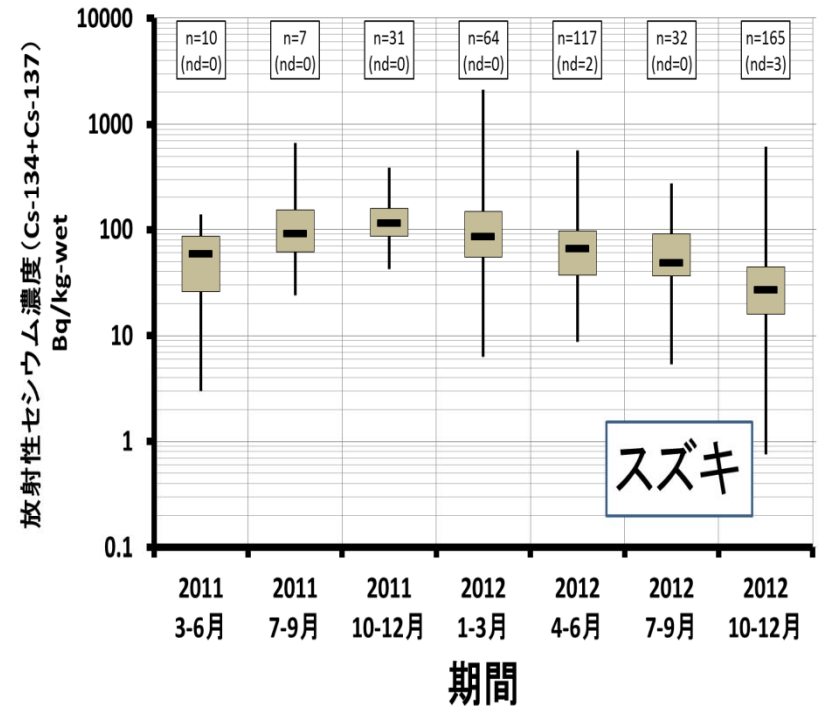
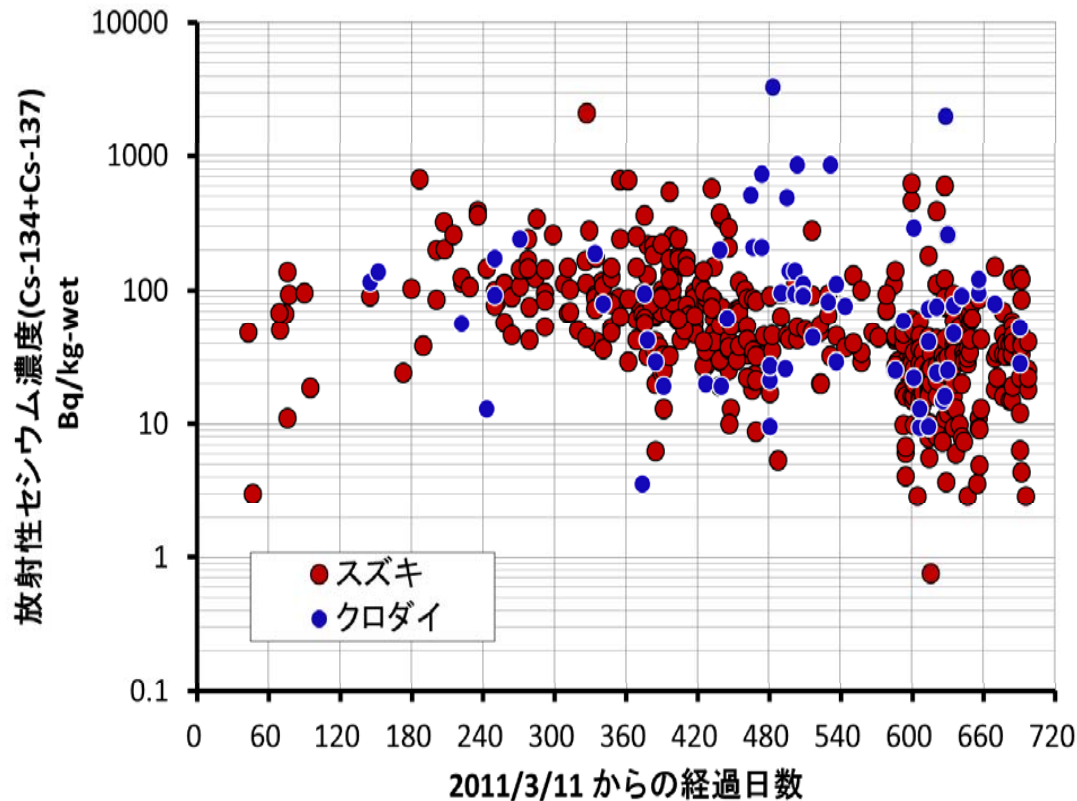


4-9 海産生物への移行の経過と現状 汽水魚

汽水域を利用する魚（スズキ・クロダイ）

スズキ：2011春から秋に濃度上昇、冬季以降濃度はゆっくり低下
最近の濃度低下は150日程度で濃度が半減するスピードで進むが、高濃度魚の出現も見られる。

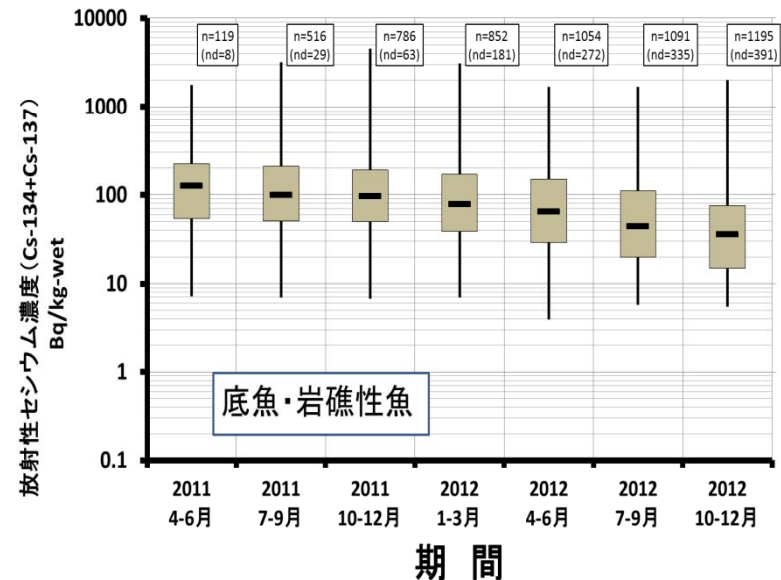
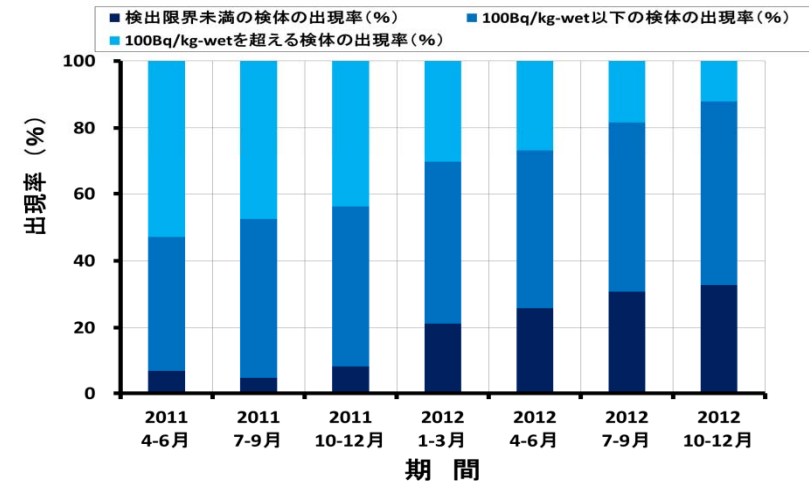
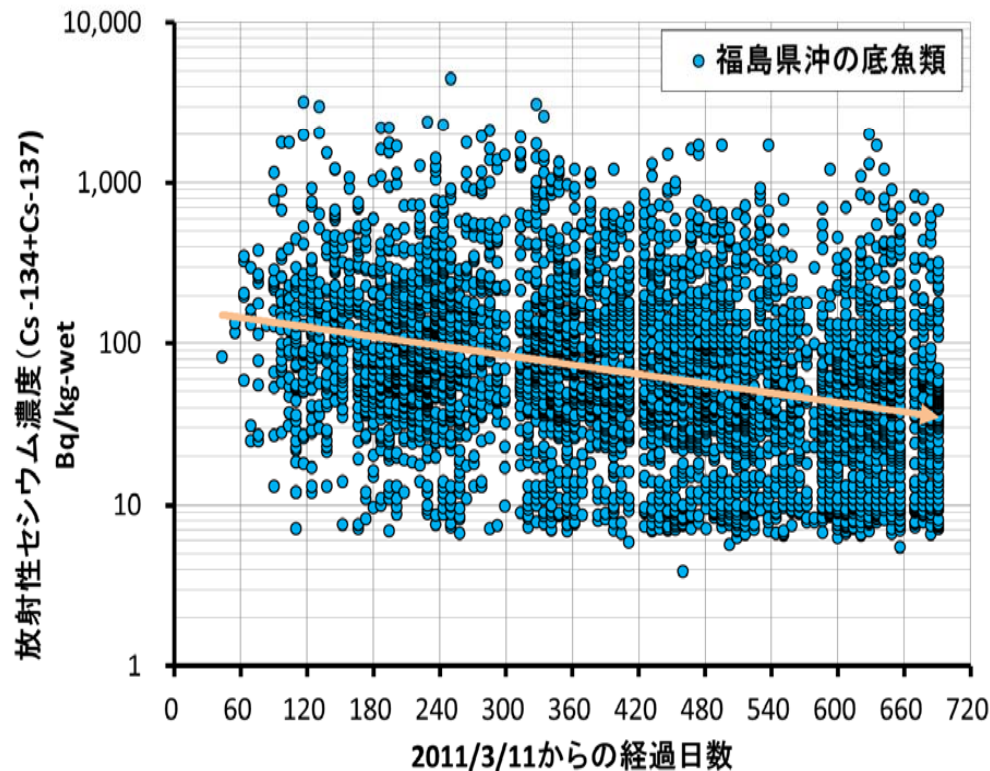
クロダイ：2012年に宮城沖で高い濃度検出、低下傾向不明



4-10 海産生物への移行の経過と現状 底魚類

底魚・岩礁性の魚

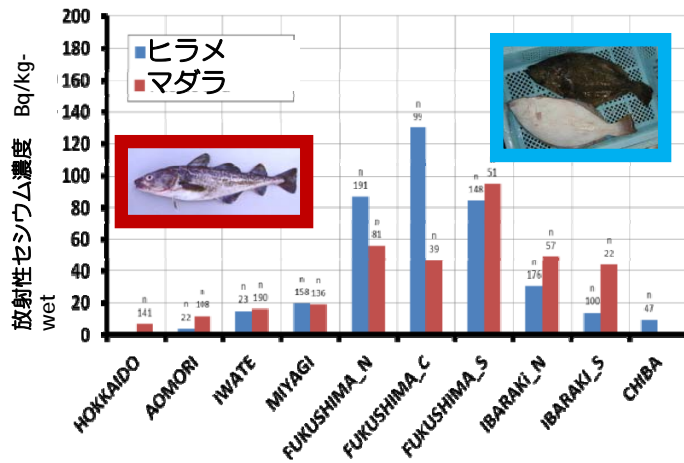
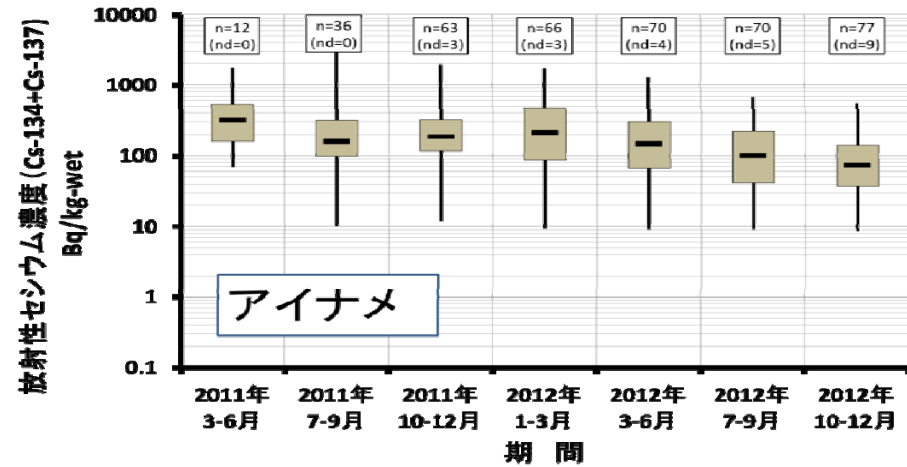
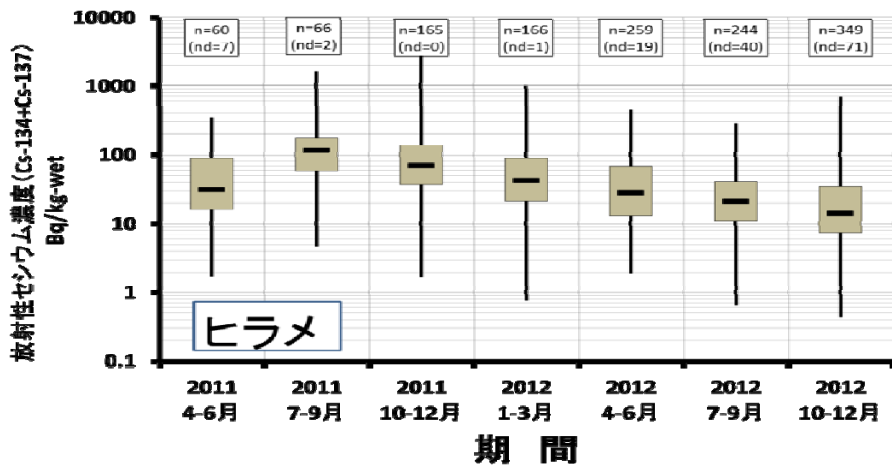
2011秋以降ゆっくりと低下、
2012春から低下傾向強まる。
100Bq超の検体の出現も減少。
実効半減期：340日



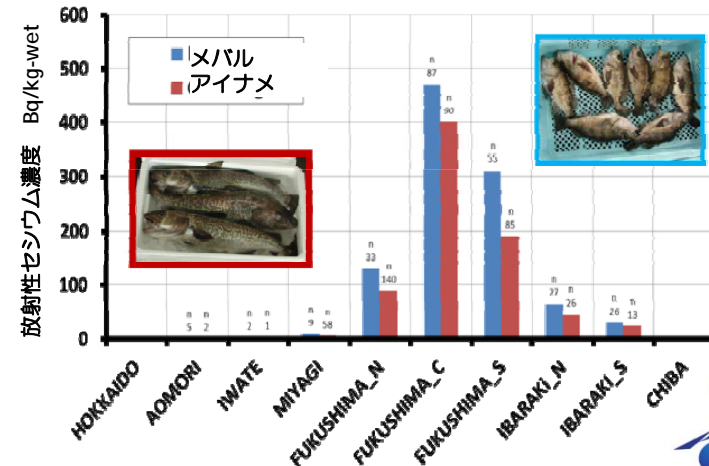
4-11 海産生物への移行の経過と現状 底魚類

底魚・岩礁性の魚

広範囲に一定の濃度の魚が検出される（ヒラメ・マダラ）
 原発周辺とその南側に高濃度魚が分布（メバル類・アイナメ）



<- 北 濃度の南北分布 南->



<- 北 濃度の南北分布 南->



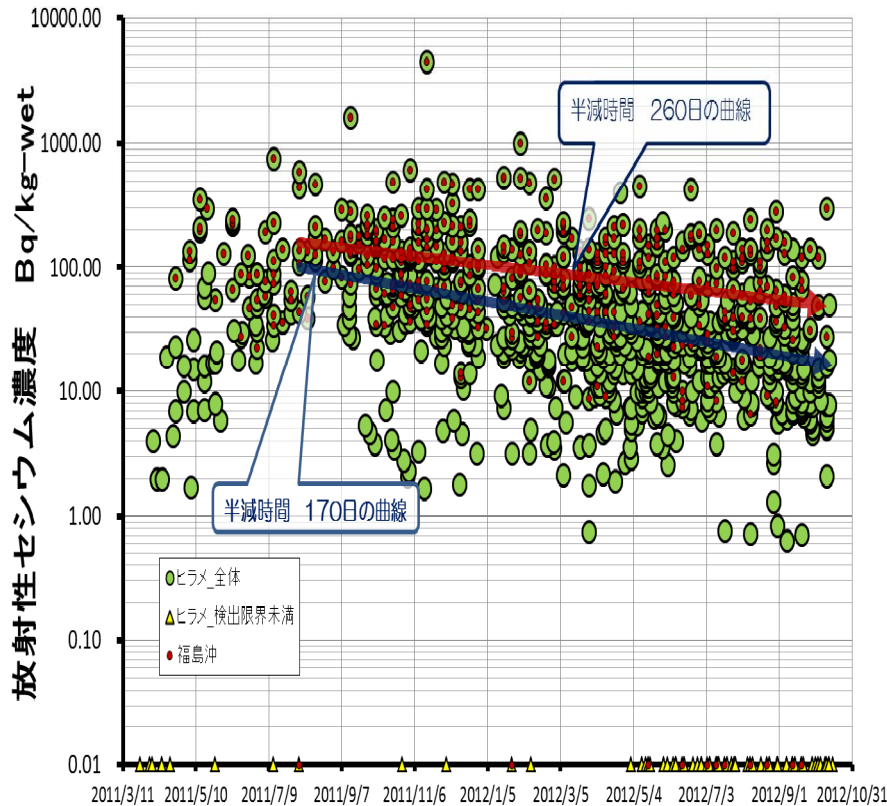
4-12 海産生物への移行の経過と現状 底魚類

時間変化：実効半減期

底魚類では、昨年夏にかけて濃度上昇、その後変化、ゆっくりとした低下傾向が認められる。低下のスピードは浮魚に比べ遅い。

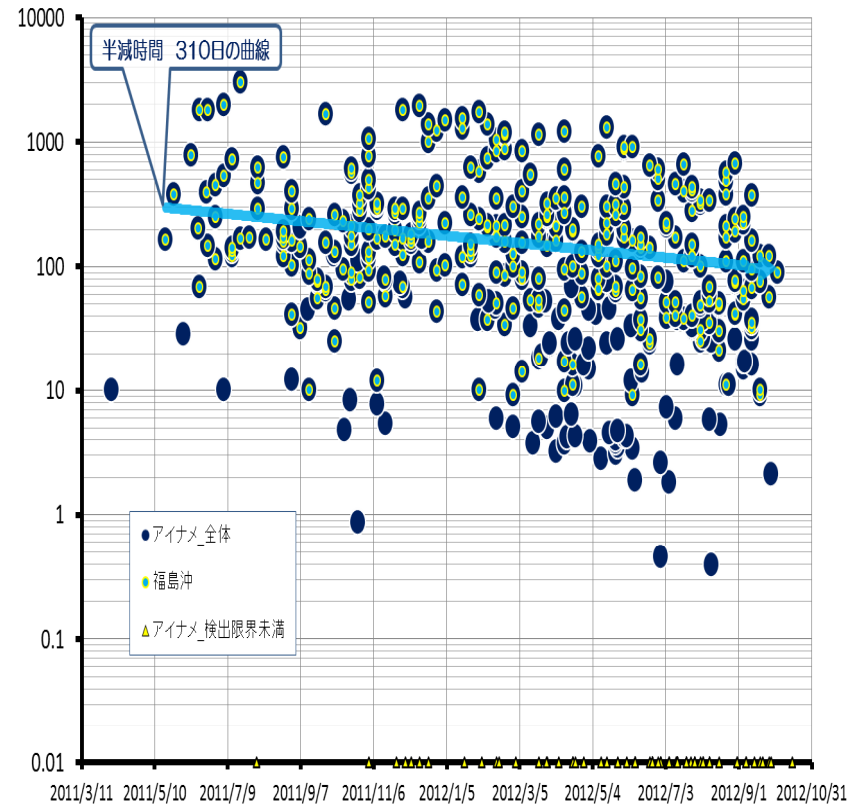
福島沖のヒラメ・アイナメの実効半減期200-300日

ヒラメの放射性セシウム濃度の変化



日付 2011/3/11~

アイナメの放射性セシウム濃度の変化

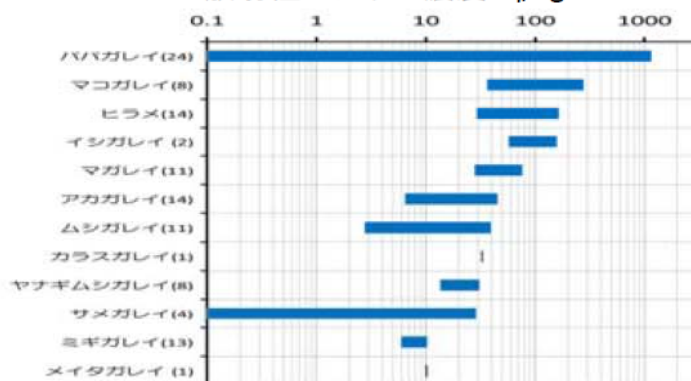


日付

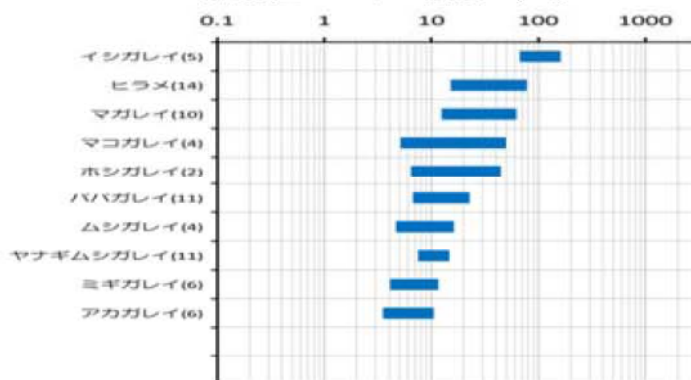
4-13 海産生物への移行の経過と現状 底魚類

福島沖のヒラメ・カレイ類の濃度

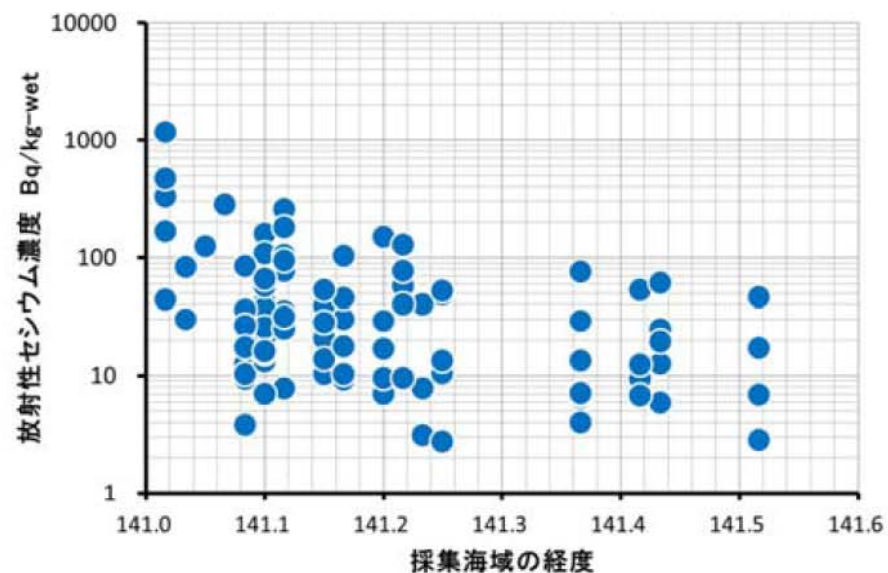
福島南(いわき沖)
放射性セシウム濃度Bq/kg-wet



福島北(相馬沖)
放射性セシウム濃度Bq/kg-wet



福島南(いわき沖)のヒラメ・カレイ類の放射性セシウム濃度と採集位置の関係



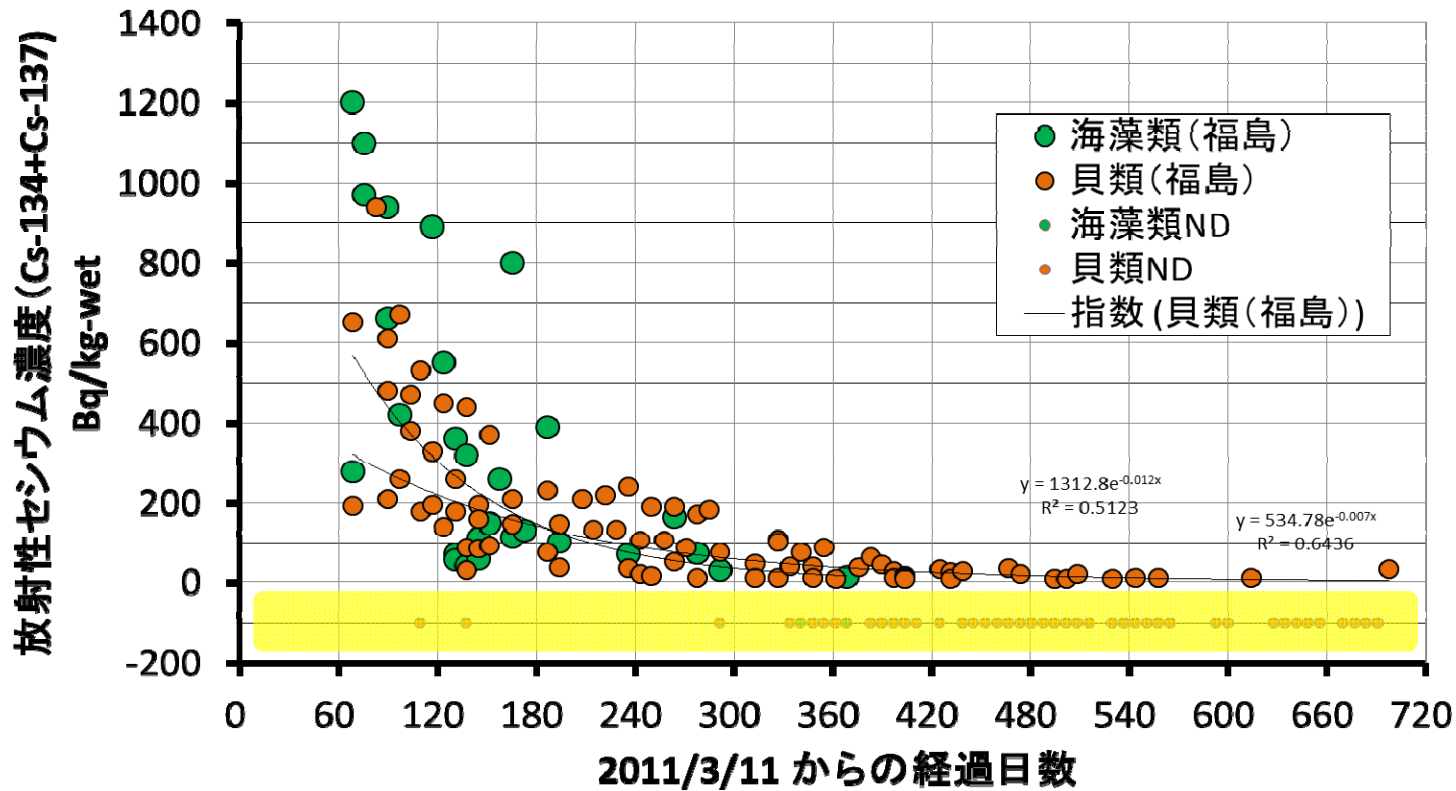
- ヒラメ・カレイ類の放射性セシウム濃度については、魚種毎の傾向がある。
=>魚の生態の理解
- また、いわき沖の結果から岸に近いほど濃度が高い傾向が見られる。
=>海底の環境、餌との関係の理解

4-14 海産生物への移行の経過と現状 海藻・貝

沿岸の海産生物 ほとんど動かない生物（海藻・貝）

福島沖（原発の南）のアラメ等の海藻、ウバガイ等の貝類の測定結果

・初期に高濃度、その後急速に低下



4-15 海産生物への移行の経過と現状

魚種	放射性セシウム濃度変化	要因
沿岸 コウナゴ・シラス	初期高濃度・低下急	海水
沿岸 海藻類・貝類	初期高濃度・低下急	海水
沿岸 岩礁性の魚	初期高濃度・低下緩（300日）	海水・餌
沖合 マイワシ・マサバ	濃度上昇（春・夏）・低下（100日）	海水
沖合 底魚	濃度上昇（春・夏）・低下緩（300日）	海水・餌
汽水域 スズキ・クロダイ	濃度上昇（春～冬）・低下（150日）	海水・餌

- ▶ 初期高濃度：原発周辺およびその南の海域の海産生物は、原発事故直後に海洋に直接流出した高濃度水の影響を強く受けた。
- ▶ 浮魚・仔稚魚、海藻類・貝類は海水中の濃度の変化の影響を受けて変動
- ▶ 岩礁性の魚・底魚：餌を介しての取込の影響もある。
- ▶ スズキ・クロダイ：汽水域への出入りにより、放射性セシウムの排出しにくい時期があった影響

4-16 海産生物への移行の経過と現状

○これまでの状況

①環境（海水）： 濃度低下

⇒ 海水の濃度は輸送と拡散により継続して濃度低下

②動物プランクトン～浮魚：濃度低下（海水濃度と関係）

* 回遊性の小型浮魚類は平常に戻りつつある

事故前の5～10倍まで戻る

⇒ 海水の清浄化とともに濃度は継続して低下

③底魚・岩礁性の魚：濃度低下は緩やか

* ヒラメ、マダラ（底魚）、スズキ、クロダイ（汽水魚）で
周辺海域でも一定の濃度を持った魚が出現

* 福島を中心に岩礁性の魚で濃度の高い魚出現

* 事故前に比べ、10倍～1000倍の濃度

⇒ 海水の清浄化とともに緩やかな濃度低下は継続

4-17 海産生物への移行の経過と現状 海産魚

○これからの予測に向けた課題

なぜ、底魚、岩礁性の魚、汽水域を利用する魚で放射性セシウム濃度の低下がゆっくりなのか？

=>放射性セシウムの取込み経路・魚の生理（浸透圧調節）との関係

なぜ、マダラ、ヒラメで原発から離れた海域でも濃度が高い魚が出現するか？

=>魚の移動生態との関係の解析

なぜ、アイナメ、ムラソイなど原発周辺、原発港湾内での超高濃度魚が出現したのか？

=>環境中の放射性セシウム濃度の時間変化、空間分布との関係の解析

内 容

1. 原発事故発生と漁業への影響
2. 緊急時モニタリング調査
3. 海産魚と放射能
4. 海産生物への移行の経過と現状
5. 高濃度魚について

5-1 高濃度魚について

事例

沿岸域での高濃度魚の出現事例

1万Bq/kg-wetを超える濃度を持つ魚

- 1) 2011年4月 いわき沖
コウナゴ 12,500~14,400Bq/kg-wet
- 2) 2012年8月 太田川河口沖
アイナメ 25,800Bq/kg-wet
- 3) 2012年10月 東電福島第一原発港湾内
マアナゴ 15,000Bq/Kg-wet
- 4) 2012年12月 東電福島第一原発港湾内
アイナメ 40,000Bq/Kg-wet
タケノコメバル 101,000Bq/Kg-wet
ムラソイ 254,000Bq/Kg-wet

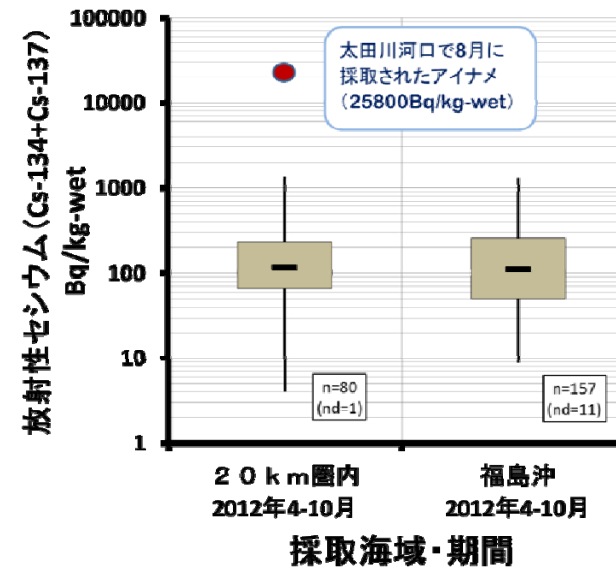
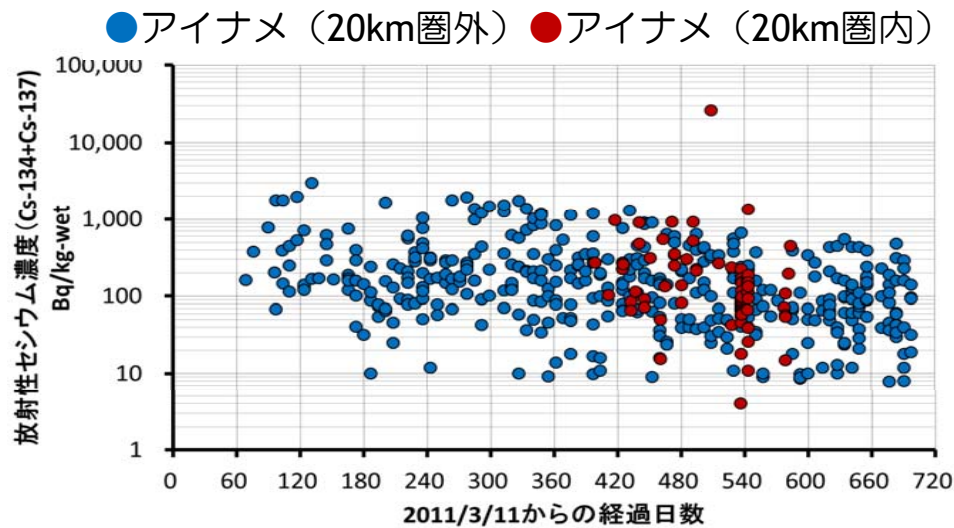
* 定着性の高い岩礁性の魚
* 沿岸域の魚



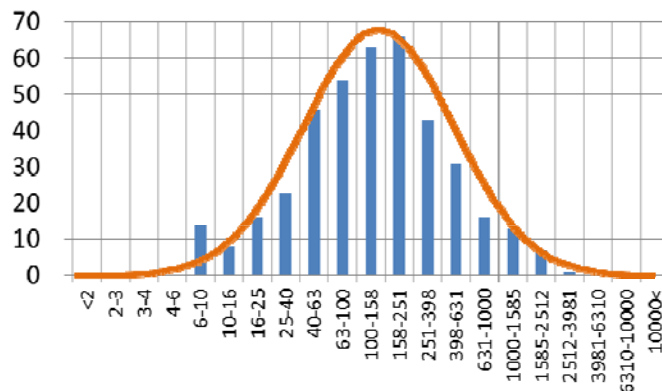
5-2 高濃度魚について

アイナメ

福島沖の高濃度アイナメ出現の特異性



アイナメ濃度の頻度分布 (20km圏外)
対数正規分布による近似



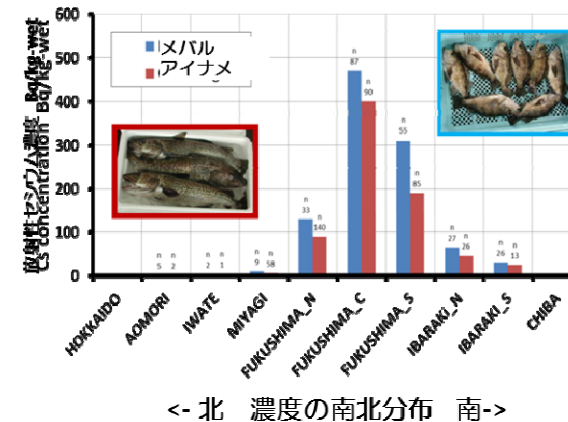
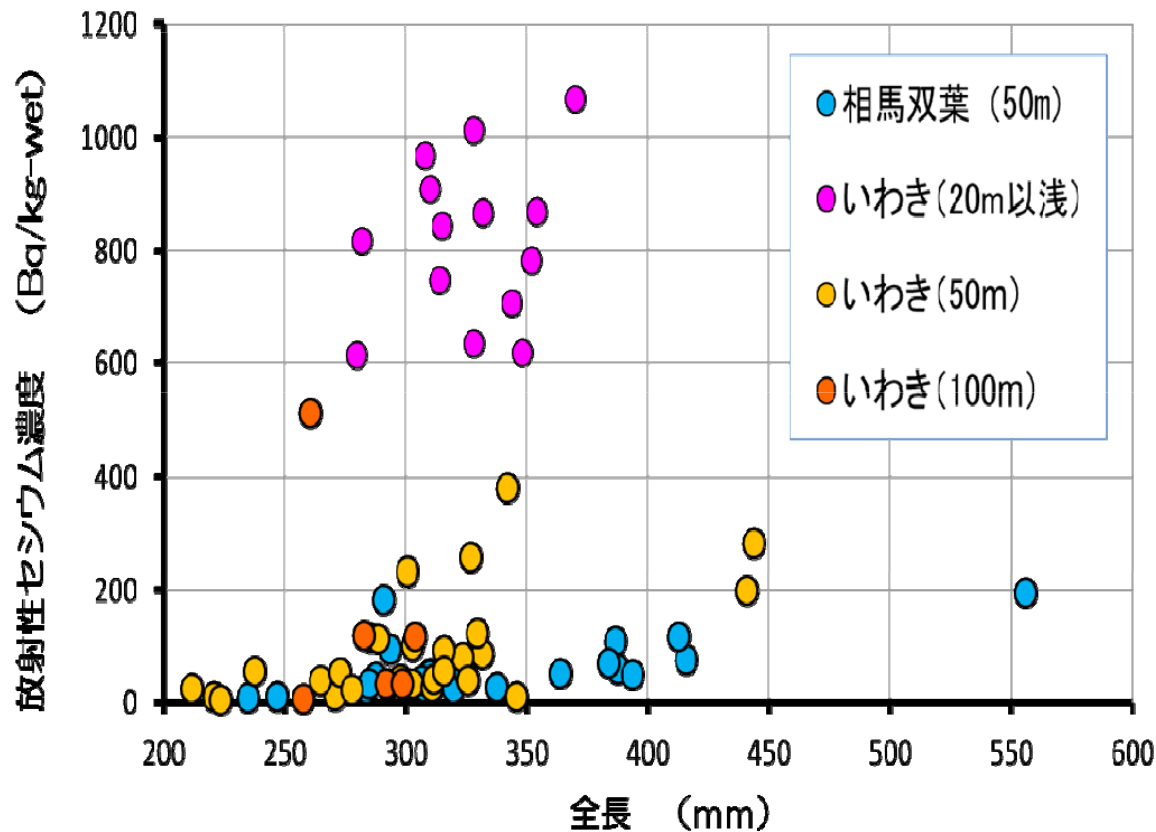
- ・ 25800Bq/kg-wetのアイナメは、他のサンプルの測定結果からは、大きくかけ離れた個体。
- ・ 25000Bq/kg-wetを超える個体の出現率は、1/50000。
- ・ 他のアイナメとは異なる特殊な環境を経験した可能性が大。

5-3 高濃度魚について

アイナメ

福島南部のアイナメの採取域と濃度の関係

2012年5-6月に福島県沖で水深別に採取したアイナメの放射性セシウム濃度と体長の関係
沿岸部に濃度の高いアイナメが存在、沖は低め



・アイナメの高濃度個体の出現は原発周辺とその南の沿岸域に限定される。

⇒ 定着性を反映

5-4 高濃度魚について

考え方

高濃度魚（1万Bq/kg-wet超）出現に関する考え方

観察されている出現状況

- 1) 高濃度魚の出現水域
原発近傍の沿岸域
原発港湾内
- 2) 高濃度魚の魚種
岩礁性魚種で定着性が強い
肉食

環境条件

- 1) 原発近傍の沿岸域
事故後の一時期、高濃度水に覆
われる（1万～100万Bq/kg-wet）

高濃度水影響の事例

- 1) 初期のコウナゴの高濃度
2011年4月に1万Bq/kg-wet超
- 2) 原発の南側沿岸での高濃度
沿岸のカサゴ類、アイナメ等

想定1

事故直後の数週間の高濃度水への
継続した曝露により相当量の放射
性セシウムを体内に取り込んだ

想定2

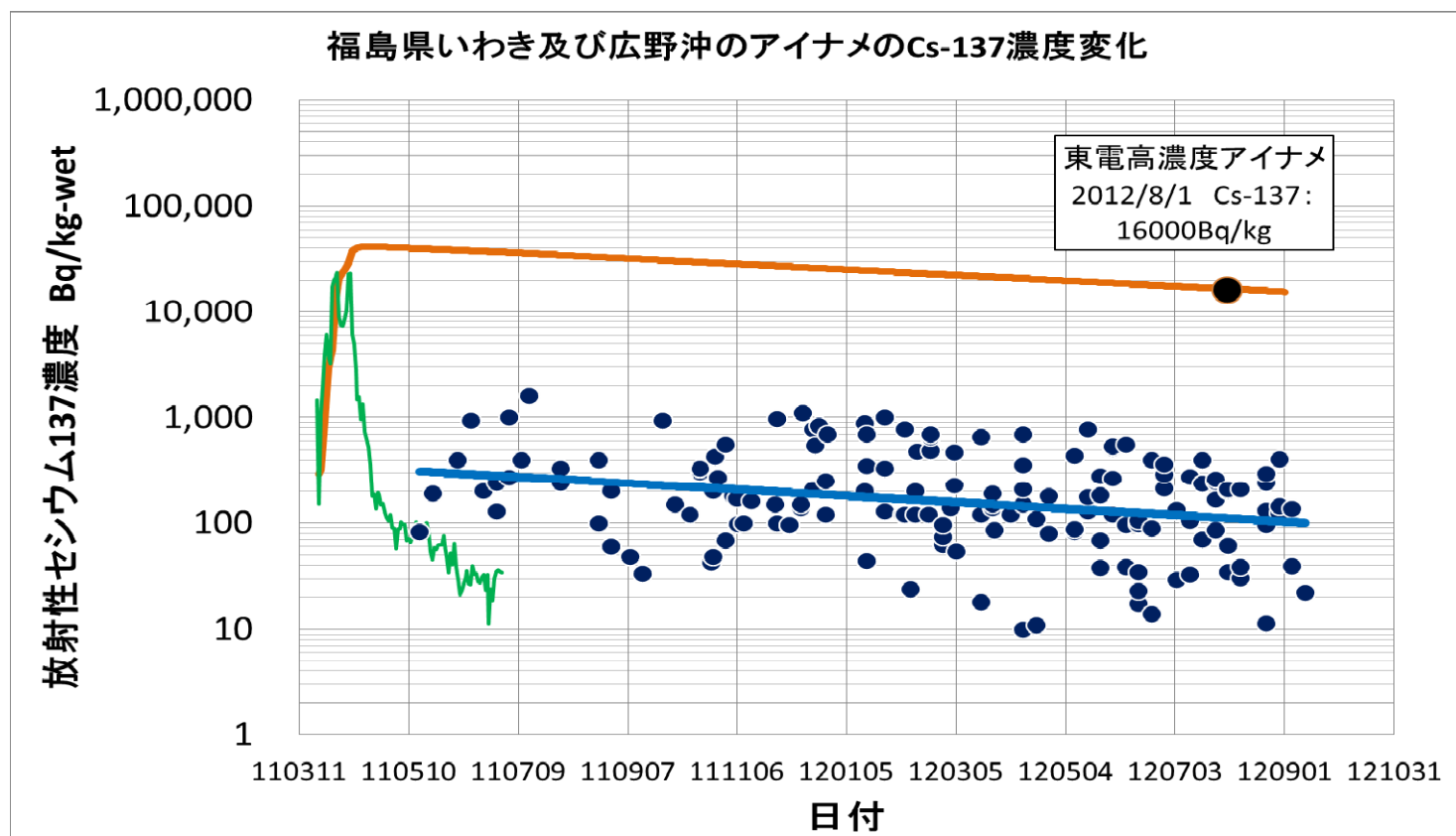
高濃度水への曝露の影響は餌料生
物にもあり、餌料生物も高濃度化、
餌料を通じた取込みが続く。

5-5 高濃度魚について

高濃度魚（1万Bq/kg-wet超）出現に関する試算例

原発近くに生息し、初期の高濃度水に遭遇、飲水（毎日体重の10%）により放射性セシウムを取込み、排出係数は、いわき海域のアイナメで観測される値（実効半減期で300日）を利用

$$\text{濃度（体内）} = \text{取込係数} \times \text{濃度（海水）} - \text{排出係数} \times \text{濃度（体内）}$$



まとめ

- 海産生物の放射性セシウム濃度は継続して低下。
- 濃度変化のパターンは、魚種毎に異なり、浮魚で早く、底魚で遅い。
- 濃度の高い魚の出現には地理的な分布がある。
初期の高濃度水の分布移動の影響を強く反映。
- 沿岸域では初期高濃度水の影響が強く残る魚種もある。

おわり