避難指示区域内の渓流域における魚類および環境試料中の放射性セシウムおよびストロンチウム濃度について

中里亮治・苅部甚一
（茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター）

2017年12月5日
第9回放射線計測フォーラム福島
郡山市民交流プラザ

注意：本資料に掲載されているデータや図の一部は中里・苅部研究グループの未発表データを基に作成されたほか、インターネットから引用した写真等を含んでいます。したがって中里・苅部の許可なく本資料をそのまま、または一部を抜粋して他の印刷物、報告書、インターネット媒体等に引用・転用するのは禁止させていただきます。

帰還困難区域の渓流域における魚類および環境試料中の

1, 放射性Csに関する話題提供：中里亮治

2, 放射性Srに関する話題提供：苅部甚一

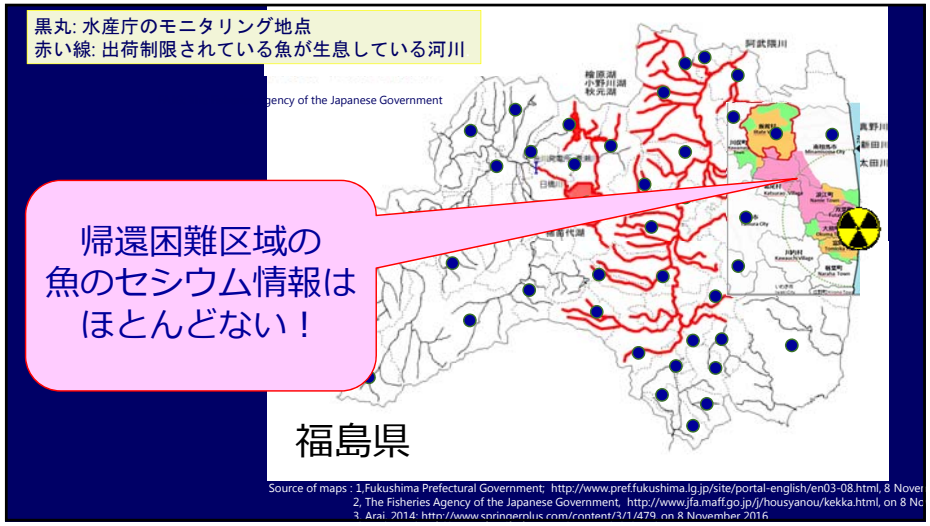
1、研究の背景

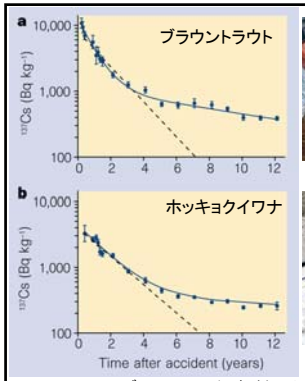
- 福島第一原発事故の影響によって、避難指示区域内およびその近傍のほとんどの内水面魚種の採捕・出荷が制限。
- 避難指示解除後の地域の再活性化と内水面漁業の復興のカギ
  →イワナ・ヤマメ・アユ釣りなどの「遊漁の復活」

地元の行政・漁協関係者の方々が知りたいこと

★遊漁対象となる魚の
- 放射性Csの現状と今後の推移は？
- それらの収束時期は？
- 放射性Csを低減できるか？

【根底にあるもの】
魚や生息地環境を含めた放射能に関する情報不足





魚のCsの今後の推移・収束時期は？
（チェルノブイリでの事例）

4−5年で1／ 10 程度に低下、
それ以降は緩やかに減少

魚種によっても下がり方が異なる
（魚の寿命が関係？）

チェルノブイリ原発事故以降のブラウントラウトおよびホッキョクイワナにおける^{137}Cs濃度の推移（1986年-1998年）
（ Jonsson et al. 1999を一部改編）

日本でのブラウントラウトの分布

2.　研究の目的

帰還困難区域内にある空間線量率の異なる森林河川において

①イワナとヤマメの^{137}Cs濃度の推移を把握する

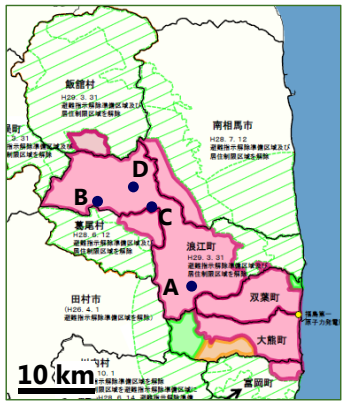
②「標識放流実験」から上記2魚種への^{137}Cs蓄積速度および速度の差異の有無を明らかにする

③イワナ・ヤマメの放射性Cs低減化方法の開発

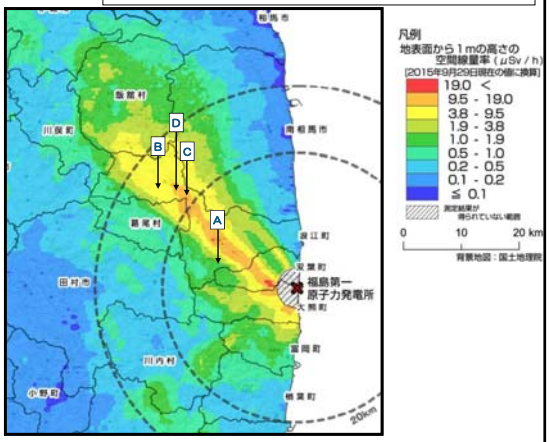
（③については2017年3月の日本水環境学会年次大会で発表予定）

2. 調査地

空間線量率　A＜B＜C＝D



Site A, B, C , D は帰還困難区域内に設定

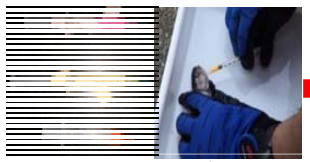


原子力規制委員会、「航空機モニタリングによる空間線量率の測定結果（H27.9.29 時点）」より

3. 調査・実験の内容（実施期間：2015年5月～現在まで）

① 河川環境試料および水生生物（魚・水生昆虫）のCsモニタリング

② 標識放流実験：Cs蓄積速度(見かけの増加量）の測定



麻酔後に蛍光タグで標識

Site A と D に放流

釣りによる採捕

Ge半導体検出器でCs測定

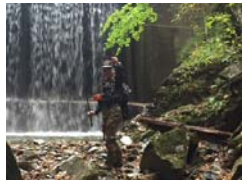
- 標識・放流日・採捕期間
  2016年5月16-17日、採捕期間：SiteA　5月31日～ 10月13日
  SiteD　5月31日～ 11月21日
- 放流尾数
  ヤマメ・イワナ：各120尾（再捕獲率20～30%）
- 放流魚の情報
  ヤマメ：37±6 g，イワナ：25±6 g
  ☆２魚種ともに1⁺（2014年の秋に生まれた個体）

4. 結果と考察

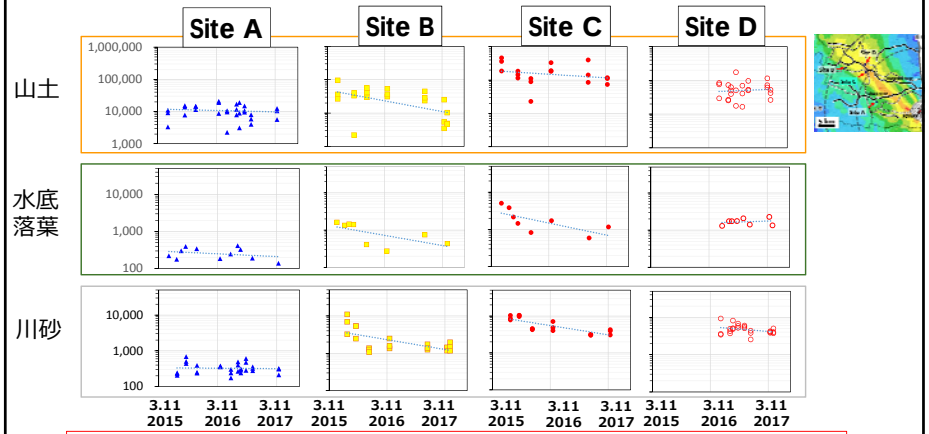
4-1. 環境試料のCs濃度の推移

4-2. 天然ヤマメとイワナの^{137}Cs濃度の推移

4-3. 標識放流実験の結果
（ヤマメとイワナのCs蓄積速度の比較）



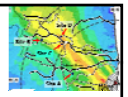
4-1 避難指示区域内の空間線量率の異なる4地点における環境試料中の^{137}Cs濃度の推移

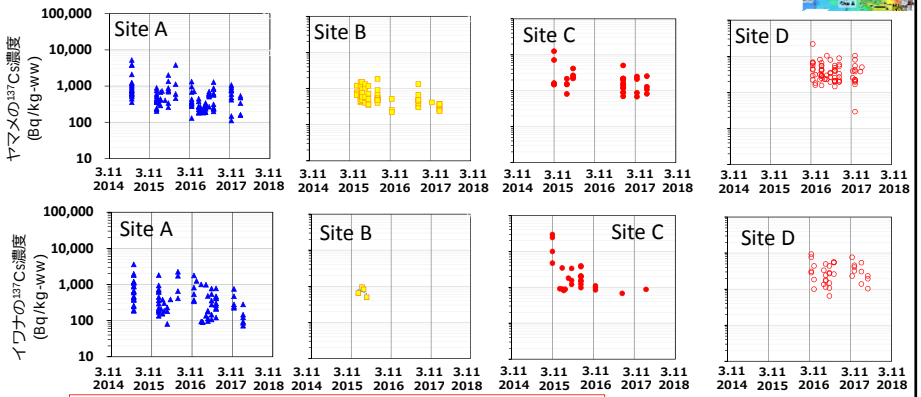


環境試料の^{137}Cs濃度: SiteA<SiteB<SiteC≦SiteDの順に高かった.→空間線量率に反映されている.

2年分のデータがあるSiteA,B,Cでは、環境試料の^{137}Cs濃度は減少傾向にある.

4-2 避難指示区域内の空間線量率の異なる4地点における
天然ヤマメ（上段）およびイワナ(下段）の^{137}Cs濃度の推移





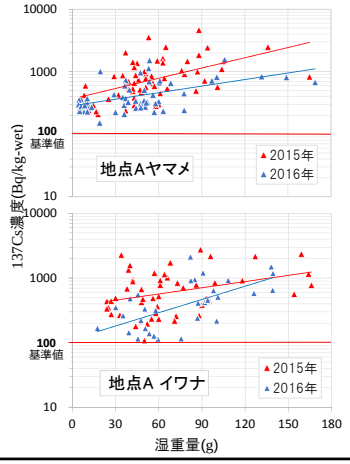
河川環境中の放射能強度が高い河川ほど2魚種のCs濃度は高かった

避難指示区域外と帰還困難区域内で採取された ヤマメ・イワナの Cs濃度の比較（2015年のデータ）

魚　種	避難指示区域の外（水産庁,2015）	帰還困難区域（本研究）
ヤマメ	20 Bq/kg (n=127) → 58 倍も高い	1,176 Bq/kg (n=60)
イワナ	17 Bq/kg (n=150) → 75 倍も高い	1,310 Bq/kg (n=48)

Cs 帰還困難区域内で採取された魚のCsは
避難指示区域の外よりも約70倍高かった。

2015年と2016年に地点Aで採捕した2魚種の^{137}Cs濃度の比較



▶ヤマメの場合

2016年の^{137}Cs濃度は2015年と比較して有意に低い。

Cs濃度が下がっている！

▶イワナの場合

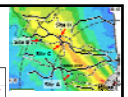
2015年と2016年で^{137}Cs濃度に有意な差がない。

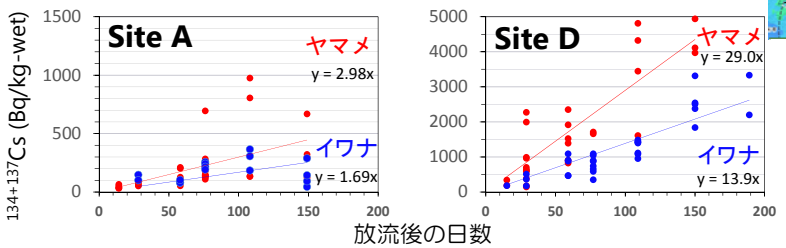
Cs濃度が下がっていない

将来的な推移を予測するために
モニタリングの継続が必要

4-3 標識放流実験の結果

放流ヤマメとイワナの Cs蓄積速度の比較





- 環境中の放射能強度が高い河川では放流魚へのCs蓄積速度は速い。
- １日あたりのCs蓄積速度はイワナとヤマメで有意に異なった (ANCOVA)

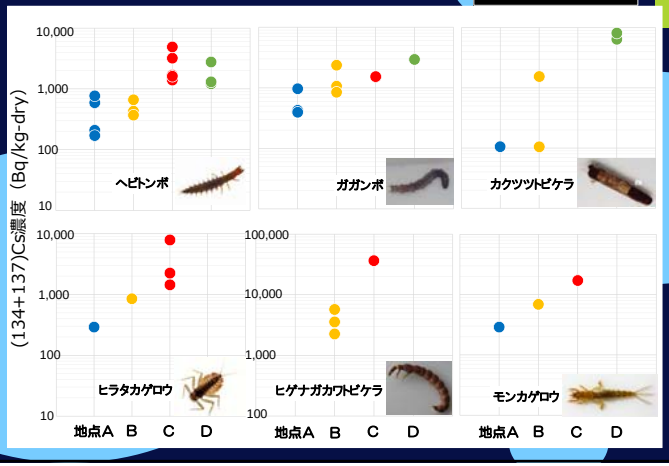
ヤマメ	＞	イワナ
Site A: 3.0		Site A: 1.7
Site D: 29.0		Site D: 13.9

(単位：Bq/kg/day)

Cs蓄積速度が
2魚種で異なる理由は？
→今後の検討課題

大型無脊椎動物のCs濃度

空間線量率
A＜B＜C＝D



まとめ

- ヤマメ・イワナの釣獲調査と標識放流実験から、河川環境中の放射能強度が高い森林河川ほど2魚種のCs濃度は高く、放流魚へのCs蓄積速度は速かった。
- 地点Aでは、2016年のヤマメの^{137}Cs濃度は2015年と比べて低かった。一方、イワナの場合は2015年と2016年で^{137}Cs濃度に差はなかった。
- 渓流魚への放射性Csの移行は主として水生昆虫経由と推察された。

今後の課題

- Cs蓄積速度が2魚種で異なる理由の解明
- 河川水経由でのCs移行量の検討

- カクツツトビケラのように巣ごと捕食される場合は巣材経由からのCs取り込みがある可能性があるため**胃中での巣からのCs溶脱**を評価することが必要

避難指示解除後の地域再活性化と内水面漁業の復興のイメージ

1、帰宅困難区域内の渓流釣り解禁地区を選定

2、解禁予定区域内の除染作業

3、当該区域での渓流釣り解禁

4、解禁後のモニタリング
空間線量・魚のCs測定

魚類の放射性Csモニタリングの流れ

1、現場での魚体内Cs測定(要機器開発)
2、100Bq/kg未満の個体は再放流、それ以上の個体は場合によっては捕獲・確保し放射性Csの低減化処置

◎放流魚種は、放射性セシウム蓄積速度の遅い魚種が最適と思われる

本研究では以下の方々と関係団体の献身的なご協力とご理解をいただきました(敬称略)。この場を借りてお礼申し上げます。

○室原川・高瀬川漁業協同組合
鈴木仁根・加藤健一・菅野富美恵・吉田正則

○泉田川漁業協同組合
小山公明

○福島県浪江町役場産業振興課
大浦龍爾・鈴木智和・岩尾恒雄

○茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター
鈴木貴大・上田　仁・川上拓磨・Park Soeun・上野山諒一

本研究の一部はJSPS科研費_挑戦的萌芽研究(課題名:阿武隈山地渓流魚の放射性Cs移行メカニズムと渓流魚体内のCs低減化に関する研究、課題番号15K12200)の助成を受けて実施された。

避難指示区域内の渓流域における魚類および環境試料中の放射性セシウムおよびストロンチウム濃度について

～放射性ストロンチウム調査結果報告～

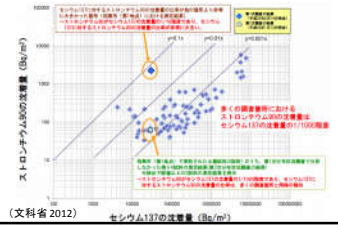
2017年12月5日
第9回放射線計測フォーラム福島
郡山市民交流プラザ

苅部甚一・中里亮治
（茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター）

1

福島第一原子力発電所事故による放射性ストロンチウムの問題

- 放射性ストロンチウム：Sr-89，Sr-90（β線放出核種）
  半減期　Sr-89（約50日），Sr-90（約30年）
  Caと類似：骨組織に濃縮→生物への長期的な蓄積
- 陸域における放射性Sr汚染実態の解明は進まず（Csに比べて）
  放出量の少なさ（社会的関心の低さ），分析法の難しさ
  沈着量　Sr-90 / Cs-137 ≒ 1 / 1000　　公定法（文科省 2003）



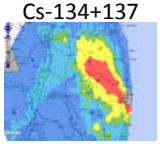
（文科省 2012）

2

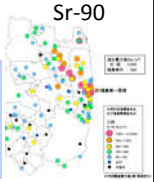
福島第一原子力発電所事故による放射性ストロンチウムの問題

- 福島県沿岸部（山地）に高放射性Cs汚染地域
  →放射性Srの沈着量も高い？
- 内水面漁業：基幹産業
  →河川環境中の放射性Sr汚染は？

Cs-134+137


放射線量等分布マップ拡大サイト
2011年4月23日時点（一次）

Sr-90


福島県 2012

目的

請戸川流域環境における福島第一原子力発電所事故由来の放射性ストロンチウム分布の解明

3

方法

- 調査期間　2015・2016年3～11月
- 調査地域（河川及びその周辺）
  請戸川：上流域（支流），下流域
  高瀬川：上流域（支流）
  北海道南部，青森県の河川（バックグラウンド：BG）

- 調査対象
  河川周辺の表層土壌，河川水，魚骨（イワナ＊）
  ＊寿命は最長で7年，大型は事故前から生息？
  ＊魚骨：環境中の放射性Srを濃縮，一定期間保持
- 放射性Sr分析法
  固相抽出法による簡略（迅速）分析法の活用
  → Karube et al. 2016，Tazoe et al. 2016

4

放射性Sr（Sr-90）分析法

- 公定法（文科省 2003）→処理工程が非常に多い
- 固相抽出法による簡略・迅速化
  → 放射性Sr研究における問題点を解消

①Sr分離法（Karube et al. 2016）

Sr（Sr-90）分離→Y（娘核種：Y-90）分離→Sr-90定量

＊Sr-89の定量が可能，最短で3週間程度，
分離剤が高価（1検体数万円）

②Y分離法（Tazoe et al. 2016，迅速法）

Y（Y-90）分離→Sr-90定量

＊数日で定量可能（Sr-90のみ，1検体数千円）

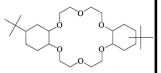
Sr分離：Sr Resin
(Eichrom)

Y分離：DGA Resin
(Eichrom)

①Sr分離法（Karube et al. 2016）

Karube et.al.(2016): Environ Sci Pollut Res 23:17095–17104

Sr Resin (Eichrom)



骨の分析
（Sr separation）

解剖～灰化～酸分解
⇩
炭酸塩沈殿
⇩
シュウ酸塩沈殿
⇩
陽イオン交換樹脂
⇩
水酸化鉄共沈
（scavenging）
⇩
Y分離（milking），計測（LBC）

Sr Resin
（Eichrom）

従来法（文科省 2003）　Karube et al. 2016

- 標準物質（魚骨，JSAC 0785）分析結果
  Sr-90 認証値　11.5 ± 1.2 Bq/kg　(k=2)

試料	試料量 g	Sr回収率 %	分析値 Bq/kg	拡張不確かさ (k=2)
1	10.3	102.2	12.4	0.9
2	9.7	94.3	12.4	0.9

骨10gに対してSr Resin 12gを使用
＊Ca含有量が3g程度：海水10Lレベル
→海水処理法（Karube et al. 2016）

- 骨0.2～1.5g，Sr Resin3g　Sr回収率≒95%
  ＊Ca，Mgの分離が不完全（0.1～1%残る）
- 高コスト100gで43万円　→　3gで約1万円

②Y分離法（Tazoe et al. 2016，迅速法）

Tazoe et.al. (2016): Talanta 152:219–227

- 海水分析法（Tazoe et al. 2016）：DGAレジンによるY分離法の応用
  ・・・　1試料　1600円＋α程度，処理工程・時間も短縮
  （DGA Resin 1mlカートリッジ　50個入り　8万円）

骨の分析　　→　骨だけでなく土壌でも適用可能

解剖～灰化～酸分解

Karube et al. 2016　Tazoe et al. 2016

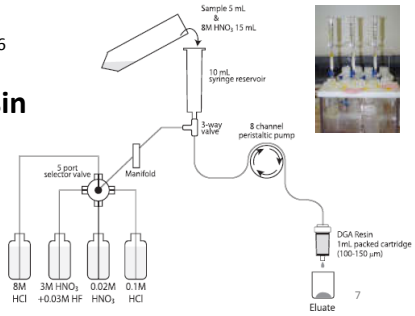
Sr Resin（Eichrom）　　**DGA Resin**（Eichrom）

⇩　　⇩

水酸化鉄共沈（scavenging）　　計測（LBC）

⇩

2週間待ち（Y-90成長）
Y分離（milking），計測（LBC）



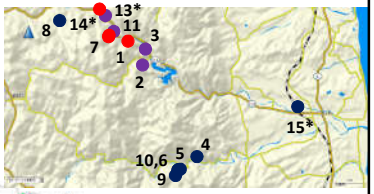
土壌中のSr-90

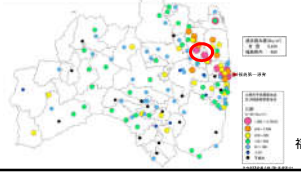
請戸川上流の一部で原発事故由来Sr-90が多く分布

上流域（一部：No.8を除く）　＞　下流域（15），支流（4～6，9，10），
北海道南部，青森県

No.	Sr-90 (Bq/kg)
1	123.4±4.7
2	70.7±3.8
3	69.1±4.0
4	4.5±0.6
5	4.9±0.9
6	5.1±0.7
7	182.0±3.5
8	6.6±0.8
9	10.0±0.8
10	9.0±0.8
11	51.2±1.8
12	95.0±2.4
13*	90.4±3.8
14*	115.4±4.1
15*	13.8±1.0

No.	Sr-90 (Bq/kg)
BG1 北海道	7.6±0.4
BG2 青森	2.9±0.1
BG3 青森	2.7±0.2





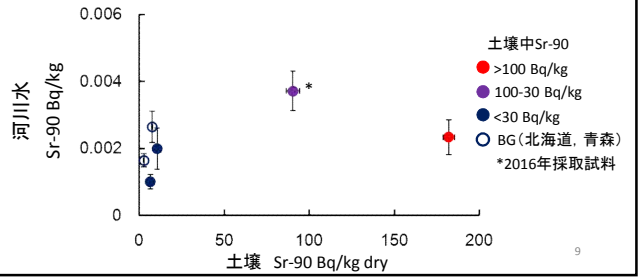
*2016年採取
● >100 Bq/kg
● 100-30 Bq/kg
● <30 Bq/kg

福島県内の土壌中Sr-90濃度
（2011年7～10月）

河川水中のSr-90

2016年（採水年）の請戸川上流の一部では
河川水中にも原発事故由来のSr-90が多く含まれる

土壌中のSr-90が高濃度（● ：90Bq/kg）の地点で
高い値を検出

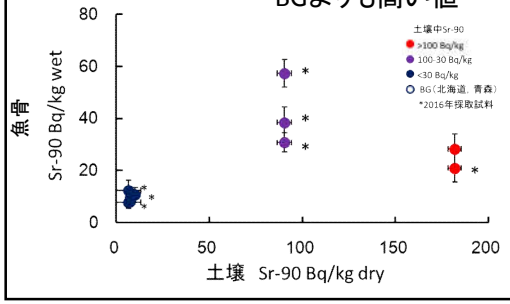


9

魚骨中のSr-90

2015～2016年（採取年）においては
魚骨中にも原発事故由来のSr-90が多く存在

土壌中Sr-90が高濃度（ ●，● ：90～182Bq/kg）の地域で
BGよりも高い値



Sr-90高濃度地域とBG地域での体サイズ比較

	全長 (AV±SD mm)
BG地域他（●，○）	208±9
高濃度地域（●，●）	195±10

10

魚を食べることによる内部被ばく量

- Sr-90濃度が高いイワナを骨ごと食べる
  Sr-90の内部被ばく量はCs-134+137よりもかなり小さい
  ＊仮定：身（可食部，Cs134+137のみ含む）50gと
  骨（Sr-90のみ含む）1gを食べる場合

	Cs-134 身 Bq/kg	Cs-137 身 Bq/kg	Sr-90 骨 Bq/kg	内部被ばく量合計＊ mSv	Sr−90寄与率 %
イワナ1	1581	7775	31	0.007	0.01
イワナ2	1853	9446	57	0.008	0.02
イワナ3	643	3130	39	0.003	0.04

体サイズ：　全長204±19mm，体重82±17

＊内部被ばく量合計：Cs-134+137+Sr-90

計算式（核種ごとに線量を計算し最後に合算）

食品中の放射性物質から受ける追加線量 mSv ＝ 食品中の放射性物質濃度 Bq/kg × 食品摂取量 kg × 実効線量計数 mSv/Bq

11

まとめ

- 福島第一原子力発電所事故に由来する放射性Sr：
  請戸川上流の一部地域の土壌，水，生物に多く分布
  → 原発事故由来の放射性Srが現在（2015～2016年）でも請戸川流域環境中に多く残っている
  → 土壌に沈着した放射性Srが河川水，生物へ移行
  → 魚を食べることによる放射性Sr内部被ばく量は放射性Csに比べるとかなり小さい（注意：仮定あり）

12