

(公財)農学会・日本農学アカデミー 公開シンポジウム

「放射能物質の除染・汚染水漏洩の現状を問う！」

講演資料集

日時：平成26年 3月 9日（日）13:00～17:30

場所：東京大学農学部弥生講堂

後援：東京大学大学院農学生命科学研究科
毎日新聞社

協賛：(公社)農業農村工学会、(公社)日本水産学会、
(一社)日本森林学会、(株)ワールド ウォッチ・ジャパン

シンポジウムの趣旨

平成 23 年 3 月 11 日に起こりました東日本大震災に伴う福島第一原発の事故により、大量の放射性物質が放出されましたことは周知の事実ですが、その影響については事故からほぼ 3 年が経過したにも関わらず未だによく分かっていないことや確定していないことが多々あります。

今回のシンポジウムでは、陸上の耕地や宅地に降下した放射性物質の行方や除染の現状について、また陸上の多くの面積を占める森林における放射性物質の行方や除染の現状について専門家から情報を提供していただきます。また事故当初は、3 月 15 日に風向きが北東に変わるまで放射性物質は海洋に降下し、海洋汚染が生じました。この結果、魚介類が放射性物質により汚染され、福島県沿岸を中心に漁獲が禁止されました。その後、放射能の測定結果から一部の魚介類について試験操業が始まりましたが、平成 25 年に報道されました原発からの汚染水漏洩により、魚介類は本当に安全なのか否か、国民は疑念をいんでいるのが現状です。

このような放射性物質の挙動については、その多くが報道されておりますが、一部事実と反することもあるようです。そこで本シンポジウムでは、実際に対応されている専門家の方に、科学的事実についてお話をお願いし、我々の判断材料にさせていただくことにいたしました。

話題提供の後にはパネルディスカッション形式で、全講演者と司会者を中心に、さらに論議を深めていただく予定です。またこの際、会場の参加者からのご質問を受けるとともに議論にも加わっていただく予定です。

用語解説

放射性セシウム: 2011 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災とそれに伴う福島原発の事故によりセシウム 134 とセシウム 137 が放出された。これら二つを総称して放射性セシウムと呼ぶ。このうちセシウム 137 は、半減期が 30 年と長いことと、土に含まれる粘土や有機物と強く結びつくために、長期的にその影響を調べたり評価と対策を考えておくことが必要になる。

ベクレル（英語では becquerel、記号: Bq） 放射性物質が 1 秒間に崩壊する原子の個数（放射能）を表す単位である。たとえば、ある放射性物質について 10 秒間に原子が 4000 個だけ崩壊するのであれば、その放射性物質の放射能は 400 ベクレル(Bq)である。崩壊するときに出る放射線の種類やエネルギーの大きさには関係ない。名称は、ノーベル物理学賞を受賞したフランスの物理学者アンリ・ベクレル（ウランの放射能発見者）に因む。かつては壊変毎秒（かいへんまいびょう、dps: decays per second / disintegrations per second）と言ったが 1975 年の国際度量衡総会にて、この名称になった。

ベクレルは数値の桁が大きくなるため、kBq（キロベクレル、 10^3Bq ）、MBq（メガベクレル、 10^6Bq ）、GBq（ギガベクレル、 10^9Bq ）、TBq（テラベクレル、 10^{12}Bq ）などを使用することが多い。mBq（ミリベクレル、 10^{-3}Bq ）などの小さいほうのものもよく用いられる。ほか、放射性物質 1 L（リットル）あたりのベクレルは [Bq/L]、放射性物質 1 kg のあたりのベクレルは [Bq/kg] で表される。

グレイ（英語では gray、記号 Gy） 1 グレイは物質 1kg あたり 1 ジュール(エネルギー量を表す単位：1 気圧下で 20°C の水 1g を 0.24°C 上昇させる)のエネルギーを受けたことを意味する。単位の名称はイギリスの物理学者グレイ（L. H. Gray1905～1965）に因む。

被爆による影響を評価する場合は、放射線が当たる臓器などの組織が 1kg あたりに吸収する放射線のエネルギーを計算します。これには放射線の種類ごとに定められた値（放射線荷重係数）を掛けたり、組織によって放射線感受性に違いがあるので、組織ごとに定められた値（組織荷重係数）を掛ける。

シーベルト(英語では sievert、記号は Sv) 人に与える放射線の影響の大きさは、吸収された放射線のエネルギー（吸収線量：グレイ）とともに、放射線の種類や放射線の当たる臓器などの組織によって異なる。これを実効線量(effective dose)とも言い、次式で求めます。実効線量＝（組織に吸収されたエネルギー（グレイ） x 放射線荷重係数 x 組織荷重係数）を全ての組織で足したもの。この上記の値を合計した値が全身への影響の評価値（実効線量）で、単位はシーベルト（Sv）です。通常は、mSv（ミリシーベルト）や μSv （マイクロシーベルト）が使われます。名称は放射線防護の研究で知られるスウェーデンの物理学者ロルフ＝シーベルトに因む。従ってシーベルトが、人体への影響を考えるうえで重要。

放射線荷重係数は、ガンマ線・エックス線・ベータ線が 1、陽子線が 5、中性子線が 5～20、アルファ線が 20。組織荷重係数は生殖腺が 0.2、肺・胃・結腸・骨髄が 0.12、皮膚・骨表面が 0.01、乳房・膀胱・食道・甲状腺・肝臓・その他の組織が 0.05 である。

具体的には、人が普通の生活で浴びる放射線は世界平均で年間 2.4mSv、一回の胸部 X 線撮影で 0.1～1mSv、放射線従事者が 1 年間に浴びてもよい線量の限度は 20mSv である。なお、被爆については、外部被爆と内部被曝に分かれる。

預託実効線量（committed effective dose） 人体の組織に取り込まれた放射性物質は、その半減期や代謝による体外排出により時間とともに減少します。食品摂取後長期間にわたって人体が受ける内部被曝の影響を評価する基準として（線量の累積計算をする期間は明記されなければ、成人で 50 年、子供では摂取した年齢から 70 歳までの期間が用いられる。）、最初の 1 年間で受けた（預託）として計算される「預託実効線量」が用いられ、次式で計算されます。

預託実効線量(mSv) = 放射能濃度(Bq/kg) × 実効線量係数(mSv/Bq) × 摂取量(kg/日) × 摂取日数(日) × 市場希釈係数（条件により異なるが、一番厳しい値として 1 を用いる。） × 調理等による減少補正（条件により異なるが、一番厳しい値として 1 を用いる。）

内部被曝は長期にわたるため、傷害の健康リスクを評価するには預託実効線量を用いる。

農地除染対策の技術書：農林水産省が農地除染の適切かつ効率的な実施に資することを目的とし、農地除染対策実証事業の結果から得られた、農地除染実施に当たり必要となる調査、設計、積算、施工管理等の基準に関する情報を取りまとめ、2013年2月に公開した。

表土剥ぎ取り：上記の技術書に記載されている農地除染対策工法。10000Bq/kg以上の農地に適用される。

代かき：田植の前に水田に水を入れて土塊を砕く作業。水田の漏水を防止し、田植を容易にする。また肥料と土をよく混合し、田面を平らにするとともに、雑草、害虫等の除去を助ける。農地除染対策の技術書の中では、5000 Bq/kg以上の農地に対して、水による土壌攪拌・除去が推奨されているが、この方法は要するに代かきした水を除去する方法である。

反転耕：5000 Bq/kg以下の農地に対して、放射性物質を土壌下層に反転させる工法。廃棄土が発生しない。表土削り取り後の補助工法としても有効。1回に限って適用できる技術。下層の土質条件等によっては適用できない。

フレコンバック：剥ぎ取った汚染土を入れるための袋。Flexible container bagの略称。

粘土粒子：土壌を粒径別に分けた場合に2 μ m以下の粒子の総称。放射性セシウムは粘土のうち花崗岩が風化してできた雲母類の粘土鉱物に強く吸着（固定）する。このため、農地除染は粘土粒子の除去と考えることができる。

凍土剥ぎ取り法：飯舘村の冬の寒さを利用して、放射性セシウムを含む表土を凍ったまま除去する方法。NPO法人との協働作業の中で生まれた除染方法。

田車による泥水掃出し法：放射性セシウムを含む表土を手押し式除草機で水と攪拌して押し流す方法。NPO法人との協働作業の中で生まれた除染方法。

土壌の濾過機能：濁った泥水を砂や土の上にかけた時に、通過する過程で泥が途中で土粒子に捕捉され、透明な水が出てくる現象。

までい工法：農林水産省の農地除染対策工法を“丁寧に”組み合わせて行う工法。NPO法人との協働作業の中で生まれた除染方法。「までい」とは、古語「真手（まで）」が語源の飯舘村の方言で「手間暇を惜しまず丁寧に心を込めて」という意味がある。

土壌による放射線遮蔽効果：土壌がもつ放射線量を遮蔽する性質。土の水分量にもよるが、福島県に広く分布する火山灰性土壌であれば、50cmの非汚染土壌で覆土するだけで埋設した汚染土壌からの放射線量が1/100～1/1000に減衰する。

耕地等の除染の現状と課題

溝口 勝 (みぞぐち まさる)

東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

福島第一原発から放出された放射性セシウムは土壌表層に大部分が蓄積されている(塩沢ら, 2011)との報告がある。農林水産省は、こうした科学的調査報告や独自の農地除染実証工事を踏まえて、「農地除染対策の技術書」(農林水産省, 2013)をとりまとめた。この技術書では農地の汚染程度に応じて、①表土剥ぎ取り、②代かき、③反転耕による対策工法が推奨されている。しかし、実際の現場では国や村が表土剥ぎ取り法による除染工事のみを発注し、それを受注したゼネコンが技術書通りに3-8cmの汚染表土を削り取り、フレコンバック(Flexible container bag)に詰め、それらを地区ごとに決められた仮置き場と呼ばれる交通アクセスの良い農地に山積みになっている(写真-1)。しかし、汚染土の最終処分地は未だに決まっていない。こうした工事が行われているのは比較的作業のしやすい広域水田に限られており、中山間地にある大部分の水田には草や灌木が繁茂し、イノシシが地表面を掘り起した耕作放棄状態になっている。行政的に汚染土壌の処分地が決められない状況の中で、これ以上水田を放置すると除染どころか農地としての再生そのものが困難になる。

そして、2020年の東京オリンピック開催が決まったことでゼネコン業界が人手不足に陥り、除染作業に遅れが生じることが懸念されている。そのため、自分の農地でありながら自ら手出しができず、農地除染をゼネコンに任せるしかできない避難中の農家からは諦めの声も出てきている。こうした状況を打破し、一刻も早い帰村と農業再生を果たすためには農家自らが実施できる農地除染法を開発することが必要である。そんな中、私はNPO法人ふくしま再生の会(2013)との協働で、放射性セシウムが粘土粒子に固定される性質に着目し、「農地除染=粘土粒子除去」という発想で農地除染技術の開発に取り組んでいる(写真-2)。

このシンポジウムでは、福島県飯舘村の耕地や山林等の除染の現状を報告し、私がこれまでに取り組んできた農地除染の現



写真-1 飯舘村須萱地区の仮置き場 (2013.9.21)



写真-2 NPO 法人メンバーと地元農家の協働による飯舘村小宮地区の農地除染実験 (2013.5.18)

場実験（溝口, 2013）を紹介しながら、今後、復興のための農学として取り組むべき課題について述べる。

参考文献：

塩沢昌ら（2011）：福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度.

RADIOISOTOPES, 60 : 323-328.

農林水産省(2013)：農地除染対策の技術書, 平成 25 年 2 月.

ふくしま再生の会(2013)：<http://www.fukushima-saisei.jp>（2014 年 2 月現在）

溝口勝(2013)：土壌除染と放射線モニタリング, 計測と制御, 52(8), 730-735.

略歴（溝口勝） 1960 年生まれ

1982.3 東京大学農学部農業工学科卒業

1984.12 三重大学農学部助手（農業物理学研究室）

1990.12 農学博士（東京大学）の学位授与

1990.12 米国パデュー大学客員助教授（Agronomy Dept.）

1995.5 三重大学生物資源学部助教授（農業物理学研究室）

1999.4 東京大学助教授 大学院農学生命科学研究科（環境地水学研究室）

2003-2004 内閣府技官（参事官補佐）併任

2005.10 東京大学准教授 大学院農学生命科学研究科（国際情報農学研究室）

2008.4 東京大学教授 大学院情報学環

2010.4 東京大学教授 大学院農学生命科学研究科（国際情報農学研究室）

現在に至る

森林除染の現状と問題点

高橋 正通（たかはし まさみち）

（独）森林総合研究所 研究コーディネーター（国土保全・水資源担当）

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所から飛散した放射性物質により、東日本は広く汚染された。汚染エリアの7割は森林であり、その除染対策が期待された。森林は木材の生産だけでなく、飲用水を供給する水源かん養機能、食品であるキノコや山菜の生産、市民のレクリエーションなどの日常生活に密接に関わる多様な機能をもっている。これらへの影響を考えると、今回の事故の影響は計り知れないものがある。

森林から放射性物質を除去する方法はいろいろ検討されてきたが、効率的かつ効果的な方法は少なく、また除染で発生する除去物処理の問題もあり、森林の除染は進んでいないのが現状である。これまでの森林の除染を振り返りながら、その問題点や森林における放射性セシウム分布の変化、そして今後予想される影響や対応などを考えてみたい。

森林除染の経緯

政府の除染ガイドラインでは、緊急性や優先度から公共施設、住居、田畑などが優先され、それらの除染に影響を及ぼす可能性のある範囲（20m）に限定された森林除染が認められた。これは森林全体の除染方針ではなかったが、限定的な森林の除染には不安をいだく者も多かった。山地からの流出や再飛散を心配し、山頂から除染すべきとする声もあった。

住居の裏や道路脇などで落葉除去や枝打ちなどの除染作業が進められるうちに、さまざまな問題が浮かんできた。森林除染は機械化が難しく作業効率が悪いこと、落葉や木材などはかさばり膨大になること、一連の作業をしても除染効果が低いこと、落ち葉を取ると土壌が流れることなどである。さらに仮置き場の問題が進展しないため、除去物が多い森林の除染活動は停滞せざるをえなかった。一方、森林全体の除染費用の試算が公表され、巨額な経費に森林除染の難しさが理解されて（またはあきらめられて）きたように思う。

森林からの流出

森林除染の判断には経済的な理由だけでなく、森林の放射性セシウム動態を調べる研究者の活動や情報発信も大きく関わっている。いくつかの研究グループが森林から河川を通じて流出する放射性セシウムを観測し、融雪や台風などの出水時でも流出量は小さいことや放射性セシウムは土壌の表層から移動しにくいことなどを発表した。また林野庁はスギ花粉による再拡散の影響も少ないことを発信した。学会発表だけでなく、講演会やプレスリリースによる成果の速報は、国民の理解や行政の判断材料として役立っている。

森林に蓄積する放射性セシウム

除染は放射性物質を取り除くことである。それには森林のどこに放射性物質があるかを見極めなければ進まない。森林総研の2011年の調査ではスギなど常緑の針葉樹では林冠の葉と地表の堆積有機物層（落葉層）に多く、落葉広葉樹では堆積有機物層に多く分布することがわかった。この知見は落葉除去や枝打ちといった除染作業の根拠となっている。しかし1年後の2012年の夏の調査結果は前年と大きく異なった。地上の樹木や落葉への分布割合が激減し、土壌表層への分布割合が大幅に増加していた。同じ頃、民家周囲の森林除染で空間線量率が下がらない例があるという報告を聞くようになり、私たちのセシウム分布調査の結果を反映するものと考えられた。ただし、6カ所の調査地のうち1カ所のスギ林だけ、堆積有機物層の分布割合が5割と多かった。森林の状況は多様で、放射性物質の分布にはばらつきも大きく、一律の除染作業では限界があることも知った。

汚染された森林の影響

チェルノブイリでは一部を除き、大部分の森林は除染せず放置され、森林生態系の物質循環中で放射性セシウムの一部も長期間循環しているという。放射性物質の影響を受けた欧州諸国では野生きのこや動物で放射性物質が長期間検出されている。木材の濃度で規制値をもつ国は少ないが、燃焼灰は検査されている。

森林の除染が進まないとする、国民が利用する森林や林産物は検査態勢を充実させることと、長期的なモニタリングは欠かせないだろう。また、欧州諸国とは土壌も植生も異なるので、日本の科学者からの研究成果は貴重なものである。このような事故は二度と起きてはならないが、原子力の利用が続く限りリスクはあるので、環境中の放射性物質動態や自然生態系への影響の調査を根気よくつづける必要がある。

略歴(高橋正通) 1956年生まれ

1980年 北海道大学農学部卒

同年 農林水産省林野庁入省（林業試験場土じょう部）

1990年 熱帯農業研究センター環境資源部

1992年 森林総合研究所北海道支所

1995年 北海道大学より博士（農学）授与

2004年 森林総合研究所立地環境研究領域長

2008年 森林総合研究所企画部研究企画科長 等を経て

2011年 森林総合研究所研究コーディネーター 現在に至る

汚染水漏洩の現状と水産物の安全性

(独) 水産総合研究センター 森田貴己 (もりた たかみ)

平成 23 年 3 月に生じた東京電力福島第一原子力発電所の事故は、日本の水産業に甚大な被害をもたらし、その被害は現在も継続している。事故後、福島県漁業協同組合連合会は県下全ての漁業を自粛することを決定し、現在も一部の試験操業を除き漁業活動が自粛されている。

事故から平成 26 年 1 月 31 日までの間に、福島県の水産物は 17574 検体の検査が行われている。この間、100 Bq/kg 生を超過した割合は、13.3 % である。そのほとんどが底魚と呼ばれる海底近くに生息する魚である。事故後直ぐの水産物への汚染源は海水であったが、拡散・希釈が急速に進んだことから海水中の放射性セシウム濃度はかなり低い濃度まで減少した。このため、海水からの汚染が主である（餌生物も海水で汚染されるため）浮魚類中の放射性セシウム濃度も急速に減少した。底魚類に関しては、それらの周囲の海水中の放射性セシウム濃度はかなり低い濃度まで減少している。しかしながら、底魚類中の放射性セシウム濃度の減少が明らかに浮魚類より遅いことから、底魚が継続して放射性セシウムを取り込んでいる事は明らかである。最近、海底土中に含まれる有機物が高濃度の放射性セシウムを含んでいることが判明した。底魚類が餌としている底生生物は、これら海底

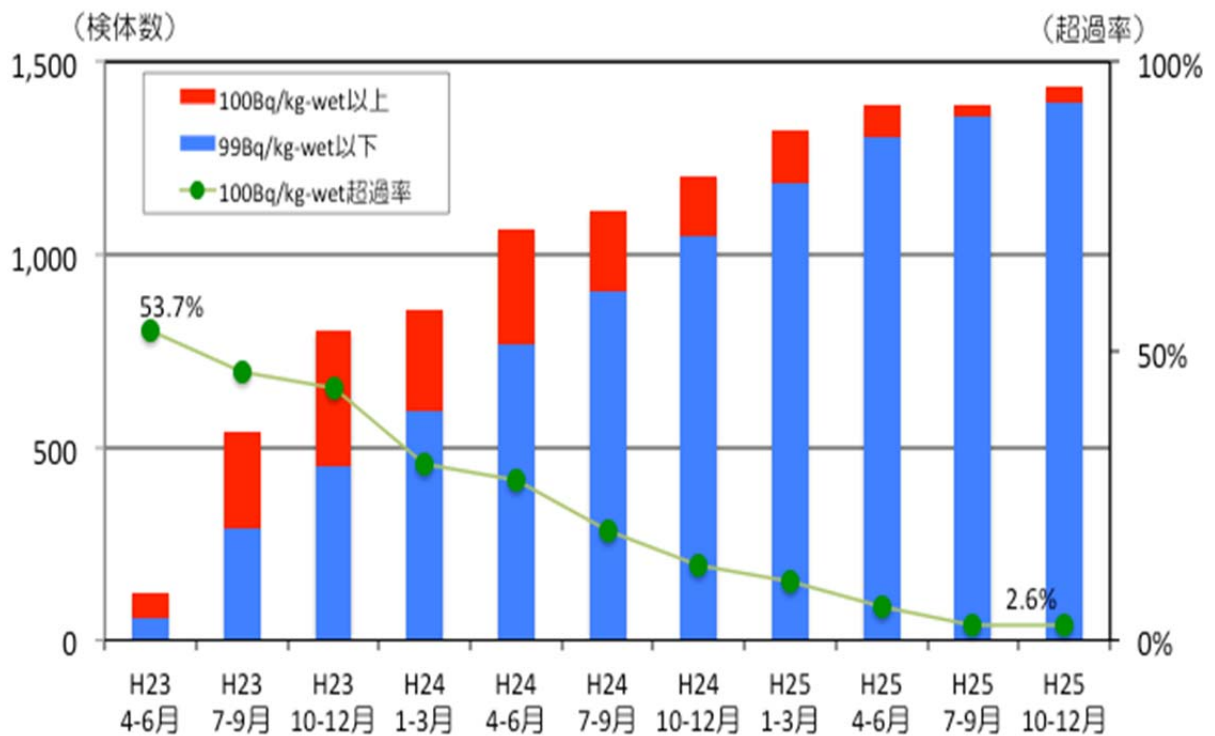


図-1. 福島県の底魚の検査結果 (データは水産庁 HP より)

土中に存在する有機物等を餌としており、底魚類は餌生物を通じて放射性セシウムを取り込んでいると推測される。また、こうした有機物の中には海底近くを漂っているものも存在すると思われ、こうした有機物を直接底魚類が取り込んでいるという可能性も否定できない。底魚類中の放射性セシウム濃度の低下は、浮魚類に比べれば確かに遅いが、底魚類においても、平成 23 年 4-6 月には 53 %が 100Bq/kg を超過する割合であったが、平成 25 年 10-12 月にはその割合は 6 %まで減少している (図-1)。このことから、海底環境においても、その汚染程度はかなり改善の方向に向かっていると考えられる。

福島県相馬双葉地区では、平成 24 年 6 月より沖合 50km (水深約 150m) の海域で試験操業を開始した。この試験操業では、数ヶ月にもわたり放射性セシウム濃度が検出下限値(2~3Bq/kg)と同等もしくはそれ以下の水産物が選択されている。当初相馬双葉地区で 3 種から開始された試験操業は、徐々に魚種数を増やし(31 種、平成 26 年 2 月 1 日現在)、現在ではいわき地区にまで海域を拡大しながら行われている (図-2)。しかしながら、現在は、試験操業であることから漁獲量も少ないが、本格操業となると検査能力が追いつかないこと、また、現在の試験操業は主に沖合であるが、今後海域を拡大するとなると沿岸に近づくことになり、沿岸の底魚類では、未だ基準値を超えるものが採取されている状況であることなど多くの問題が残されており、本格操業の見通しはたっていないのが現状である。

いわき地区においては平成 25 年 10 月より試験操業を開始したが、当初は、平成 25 年 9 月から開始する予定であった。しかしながら、平成 25 年 8 月に東京電力(株)が事故後継続して放射性セシウム等を漏洩し続

けいていたことを報告すると、漁業者は消費者の理解が得られないとして、いわき地区の試験操業を延期し、相馬地区の試験操業を中断した。実のところ、事故後から報告時までに漏洩し続けていた放射性セシウムの総量は、2011 年 4 月に 10 日間あまりで漏洩した量の 1/100 程度の量であり、その影響は福島第一原発専用港内でのみ見られるだけであり、試験操業海域での影響は全く見られていない。漁業者がこうした判断をしてしまう背景には、現在の汚染の状況が消費者に十分理解されていないということがある。福島県産水産物だけでなく、宮城県や茨城県産の水産物についても実際の検査結果は低い濃度であるに

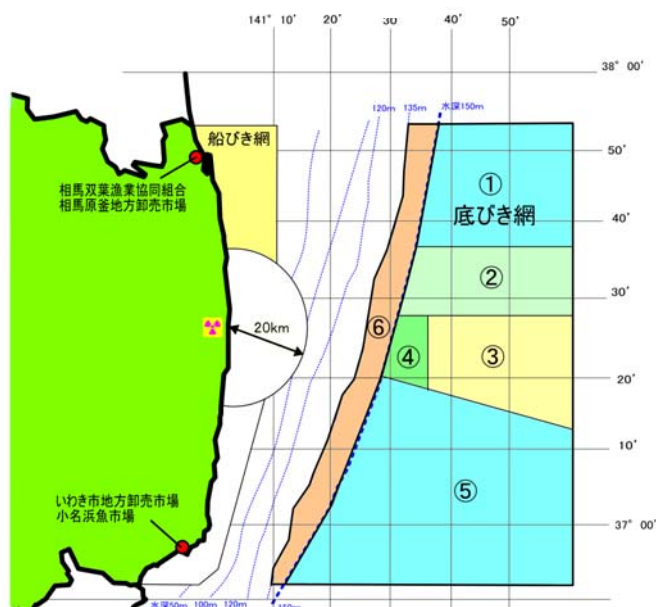


図-2. 試験操業海域 (平成 26 年 2 月 1 日現在) . 底びき網漁業は、①+②+③+④+⑤+⑥の海域で実施、たこかご漁業 (7~8 月) は、①+②+③+④の海域で実施 (福島県漁業協同組合連合会 HP より)

もかわらず、消費者の水産物汚染への懸念は継続している。これは事故直後の非常に汚染が酷かった状況と現在の汚染が急速に軽減した状況との差が著しく大きいため、消費者にとっては、現状を容易に受け入れ難いのではないかと推察される。水産物の汚染が軽減したのは必然的であり、その背景には科学的根拠が存在している。こうした事実を丁寧に広報していくことが、水産物汚染への懸念は払拭していくことには重要であると考えられる。今回の私の講演が、参加されている方々の水産物放射性物質汚染の理解の手助けになれば幸いである。

略歴（森田貴己） 1969 年生まれ

1994 年 京都大学農学部水産学科卒

1994 年 農林水産省水産庁中央水産研究所入省(海洋生産部 海洋放射能研究室)

2001 年 (独) 水産総合研究センター中央水産研究所に組織改正

2010 年 水産庁増殖推進部研究指導課

2013 年 (独) 水産総合研究センター本部 (兼) 中央水産研究所 研究推進部研究開発コーディネーター 現在に至る。

この間

1998 年 東京大学農学部 客員研究員

2004 年 東京大学より農学博士を授与される。

2005 年 米国カリフォルニア大学サンディエゴ校付属スクリップス海洋研究所客員研究員

2006 年 米国オレゴン健康科学大学 客員研究員