

## 福島第一原子力発電所での事故による放射性物質放出の海洋への影響\*

2011年5月13日

この報告は同じ表題の4月4日付の前報を更新し補足するものである。

Copyright IRSN May 13th 2011

福島第一原子力発電所での事故後に、海洋環境の顕著な放射能汚染が検知された。この放射能汚染は、事故後に飛散した大気プルーム（訳注：プルームとは、煙突から立ち上る煙のような広がる流体中の一群の塊）中に存在する放射性核種の一部が海洋中に沈着したことと、汚染水が発電所から直接流出したことによって生じた。発電所の直近（500 m 未満）の海域では、3月末と4月上旬の濃度は、セシウム 134 と 137 で1リッター当たり数万ベクレル（訳注：以下、1リッター当たりのベクレル数を、Bq/L と記す）に達し、ヨウ素 131 で10万 Bq/L を超えた。これらの濃度は、4月11日に減り始め、4月末時点ではセシウム 137 で 100 Bq/L 近くにまで減少した。海水に溶けた放射性核種は、海の流れによって運ばれ続け、非常に遠くまで濃度を下げながら分散するだろう。水中の浮遊粒子や海底の堆積物に結合した放射性核種は、特に4月後半に海底堆積物の汚染が測定された発電所近くの海岸に沿って、海底堆積物の汚染を引き起こすだろう。短半減期のヨウ素 131 は、現在、半減期がより長い放射性核種、特にセシウム 134 と 137 よりも少なくなっている。半減期がより長い後者の放射性核種（セシウム）は北太平洋で今後数年にわたり検出され続けるだろう。しかし、それは極めて低い濃度（海水中に常に存在する自然放射性核種であるカリウム 40 の濃度の 5000 分の 1 程度）だろう。しかしながら、汚染された土壌から流出する表面水（陸水）によって海に運ばれる放射性物質の継続的な加入により、損傷した発電所に近い海岸線沿いでは、海水の顕著な汚染は継続するかもしれない。

海水の放射能汚染は、それに曝された植物と動物の汚染を引き起こす。例えば、福島第一原子力発電所の南のいくつかの港に水揚げされた、特定の魚類（イカナゴ）は、1 kg あたり数百から数千ベクレル、時には、流通段階での最大許容濃度の 25 倍に達する濃度の放射性核種を含んでいた。魚類における濃度の理論的な参考推定値は、海水の測定値に基づいて予想すると、発電所から 100 km 以上離れた海域でも、この最大許容濃度を超える可能性があることが示されている。

\*本和訳は、日本海洋学会震災対応WGの呼びかけに応えた日本海洋学会会員有志（中田喜三郎、豊川雅哉、青野辰雄）によって行われ、震災対応WG担当者（市川洋）がブログ「Genpatsu/福島原発事故に関する海外メディア報道」運営者の協力を得て校正し、震災対応WGが監修したものである。全ての文責は、IRSNより和訳作成および図表使用の許可を受けた日本海洋学会震災対応WGにある。以下の日本海洋学会震災対応WGによる解説・補足説明を合わせて読みたい。

[http://www.kaiyo-gakkai.jp/sinsai/IRSN\\_report\\_j\\_20110513\\_ex.pdf](http://www.kaiyo-gakkai.jp/sinsai/IRSN_report_j_20110513_ex.pdf)

## 1. 海洋環境汚染の起源

3月21日以来、顕著な量の放射能汚染が海洋環境で観測されてきた。

この放射能汚染の源には3つの可能性がある：損傷した発電所からの放射性物質を含む液体の流出、大気から海面への沈着、そして汚染された土壌から溶出した放射性汚染物質の移動が挙げられる。

海水中で通常測定される主な放射性核種（Tは核種の半減期）は、ヨウ素 131（T=8日）、セシウム 137（T=30年）、セシウム 134（T=2.1年）、セシウム 136（T=13.1年）、テルリウム 132/ヨウ素 132（T=78時間）である。他の放射性核種、テルル 129m/テルル 129（T=33.6日）、バリウム 140/ランタン 140（T=12.7日）、ルテニウム 105（T=4.4時間）、ルテニウム 106（T=368日）、モリブデン 99/テクネチウム 99m（T=65.9時間）、コバルト 58（T=70.9日）などは、時折検知されるが、濃度は低い。

ヨウ素 131 とセシウム 137 は全ての放射性核種の分散を代表するものであり、本報告でこれから取り上げる主な核種である。ヨウ素 131 は事故発生時には卓越していたが、急速な放射能強度の減衰のため、現在では、セシウム 137 よりは低い濃度で検出される。

海水に放出された放射性生成物の量に関する我々の理解は、まだ近似的なものである。海水の測定の継続と、得られた結果を分散シミュレーションを用いて解釈することによって、我々の理解の精度は向上するであろう。

### 1.1. 損傷した原子炉に近い海域への直接放出

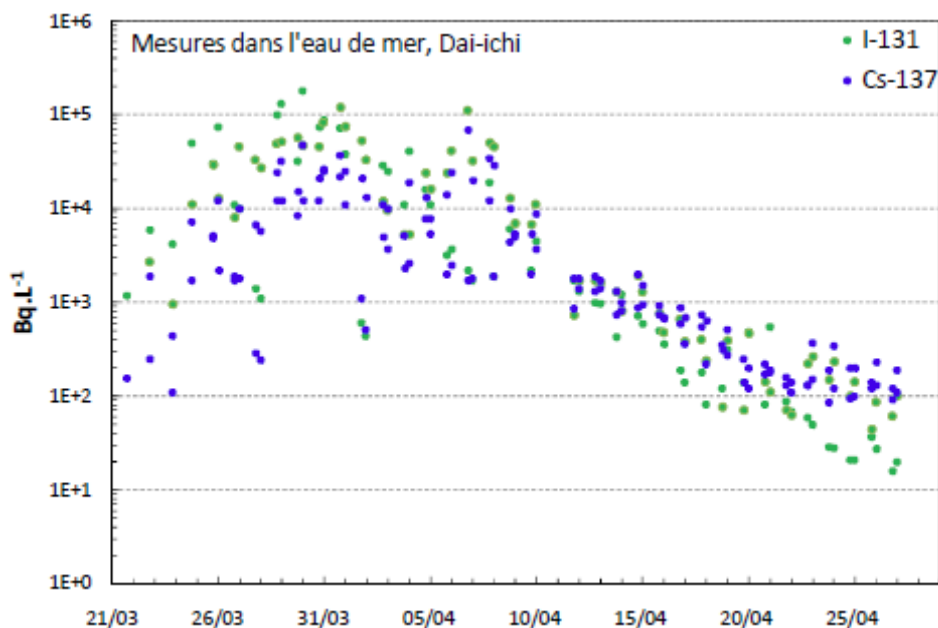
福島第一原子力発電所のすぐそばで測定された海水中の高濃度は、放射性物質を含む液体が漏出した結果であり、この液体の漏出には、疑いなく、複数の起源がある。これには、損傷した原子炉を冷却するために用いられた水の一部が、大気放出によって高濃度汚染された物質と接触した後に海に流れ出たものが含まれている。その他には、2号と3号の原子炉建屋から漏出した水がある。特に、2号原子炉のタービン建屋に隣接した排水溝の割れ目が、高濃度汚染水の海洋への直接の漏出を引き起こした。TEPCO（東京電力）はケイ酸ナトリウムの注入で漏れを止めることで、現地時間の4月6日6時頃にこの漏出を止めた。

放射性物質を含む液体の海への漏出については、その正確な量や継続時間はわかっていない。2号原子炉のタービン建屋の水について測定された濃度を使って IRSN が求めた推定値によれば、セシウム 137 に関しては、 $2.3 \times 10^{15}$  Bq（2.3 ペタベクレル（PBq）=2300 兆ベクレル）が海洋に放出された可能性がある。これに加えて、4月4日から10日にかけて、東京電力は「低レベル汚染」水を海洋に放出した。これはタンクに貯蔵されていた1万トンの廃液であった。東京電力によって  $1.5 \times 10^{11}$  Bq（1500 億ベクレル）と推定されている、これらの廃水による汚染の増加は、それ以前までの放出によって生じていた濃度をさらに上げるほどではなかった。

仮に海洋への直接漏出が4月10日以降にも起きていたとしても、施設付近で測定された濃度減少は、このような漏出が、それ以前の漏出に比べて、はるかに小さいものであったことを示している。

図1は第一原子力発電所から500 m 以内の海水において測定された濃度の時間変化を示している。この濃度は3月25日と28日の間に増加（セシウム 137 で12,000 Bq/L、ヨウ素 131 で74,000 Bq/L まで）しており、3月29日と4月7日の間で最大（セシウム 137 で63,000 Bq/L、ヨウ素 131 で180,000 Bq/L）となっている。4月11日

に、セシウム 137とヨウ素131 の濃度の減少が始まっている。セシウム 137 の濃度は 100 Bq/L 付近で安定している。ヨウ素 131 はその放射能半減期が8日であるため、減少し続けるであろう。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

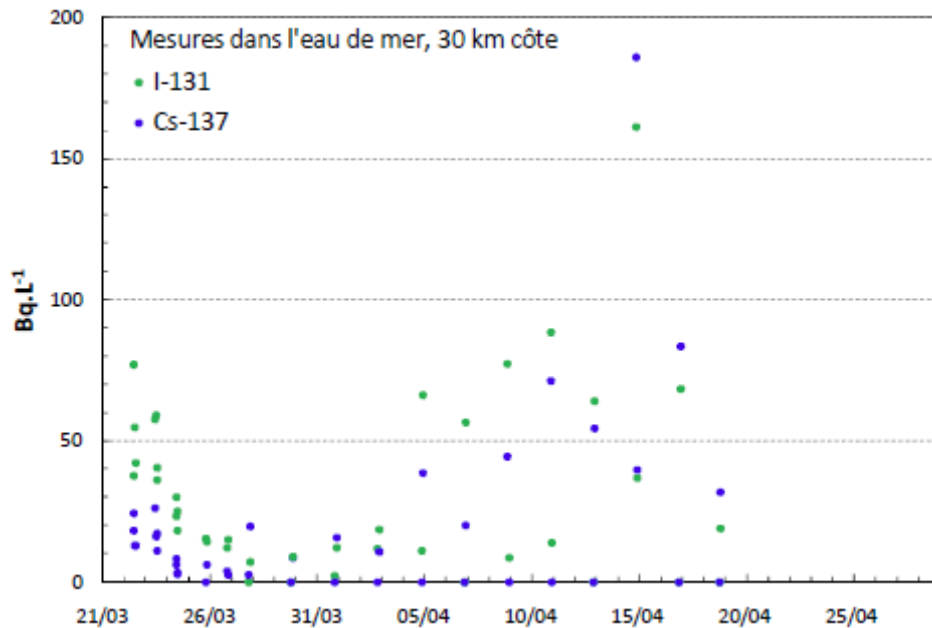
図1 第一原子力発電所から500 m 以内の海水中のヨウ素 131 ( $^{131}\text{I}$ ) とセシウム 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) の濃度の時間変化。

## 1.2. 海表面上への大気からの沈着

3月12日と23日の間に、福島第一原子力発電所原子炉建屋の爆発や圧力開放によって大気中へ放出された放射性核種は遠方にまで分散した。この大気プルームに含まれる放射性核種の一部は海面に落下し、表層水の汚染は原子力発電所から数10 km にまで拡散した。

IRSN による計算では、海面への大気からの負荷量は、セシウム 137 で約  $10^{16}$  Bq (10 ペタベクレル) と推定された。この推定値については、利用可能な測定結果を基にした見直しは、現在、行われている。

図2は30 km 沖の海水中の濃度の時間変化を示している。3月30日までに測定された濃度は、主として大気からの加入によるものであった。セシウム 137 は 2 から 27 Bq/L の範囲で、ヨウ素 131 は 3 から 57 Bq/L の範囲でばらついている。3月30日に極小値まで減少した後、4月前半中に海水中の濃度は増加した。この増加は、大規模な大気からの降下によって汚染された水塊が到着したか、発電所から放出された放射性物質を含んだ液体が沖合へ分散したかの、どちらかで引き起こされた。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図2 福島第一原子力発電所沖、岸から 30 km での海水中のヨウ素 131 (<sup>131</sup>I) とセシウム 137 (<sup>137</sup>Cs) の濃度の時間変化。

### 1.3. 汚染された土壌から溶出した放射性汚染物質の移動

福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の一部は、大気中を分散する間に、雨水とともに地上に落下し、さらに、地表を流れて海洋へ移動した可能性がある。この放射性物質を含む雨水によって汚染された陸域の面積は数千平方キロメートルとなる可能性がある。現時点で利用可能な測定結果からは、これらの拡散による加入と他の放射能汚染源を識別することはできない。この加入の検知は、おそらく、事故の数ヶ月後に沿岸域での濃度が減少した時に、可能となるであろう。

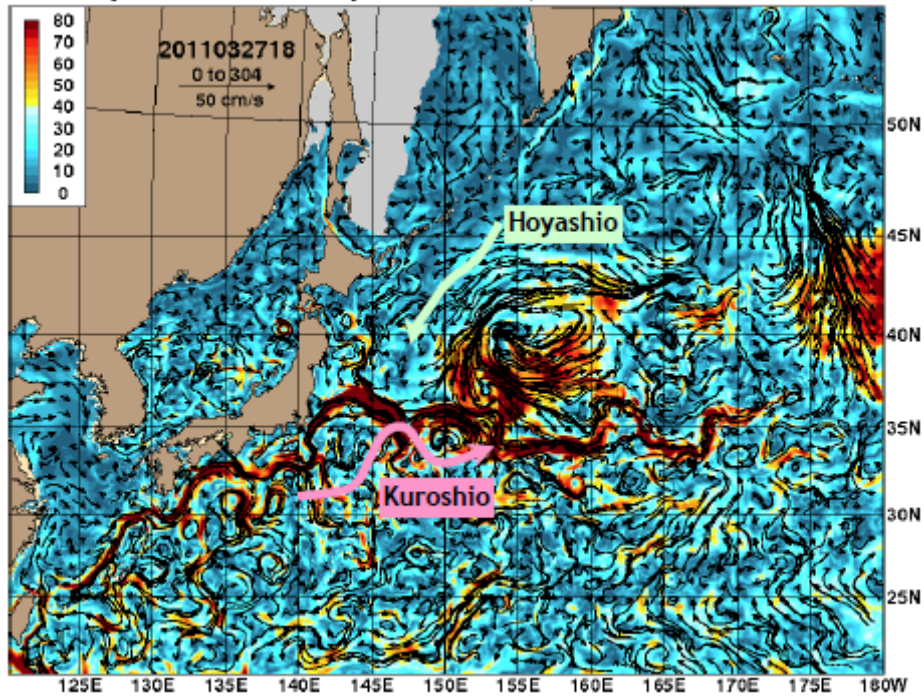
## 2. 放射性汚染物質の海洋における分散

### 2.1. 日本の海岸の沖合における流れ

福島第一原子力発電所は、本州の、東京から北東に 200 km 以上離れた海岸に位置している。海岸は南北に伸び、太平洋に面している。海底は、海岸から 50 km 沖で 200 m 水深となるまでゆるやかに変化する陸棚を形成し、そこから急激に深くなって、沖合約 100 km の地点での水深は 5000m 以上になっている。

沿岸域では、流れは潮汐、風、そして太平洋海洋循環によって生成されている。短い周期では、潮汐の影響が卓越している。潮汐流（潮汐に伴う流れ）が、海岸に沿って向きを南北に交互に急速に変えながら水塊を動かしている。風は表層水の循環に影響を与える。

大規模な海洋循環は、南から来て日本沿岸を流れる黒潮と、北から来る勢力の弱い親潮の間の相互作用の結果である（図3参照）。黒潮の強さと規模は湾流（訳注：アメリカ東岸沖を北上する海流）と同じくらいである。福島第一原子力発電所付近の沿岸域は、これらの2つの流れが相互作用をしあって様々な渦流を作り出している海域に位置している。これらの流れが、放射性汚染物質の中程度の周期の分散を決めていると思われる。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図3 西部北太平洋の表層流 (訳注: 2011年3月27日18時UTC、赤は流速が80cm/sec以上)

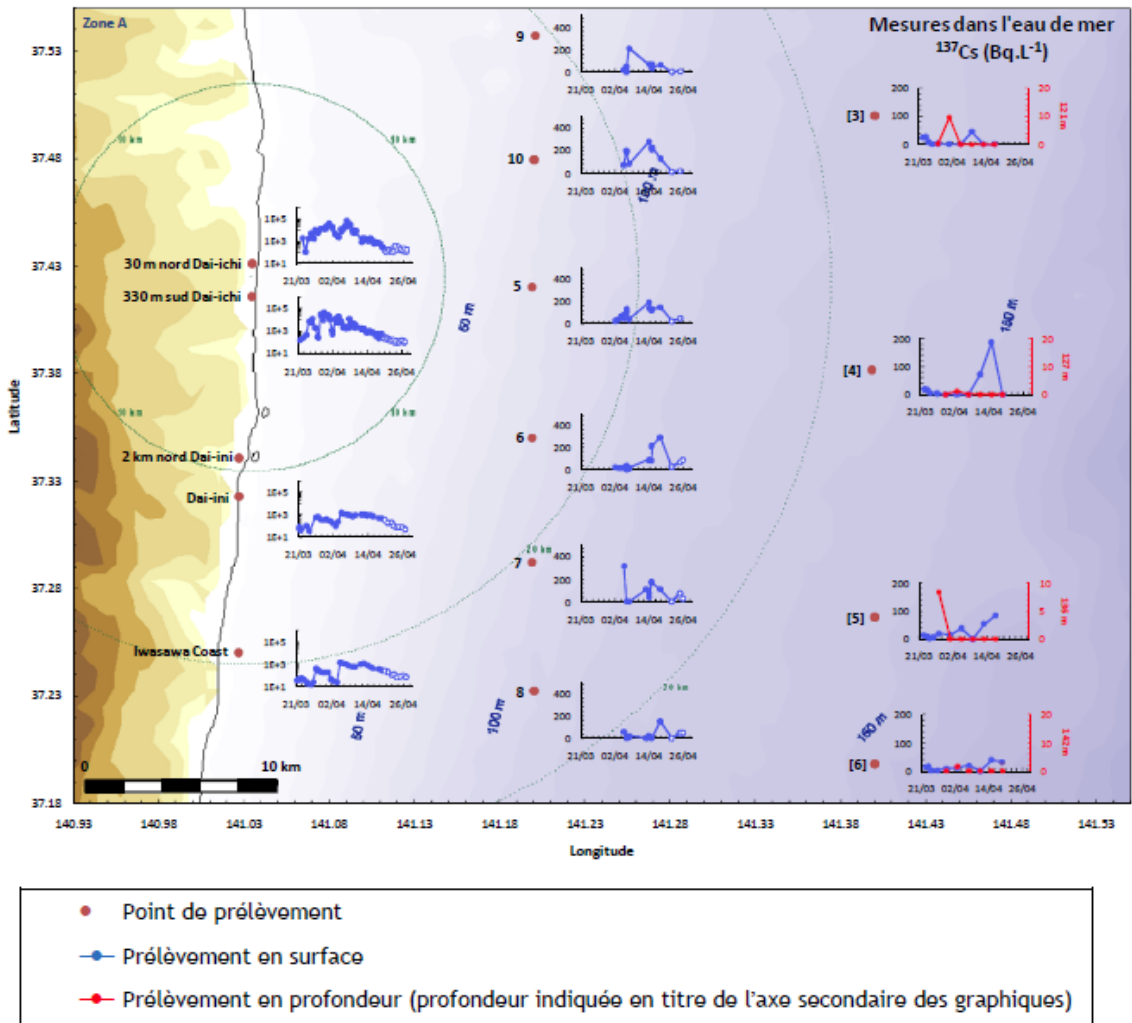
(<http://www.hycom.org>)。

沖で水深がかなり深いことと流れが弱いことが水塊の成層構造 (訳注: 深さによって水温、塩分、他が変化している状態) につながっている。岸近くでは、厚さが20 m から50 m の表層で放射性物質は混合する。その沖合では、この層の厚さは100 m にまで達する。放射性核種の中の可溶性を持つ成分の分散は主に表層で起こるだろう。固体粒子に付着した放射性核種成分は堆積作用によって海底に移動するだろう。

## 2.2. 海水中のセシウム137の分布を示す図

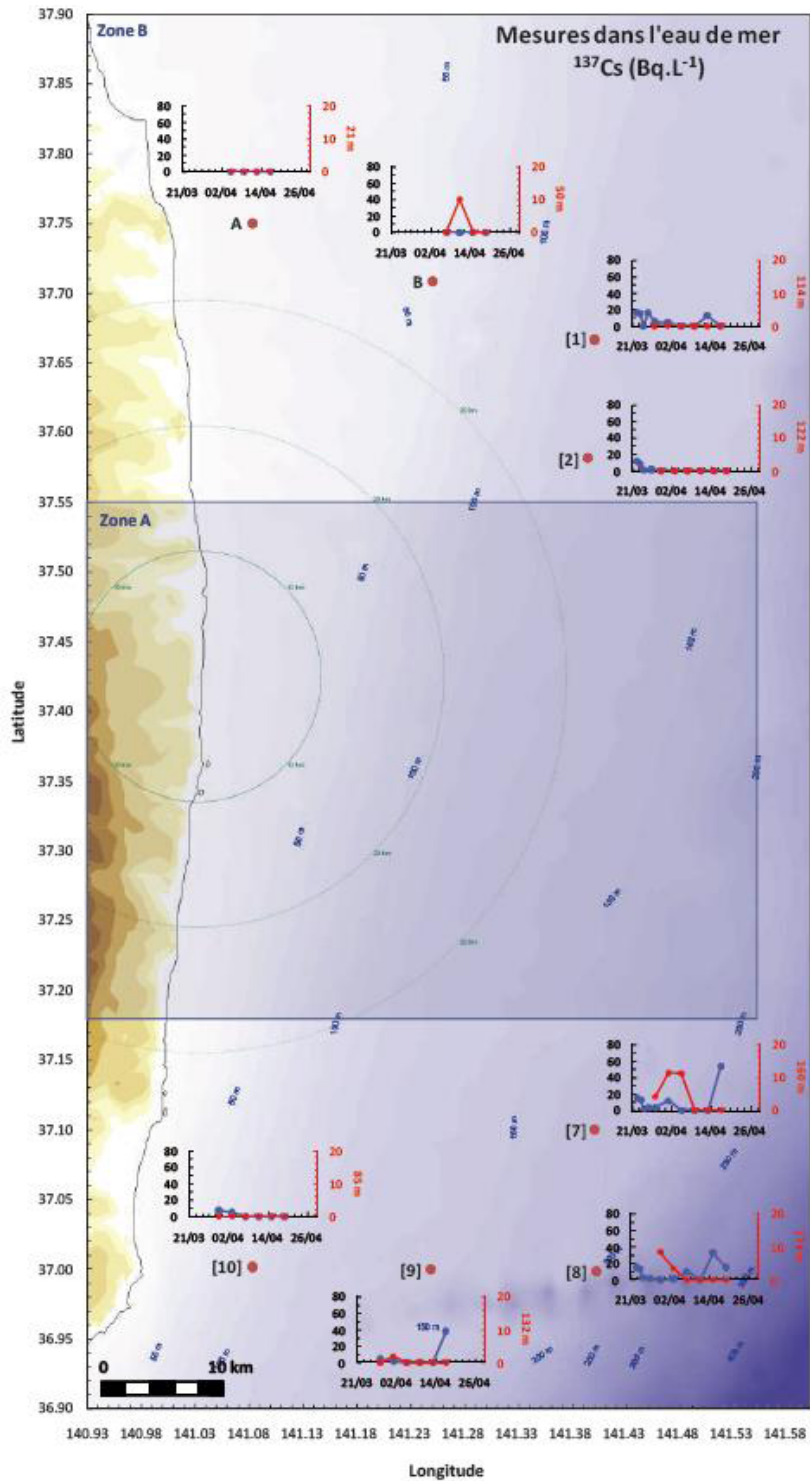
セシウム 137 の濃度は、海洋に存在する全ての放射性核種の分散を代表的に表している; 以下の図は、日本の公的機関によって公表された海水分析結果から作成されたものである。

セシウム 137 濃度の空間分布と時間変化は2つの図に再構成されている (ゾーンAとゾーンB)。ゾーンA (図4) は福島第一原子力発電所の近く (緯度で37.18°Nと37.55°Nの間) でのモニタリング測点に対応している。ゾーンB (図5) はより広い海域 (緯度で36.9°Nと37.9°Nの間) に対応している。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図4 発電所に近い14測点での海水中のセシウム 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) の濃度の時間変化 (ゾーンA); 全ての濃度の単位はBq/L。(訳注: 最下段の凡例は、上から、観測点、海面試料、海面下(深度は右側縦軸名に示す)試料)



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図5 発電所から離れた8測点での海水中のセシウム137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) の濃度の時間変化 (ゾーンB)  
 ; 全ての濃度の単位はBq/L。(訳注: 最下段の凡例は、上から、観測点、海面試料、海面下 (深度は右側縦軸名に示す) 試料)

ゾーンAでは、初期に測定された汚染レベルに従って、4つの領域に区別されている。

- ・福島第一原子力発電所から 500 m 以内
- ・南に向かう沿岸域
- ・岸から15 km 沖合
- ・岸から 30 km 沖合

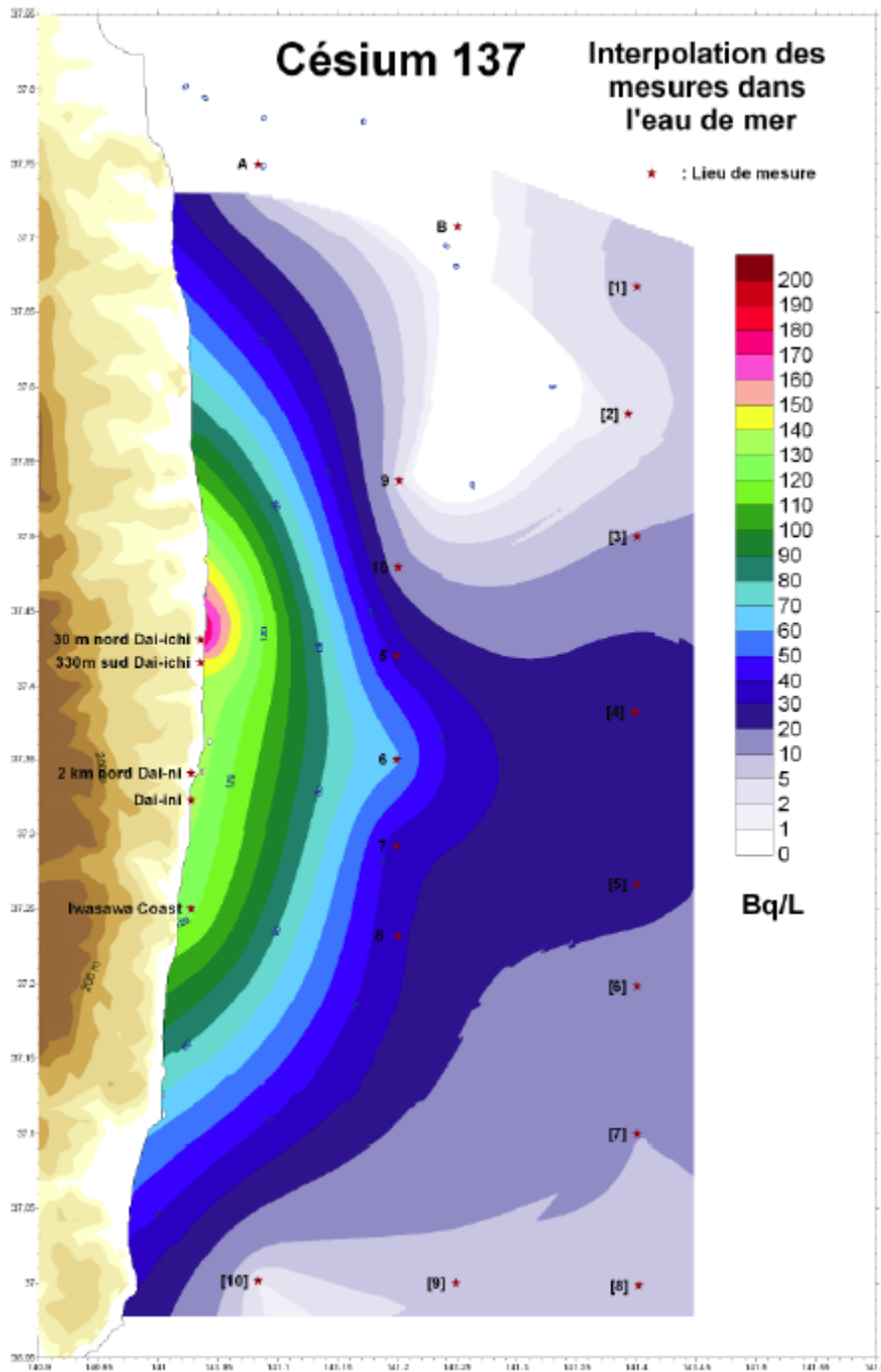
4月の前半には、海で測定された濃度は、これらの領域の間でかなり異なり、各々の間で約10倍の差がある（発電所から 500 m 地点では 50,000 Bq/L 以上であり、30 km 地点では 10–50 Bq/L である）。4月27日には、発電所の近くで2倍の高さであったのを除いて、岸沿いの測点ではどこも同様な値で、セシウム 137 で 100 Bq/L 以下であった。

ゾーンAの沖合で記録された濃度は、比較的低いですが、岸近くの濃度と同じ程度であり、放射性物質の均質化が起きていたことを示している。

図6は4月20日から27日の期間中の測定値の平均値から得られたセシウム 137 の等濃度線分布を示している。この図は、濃度勾配は岸から沖合で変わらないが、それが以前の期間に測定された値よりは低いことを示している。これらのデータと用いた仮説（海面から水深 50m までは一様な濃度で、沿岸から沖合までは一様な勾配を持つ）のように単純化すると、事故後に海洋に漏出した量は、セシウム 137 で  $5.7 \times 10^{15}$  Bq (5.7 ペタベクレル)、ヨウ素 131 で  $3.3 \times 10^{15}$  Bq (3.3 ペタベクレル) であったと推定できる。これらの結果は、IRSNによって、原子力発電所に存在する汚染水の測定の結果から推定されたセシウム 137 の海洋への直接漏出量（上の 1.2 節参照（訳注：1.1 節の誤り））と矛盾しない。

結局、事故の間に海洋に放出されたセシウム 137 が、面積が  $5000 \text{ km} \times 5000 \text{ km}$ （北太平洋の表面積にほぼ対応）の海域の海洋表層（深度が 0–100 m）の海水で希釈されると仮定すると、濃度は約 0.002 Bq/L、言い換えれば、事故前の日本沿岸の海水で観測された濃度と同様なレベルになるであろう。このレベルの濃度は、現在の分析法でも測定可能であるが、水中に恒久的に存在する自然放射性核種であるカリウム 40 の海水の濃度(12 Bq/L)の 5000 分の 1 以下に相当する。





(Copyright IRSN May 13th 2011)

図6 福島第一原子力発電所沖の海水測定結果（4月20日から27日の平均値）の内挿によって得られた海水中のセシウム 137 濃度分布（単位は Bq/L）。

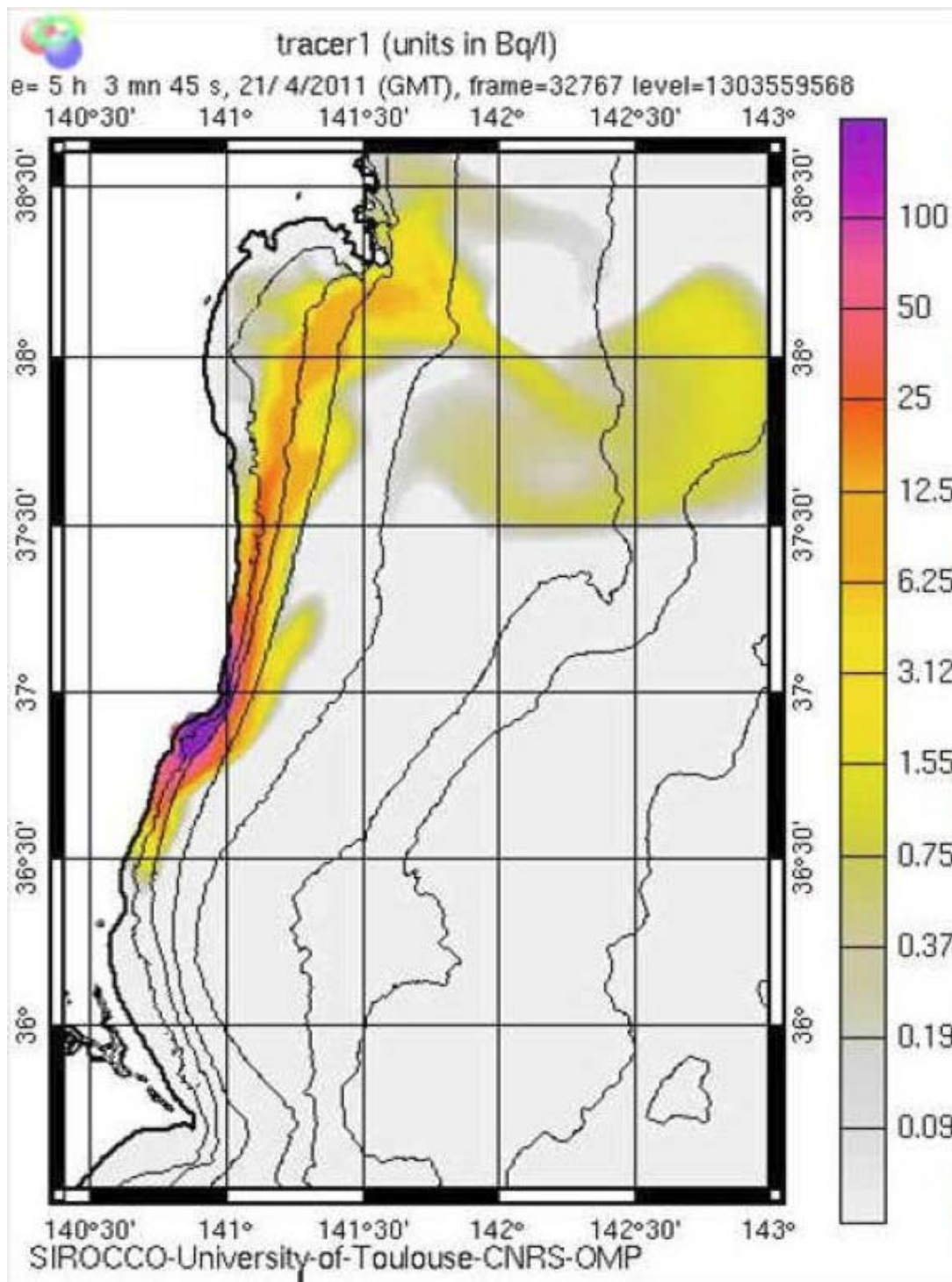
### 2.3. 分散のシミュレーション

この放射性汚染物質の海洋での分散の数値計算が、流体力学モデルを用いて、ツールズ（訳注：フランス南西部の都市）にあるフランス国立科学研究センターの研究所（SIROCCO、図7）と日本の研究所（訳注：JAMSTEC、図8）によって行なわれた。これらの数値計算の結果は、この海域における水塊の循環の複雑さを反映している。

北緯 36 度以北で黒潮と親潮の水が混合する混合水域の海洋構造は複雑で不安定である。数ヶ月先には、混合水

域の海洋構造が、疑いなく、汚染された海水プルームを北太平洋の中央部へと徐々に運びながら、黒潮の北で幅が約 100km の海域（図 3）での濃度を均質化するだろう。

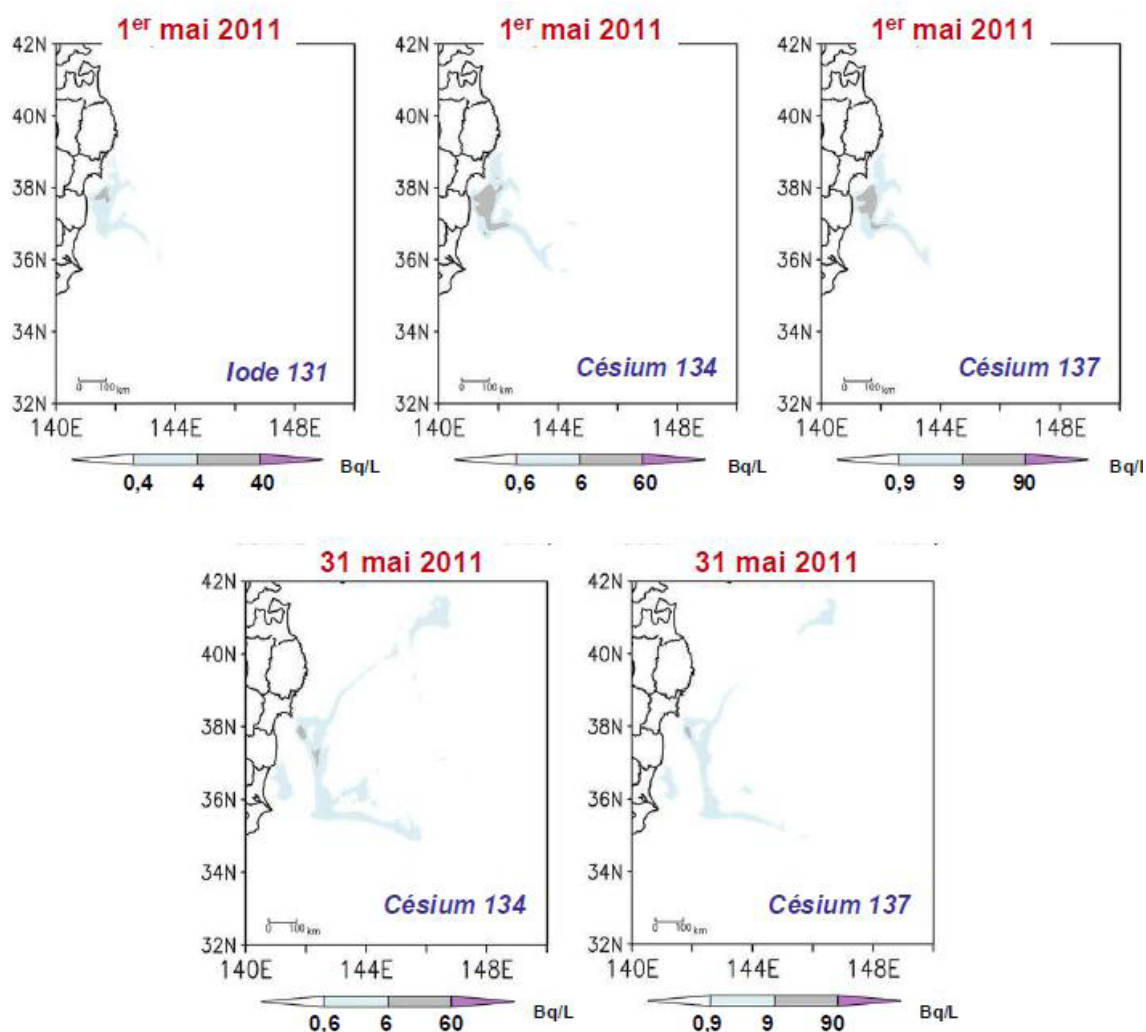
発電所から 50 km以内についてのSIROCCOの計算結果は、入手可能な測定結果を用いて検証された。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図7 セシウム 137 を含む漏出汚染水の海洋における分散の4月21日のシミュレーション結果。  
情報源：CNRSとツールーズ大学。

<http://sirocco.omp.obs-mip.fr/outils/Symphonie/Produits/Japan/SymphoniePreviJapan.htm>



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図8 海洋でのヨウ素 131, セシウム 134 とセシウム 137 の分散の数値計算結果  
 (訳注: 上段は5月1日、下段は5月31日の計算結果)。ヨウ素 131 については、  
 5月31日の分散は0.4 Bq/L 以下と予測されている。

情報源: 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) によって開発されたJCOPE2モデル。

<http://www.mext.go.jp/english/incident/1305758.htm>

### 3. 生物に対する放射能汚染の影響

#### 3.1. 魚類中の濃度

IRSN は、日本で採集された試料の中で最も高い濃度でかつ最も代表性の高い魚種についての測定結果を収集し解析した。すなわち、イカナゴ(*Ammodytes personatus*, 図9)である。この魚は限定された海域で特定の季節(1月から4月)に漁獲されている。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図9 イカナゴ (*Ammodytes personatus* (Girard)). (a) 仔魚, (b) 稚魚。

分析は6つの港で水揚げされた魚について行われた。これらの港は全て福島以南に位置している（図10）。正確な情報がないため、提供された数値は、乾燥されていない全魚体についての値であると IRSN は考えている。

訳注：平成23年4月15日に水産総合研究センターで行われた水生生物放射能分析技術研修会の資料

(<http://www.fra.affrc.go.jp/topics/230415/paper2.pdf>) によると、魚類は解体され筋肉部のみを集めて測定するが、イカナゴなど丸ごと食べる小魚については全魚体を測定するとある。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図 10 イカナゴの試料が取得された港の位置。

最も高い濃度は 4 月 13 日に福島県の磐城港で水揚げされた試料で検出された：ヨウ素 131 で 12,000 Bq/kg、セシウム 134 で 6,200 Bq/kg、セシウム 137 で 6,300 Bq/kg であった (表 1)。しかし、この港に同じ日に水揚げされた同じ種類の試料は、はるかに低い値を示した；それぞれ 300、190 および 200 Bq/kg。このような差異は同じ港からの 4 月 18 日の 2 つの試料についても観測された。この変動は、漁獲物が同じ港に水揚げされたとしても、漁獲した場所が違うことで説明できる。IRSN は、これらの正確な漁獲場所はわからない。

放出の記録と矛盾せず、最近の試料では、ヨウ素 131 放射能濃度の減少傾向がありそうに見える。この現象は、セシウムの場合は放射能半減期がより長いために、当てはまらない。

表 1 イカナゴで測定された放射能濃度（太字：ヨウ素については 2000 Bq/kg、セシウム 134 とセシウム 137 の合計については 500 Bq/kg という最大許容濃度<sup>1</sup>を上回っている結果）。

<sup>1</sup> MPL（最大許容濃度）：2011 年 4 月 11 日の欧州委員会実施規則 No351/2011

Prefecture	Port of offloading	Date of sample	<sup>131</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	Total Cs
			Bq/kg fresh*			
Fukushima	Port of Iwaki	07/04/2011	1700	280	290	<b>570</b>
Fukushima	Port of Iwaki	07/04/2011	1200	240	260	500
Fukushima	Port of Iwaki	07/04/2011	1500	240	240	490
Fukushima	Port of Iwaki	07/04/2011	1100	240	240	480
Fukushima	Port of Iwaki	13/04/2011	<b>12000</b>	<b>6200</b>	<b>6300</b>	<b>12500</b>
Fukushima	Port of Iwaki	13/04/2011	300	190	200	390
Fukushima	Port of Iwaki	18/04/2011	<b>3900</b>	<b>7100</b>	<b>7300</b>	<b>14400</b>
Fukushima	Port of Iwaki	18/04/2011	120	160	160	320
Ibaraki	Port of Hiragata	01/04/2011	<b>4080</b>			<b>447</b>
Ibaraki	Hitachinaka -Port of Isozaki	04/04/2011	600			83
Ibaraki	Port of Hitachinaka	08/04/2011	598			81
Ibaraki	Port of Hitachinaka	13/04/2011	397			66
Ibaraki	Port of Hitachinaka	21/04/2011	180			93
Ibaraki	Port of Hitachinaka	29/04/2011	53			51
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	04/04/2011	1700			<b>526</b>
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	11/04/2011	<b>2300</b>			420
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	11/04/2011	52			170
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	13/04/2011	1600			357
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	14/04/2011	520			419
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	28/04/2011	430			<b>1129</b>
Ibaraki	Port of Kitaibaraki	29/04/2011	420			<b>1374</b>
Ibaraki	Port of Takahagi	14/04/2011	830			348
Ibaraki	Port of Takahagi	21/04/2011	670			254
Ibaraki	Port of Takahagi	28/04/2011	330			404

\*測定仕様の詳細がないので、鮮魚の全魚体について測定されたと考えた値。

いくつかの試料については、2つのセシウム同位体（<sup>134</sup>Cs+<sup>137</sup>Cs）を合算した放射能濃度の情報だけが得られている。しかし、放出におけるこれら2つの同位体の放射能の比は1に近いので、環境中でのこれら放射性核種はほぼ同じ放射能濃度と考えて良い。（Copyright IRSN May 13th 2011）

ヨウ素 <sup>131</sup>I とセシウム <sup>134</sup>Cs および <sup>137</sup>Cs はこの魚種の全ての個体から検出された。これはこの魚種の生活様式によるものであることに疑いの余地はない。この魚種は現在（漁獲された時期）、稚魚の段階である。この魚種の汚染は汚染した水に直接曝露されたことと、植物プランクトンと動物プランクトンから構成される汚染した餌を摂取したことの、両方に由来する。地理的位置も、これらの汚染レベルを解釈する際に考慮すべき因子の一つである。なぜなら、この魚種は岸近くで漁獲されるからである。

他の水産物（ヒラメ、サバ、カタクチイワシ、スズキの種々の魚類と貝類）についての濃度は、一般に、ヨウ素 131 については 200 Bq/kg 未満、セシウムの 2 つの同位体については 100 Bq/kg 未満である。

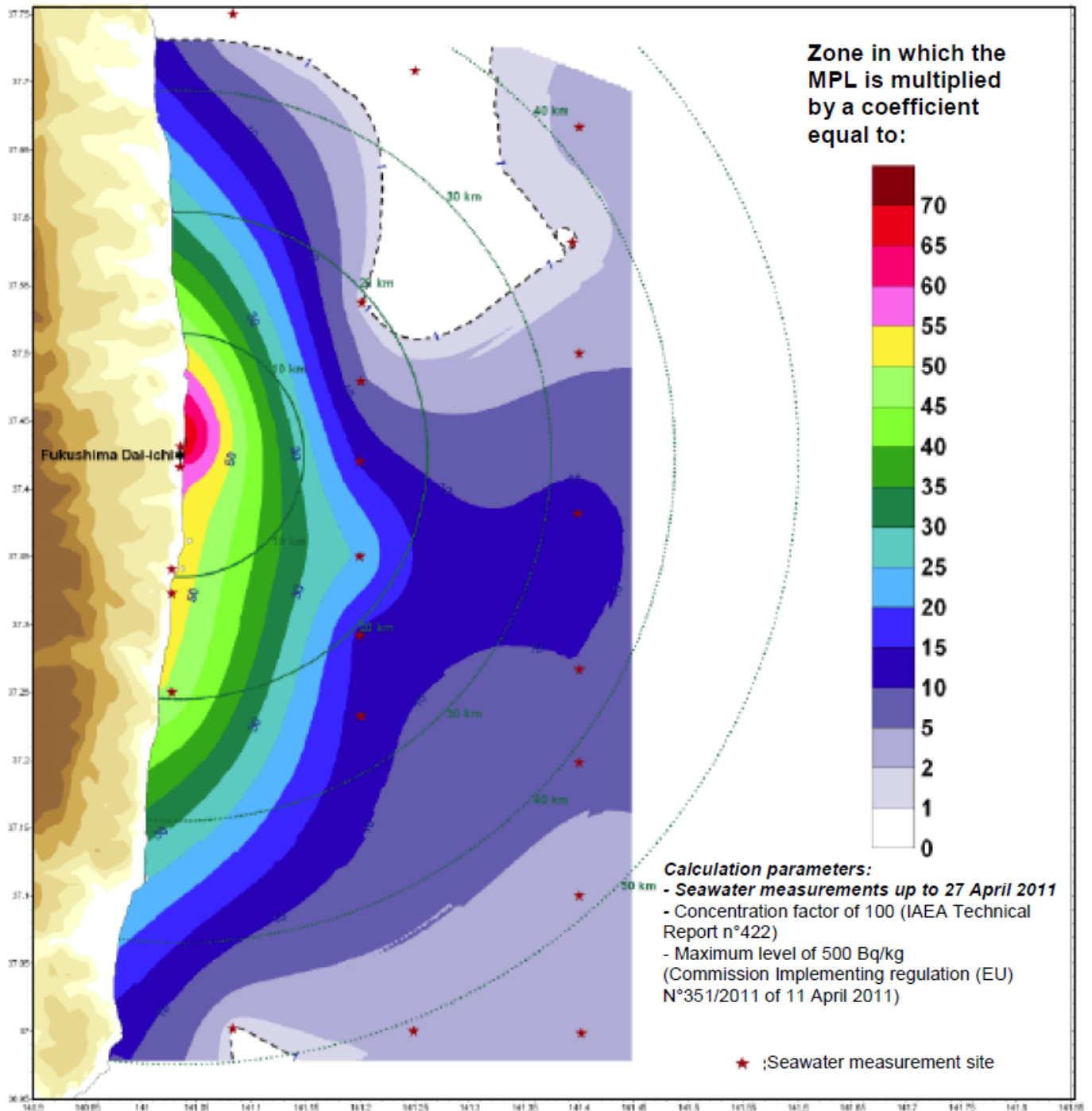
魚類から得られた測定結果を適切に解釈するには、正確な漁獲場所についての情報が極めて重要である。この情報は、恐らく現在入手できないであろう。なぜなら、これらの測定的主要な目的が国民の保護であり、水揚げされた漁獲物中の放射能の監視にあるからである。

一般的に言って、魚類はセシウム汚染の中期的および長期的な指標として最適である。他の海産物の監視も、放出された他の放射性核種のために、当然ながら短期的には必要である（例えば、ヨウ素 131 は海藻類、特に褐藻類で、放射性壊変によって消失するまで監視されるべきである）。セシウムは魚において高い濃度レベルに達し（可食部、つまり筋肉、の平均セシウム濃度は、海水の 100 倍になる）、その魚種の占める栄養段階（訳注：生態系を餌-捕食関係で表した食物網（食物連鎖）の中で、どれぐらい上位に位置するかを基準。捕食者は餌よりも栄養段階が 1 段階上位とする）とともに増加する傾向にあることを銘記すべきである。結論として、短期的には、最も高い濃度は、食物連鎖の最下位部に位置する種（イカナゴのように）で、より多く見つかるであろう。これは摂餌を通して最も早く汚染にさらされるからである。続いて、一旦、食物網の様々な部分への伝達が有効になると、より栄養段階の高い捕食者（タラ類、マグロなど）が最も高い濃度レベルを示すだろう。

### 3.2. 海水の測定結果から予測される濃度

放射性核種の海水から生物と海底堆積物への移行が、多くの科学研究の主題となってきた。これら研究によって、海水中の特定の放射性核種の濃度から、その放射性核種が長期（数ヶ月）の被曝を経て生物に取り込まれる量を原理的に計算できる係数が確定された。生物については濃縮係数、海底堆積物については移行係数と呼ばれる、これらの係数は、ほとんどの放射性核種と生物の分類群について知られている。これらの係数を用いた計算結果の精度は、多くの潜在的な環境の影響により、おおむね 10 倍程度である。さらに、こうして得られる推定値は、生物を一定の濃度の水中に長期間（平衡時間）置いた場合にのみ有効であり、限られた期間の突発的な漏出によって水中濃度が常に変化し続けているような場合には有効ではない。

魚類（可食部）についてのセシウムの濃縮係数は 100 である（IAEA Technical Report No. 422）。これは、5 Bq/L を超える放射性セシウム（134 と 137）濃度の海水では、食用向け流通における最大許容濃度（500 Bq/kg - 2011 年 4 月 21 日付欧州委員会実施規則 No. 351/2011）を超える魚類の汚染につながる可能性があることを意味している。図 6 に示すセシウム濃度が数ヶ月間一定であると仮定すると、その海域に定住する魚類が最大許容濃度を超える汚染を受ける可能性のある海域を推定することができる（図 11）。この図は純粋に目安として示しただけのものであり、これらの推定値は明らかに上限値である。なぜなら、これらの推定では、4 月 27 日までに測定された濃度しか考慮しておらず、その濃度が数ヶ月間変わらないと仮定しているからである。現実には、海水の放射能濃度は移動と希釈により急速に変化する。さらに、魚類は長い距離を移動することができ、汚染海域を短い時間で通り過ぎていくので、海水の濃度と平衡に達することはない。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図 11 4月の最終週に観測されたセシウム 134 と 137 の濃度が数ヶ月維持されると仮定した場合の、魚類の流通における最大許容濃度 (MPL = 500 Bq/kg) を超えるレベルについての理論的な推定結果。黒い点線に囲まれた海域が MPL を超えることが推定される海域で、MPL の何倍に相当するかを色分けして示す。

事故の間に海に放出された全ての放射性セシウム (134 と 137) (これら 2 種の放射性核種の推定値は合わせて  $11.4 \times 10^{15}$  Bq (11.4 ペタベクレル) ; 上記の第 2.2 節を参照 (訳注: セシウム 134 と 137 の濃度を同じと仮定して、セシウム 137 の放出推定量 5.7 ペタベクレルを 2 倍している)) が分散し続けると仮定し、その濃度は表層から 100 m 以内で均一で、かつ、福島第一原子力発電所から海に向かう全ての方向で均一であると仮定すると、



最大許容濃度を超える放射能濃度が観測される可能性がある距離は、約 120 km となる（図 12）。

この理論的な推定は、魚類とその餌資源全体がこの海域にずっととどまることを前提としている。これは単なる目安と言うべきものであり、実際に放出されたセシウムの正確な量がわかっておらず、表層と深層での水塊の実際の分散も魚類の生活様式も考慮されていないため、推定には限界がある。



(Copyright IRSN May 13th 2011)

図 12 全ての方向に 100 m 深までセシウムが継続的に分散すると仮定した場合に、魚類の流通における最大許容濃度（セシウム 134 と 137）を超える放射能濃度となることが潜在的に懸念される海域。

#### 4. 海底堆積物中の放射性核種

発電所から15 kmと20 kmで収集された海底堆積物の試料はセシウム 137 で1400 Bq/kg、セシウム 134 で1300 Bq/kgに近い濃度を示しているのに対し、ヨウ素 131 の濃度レベルは190 Bq/kg前後であった(表2)。これらの試料は、岸から3 kmで水深が20 mから30 m の間の地点で採取されたようである。しかしながら、これらの値は純粋に参考値として理解すべきである。なぜならば、もし今回測定された濃度(約100 Bq/L)が海水中で維持されているなら、海底堆積物の濃度は中期的には数十万 Bq/kg に達するはずだからである。これらの値は採集された海底堆積物の性質に大きく依存する: 海底堆積物の大きさが細かければ細かいほど海水との交換面積は広くなり、結合能力も高くなる。測定結果は海底堆積物の試料の厚さにも依存する。なぜなら、海水と直接接する海底堆積物の表層部は、その深部よりも汚染されているためである。

表2 2011年4月29日に採取した海底土中の放射能濃度。単位は Bq/kg (東京電力)。値は湿重量1 kg 当たりであると仮定している。

Sampling site	3 km off Okada	3 km off Iwasawa
<sup>131</sup> I	190	98
<sup>137</sup> Cs	1300	1200
<sup>134</sup> Cs	1400	1200

(Copyright IRSN May 13th 2011)

訳注: 試料採取場所の Okada は Odaka (小高地区:第1原発より北10~15km) の間違い。Iwasaka は第1原発より南16kmの岩沢地区。