

令和 4 年 9 月 7 日

## ヨーロッパの海水中における放射性セシウム濃度の長期変遷から 東日本の太平洋側の海域の未来を見据える

環境放射能研究所・高田兵衛特任准教授は、福島第一原子力発電所事故後、日本の海域での海水中の放射性セシウム濃度が、ヨーロッパの海よりも早い速度で減少していることを明らかにしました。

1986 年 4 月のチェルノブイリ原発事故後のヨーロッパのバルト海・北海・ノルウェイ海、黒海と、2011 年 3 月の福島第一原発事故後の東日本の太平洋側海域（宮城、福島、茨城県の沿岸から沖合海域）において、表層海水中の放射性セシウム濃度の時間変化を比較しました。各事故後 1 年から 9 年までのセシウム濃度が半分に減少する時間（実効半減期）は、日本側で最も短く（1.6-4.7 年）、ヨーロッパの北海では 4.9 年、バルト海では 14.4 年でした。この減少は海洋構造に大きく依存し、日本は外洋と直接繋がっている開放的な海域であるため、海水の希釈拡散効果が日本側で大きかったことが考えられます。更にチェルノブイリ原発事故後 9 年から 30 年の実効半減期は日本と同様の海洋構造を持つ北海では 8.4 年と減り方が緩やかになりました。これは、河川を介した放射性セシウムの流入と混じり合う外洋の海水との放射性セシウムの濃度差が減少したことが主たる要因と考えられます。今回の結果は、今後の東日本太平洋側の海域のセシウム濃度の減少傾向を予測する上で重要な情報となります。

※本成果は 2022 年 10 月に国際学術誌「Journal of Environmental Radioactivity (ジャーナル オブ エンバイロメンタル ラディオアクティビティ)」にて発刊されます。

### 【研究内容】

高田兵衛特任准教授はこれまで福島第一原発事故から約 10 年間の東日本の太平洋側海域（宮城、福島、茨城県の沿岸から沖合海域）での表層海水中のセシウム-137（セシウム）濃度の変遷を調べてきました。そこで、この海域のセシウム濃度が今後どのように変化していくかを紐解くために、約 36 年前のチェルノブイリ原発事故の影響を大きく受けたヨーロッパの海域（図 1 左側 ノルウェイ海、北海、バルト海、黒海\*）のセシウム濃度の時系列変化を解析し、特に海洋構造の違い<sup>1</sup>に着目しながら、東日本の太平洋側海域（図 1 右側）と比較検討<sup>2</sup>を行いました。

\*黒海はデータが少ないためセシウム濃度のみ図示。

#### <sup>1</sup>ヨーロッパと日本の海洋構造について

ヨーロッパの海域のうち、バルト海と黒海は周囲を陸に囲まれた閉鎖的の海域で、海水の交換が非常に遅く、陸の影響を受けやすい海域です（図 1）。一方、ノルウェイ海や北海、東日本の太平洋側海域（図 1 の拡大図のエリア A, B）は直接外洋とつながる開放性海域であるため、海水の交換が非常に早いと考えられています。これらの異なる海洋構造が、事故後の海洋環境中の放射性セシウムの濃度変遷に影響を与えている要因ではないかと考え、それぞれの海域のセシウム濃度変化\*について解析しました。

#### <sup>2</sup>使用したデータ

国際原子力機関（IAEA）が運用する海洋に特化した放射能データベース MARIS（Marine Radioactivity Information System）を主に利用し、セシウムデータの多い海域（ノルウェイ海、北海、バルト海）と、チェルノブイリ原発に近い黒海をとりまとめました。日本では原子力規制庁のモニタリングデータを用いました。

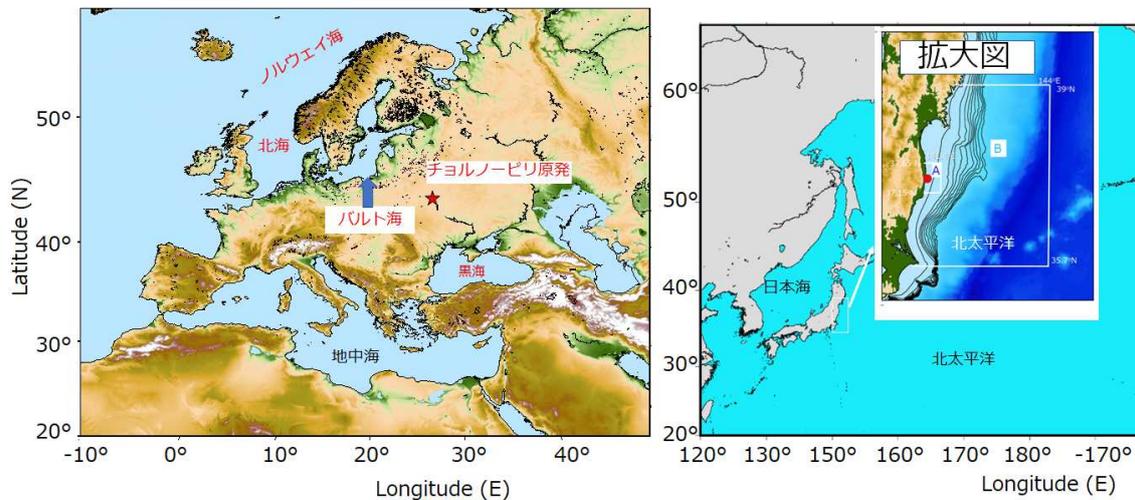


図 1 ヨーロッパの海域を含む地図（左側）と東日本太平洋側沿岸海域を含む地図（右側）。拡大図のうち福島第一原発から約 30km 周辺の海域（エリア A）とそれを除く沿岸と沖合海域（エリア B）を示しています。エリア A: 北緯 37.15 度～37.65 度と海岸線～141.4 度のライン内側の海域。エリア B: 北緯 35.7 度～39 度と海岸線～東経 144 度のライン内側の海域（エリア A を除く）。別添に拡大版があります。

#### ヨーロッパの海域のセシウム濃度

1964 年から 2017 年までのヨーロッパ海域の表層海水中のセシウム濃度の時間的変化を図 2（左側）に示しました。

#### チェルノブイリ原発事故前のセシウム濃度（1964～1985 年）

北海でのセシウム濃度は、1960 年代まで行なわれた大気圏内核実験とセラフィールド（イギリス）とラアーグ（フランス）の再処理施設の影響を反映していました。1964 年は 0.9～44 Bq/m<sup>3</sup> (mBq/L) の範囲で推移し、その後上昇し、1980 年 7 月に最大 36,300 mBq/L に達した後減少し、事故前の 1985 年では 25～962 mBq/L、平均 110 mBq/L でした。一方、バルト海のセシウム濃度に対する再処理施設からの影響はごくわずかでした。事故前の 1985 年のバルト海の表層海水中のセシウム濃度は 1～185 mBq/L の範囲で推移し、平均は約 25 mBq/L と、大気圏内核実験による影響を受けています。

#### チェルノブイリ原発事故後のセシウム濃度（1986～2017 年）

事故直後の北海では、1986 年 5 月から 12 月まで 15～195 mBq/L、平均 72 mBq/L と前年より低い結果となりました。バルト海では平均が 204 mBq/L と大きく上昇しました。一方、黒海では、事故直後の 1986 年 9 月にボスポラス海峡（北緯 41.4 度、東経 29.3167 度）付近の観測点のみですが、360 mBq/L でした。

事故から翌年は、すべての海域で減少傾向を示しました。

1987 年（事故後 1 年）、1995 年（9 年）、2016 年（30 年）の平均濃度は、

ノルウェイ海：データなし、3.6、1.2 mBq/L

北海：23、8.8、2.1 mBq/L

バルト海：130、70、21 mBq/L

となり、事故から30年経過してもバルト海のセシウム濃度は北海やノルウェイ海のレベルまでは減少していませんでした。

黒海はデータが少ないですが、事故から31年後（2017年）のセシウム濃度は5.7-7.9 mBq/L（平均6.6 mBq/L）でした。

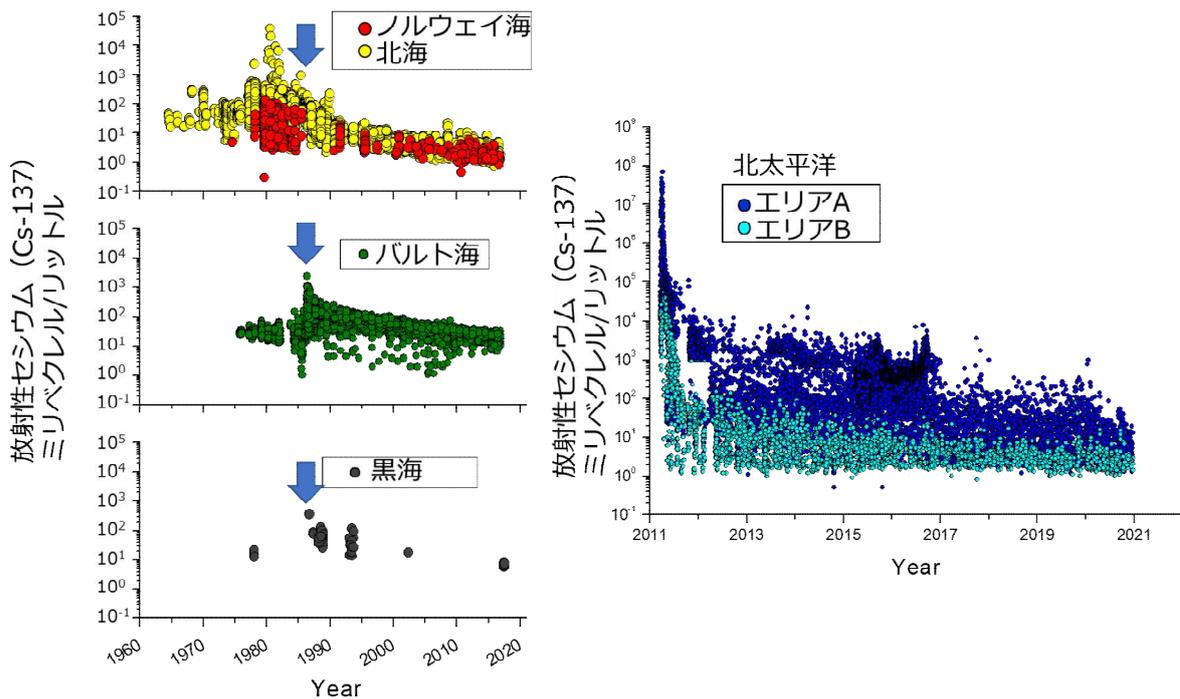


図 2 表層海水中のセシウム濃度の時系列変化図。左側がヨーロッパの海域、右側が東日本の太平洋側沿岸海域。左側の青矢印はチェルノブイリ原発事故時を示す。

### 東日本の太平洋側海域のセシウム濃度

#### 福島第一原発事故前（2010年）

2010年ではエリアAとB（図1右側の拡大図）ともに1-2 mBq/Lでほぼ均一な値であり、セシウムは大気圏内核実験由来によるものでした。

#### 福島第一原発事故後（2011～2020年）

事故直後の2011年3月中旬に急激な上昇を認め、4月上旬には最大値に達しましたが、それ以降は急激な減少が見られました（図2右側）。

エリアAの1年後の2012年の年間平均セシウム濃度は820 mBq/L、9年後の2020年には13 mBq/Lまで減少しています。一方、エリアBは2012年に19 mBq/L、2020年に2.7 mBq/Lで、ほぼ事故前のレベルであることがわかります。また、図3右側に示すように、事故前レベルより高い値はエリアAに集中しており、

局所的であることもわかってきました（図 3）。

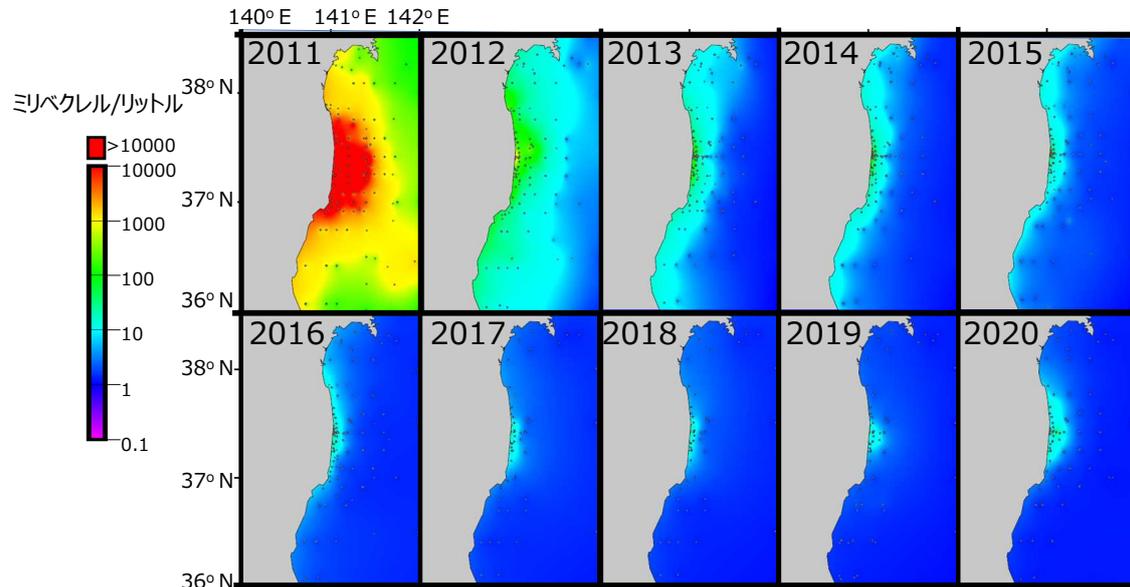


図 3 東日本の太平洋側海域における表層海水中のセシウム濃度の年変化図。

#### 両者のセシウム濃度の減少速度の比較

ヨーロッパ海域と東日本太平洋側海域のセシウム減少速度（実効半減期）を計算しました。各事故後 1 年から 9 年までの減少速度は、早い順に、エリア A が 1.6 年、エリア B が 4.7 年、北海が 4.9 年、バルト海 14.4 年でした。数値が小さいほど早く減少していることを示しており、東日本太平洋側海域ではヨーロッパの海と同等かやや早く浄化されたことが示されました。東日本太平洋側海域は、福島第一原発からの継続的な放出が未だに影響しているにもかかわらず、バルト海（半閉鎖性）の 3 倍以上、また北海よりもわずかに早く、これは、この海域の開放的な海洋構造に加え、海水の希釈拡散効果がヨーロッパの海域よりも大きいことを示しています。

#### ヨーロッパのセシウム濃度の減少速度からわかる東日本の太平洋側海域の今後

日本ではまだ経験していない、ヨーロッパ海域のチェルノブイリ原発事故後 9 年から 30 年間でセシウム濃度の減る速度を見積もると、日本の海域と同じ海洋構造を持つ、開放性海域であるノルウェイ海と北海ではそれぞれ 8.7 年と 11.9 年となり、北海では少し長くなる傾向でした。これは河川からの影響や混じり合う外洋の海水とのセシウム濃度の差が小さくなってきたことが要因と考えています。この結果を踏まえると、東日本の太平洋側海域もヨーロッパの海域と同じ理由で今後はセシウム濃度の減り方が緩やかになる可能性があります、ほとんどの海域が事故前レベルに到達していることも関係しています。

**【成果の意義】**

今回の研究では、チヨルノービリ原発事故の影響を大きく受けたヨーロッパの海域の 30 年以上にわたる長期的なセシウム濃度の変遷を解析することができました。この結果は同じような経験をした東日本の太平洋側の海域のセシウム濃度の減り方を予測する上で重要な情報となります。

**【掲載誌・論文】**

- ・ 掲載誌 : *Journal of Environmental Radioactivity*  
(<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106961>)
- ・ 発行日 : 2022 年 10 月
- ・ タイトル : “Environmental recovery from  $^{137}\text{Cs}$  contamination in Japanese coastal waters shown by comparison of temporal distributions with European seas”

著者 : 高田兵衛 (福島大学環境放射能研究所)

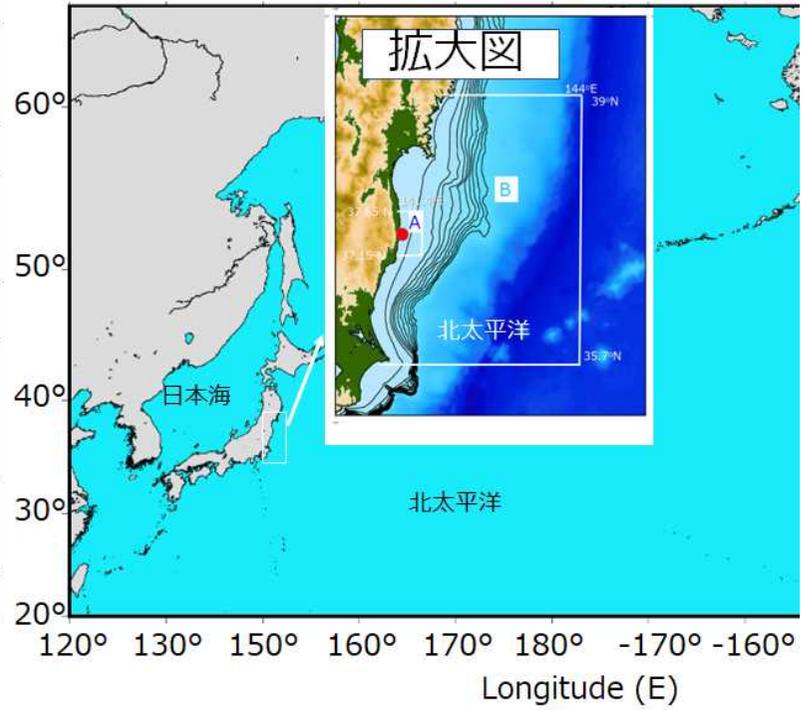
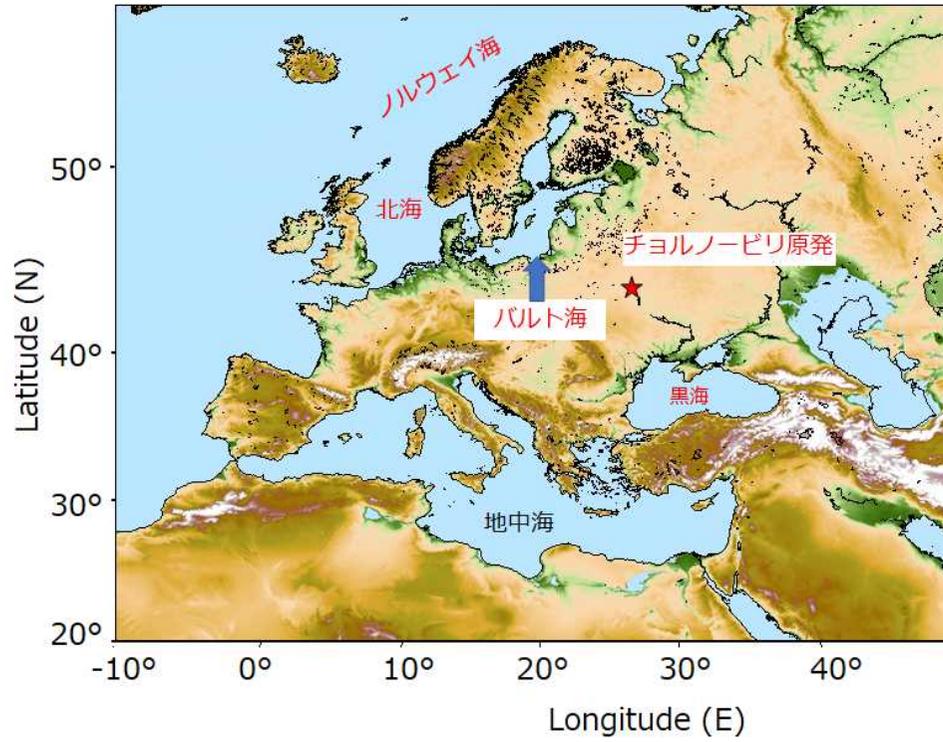
(お問い合わせ先)

環境放射能研究所・特任准教授 高田兵衛

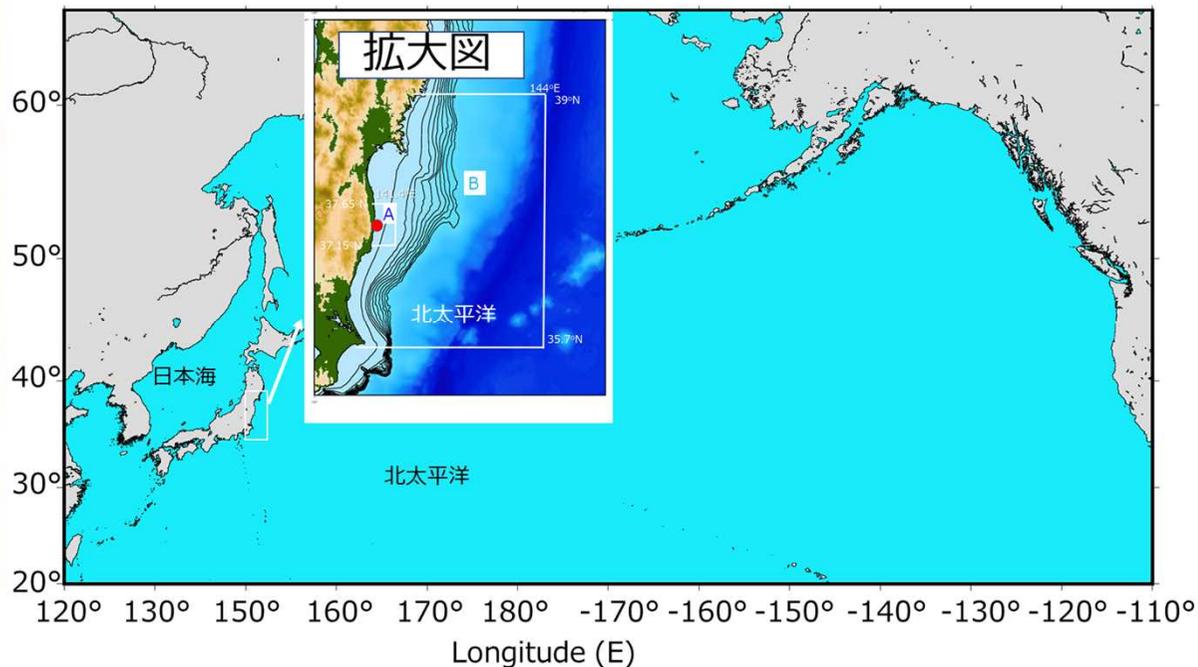
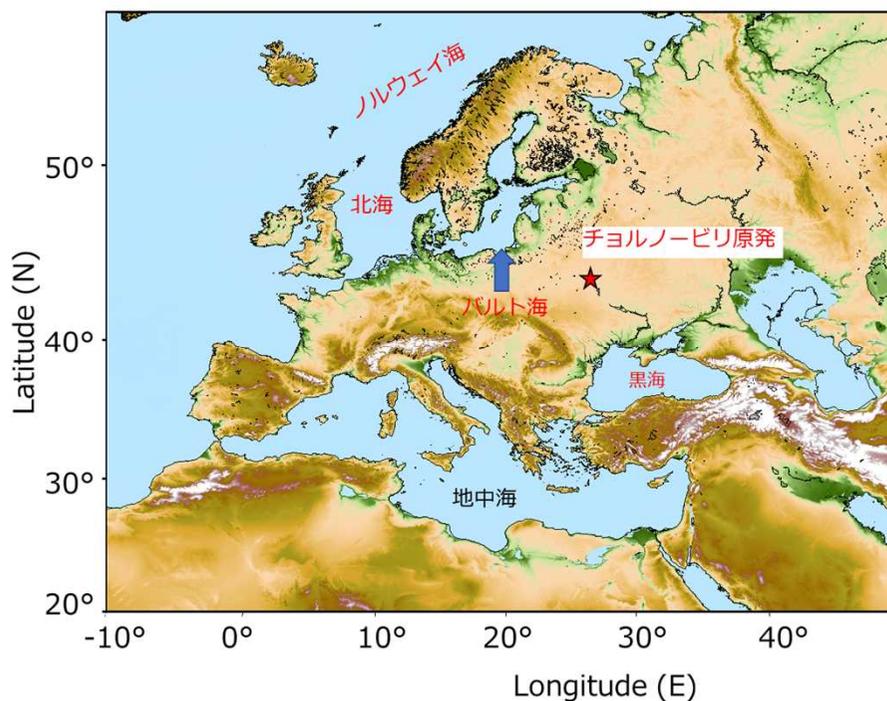
電 話 : 024-504-2882

メール : [h.takata@ier.fukushima-u.ac.jp](mailto:h.takata@ier.fukushima-u.ac.jp)

別添 図1拡大版



# ヨーロッパの海水中における放射性セシウム濃度の 長期変遷から 東日本の太平洋側の海域の未来を見据える

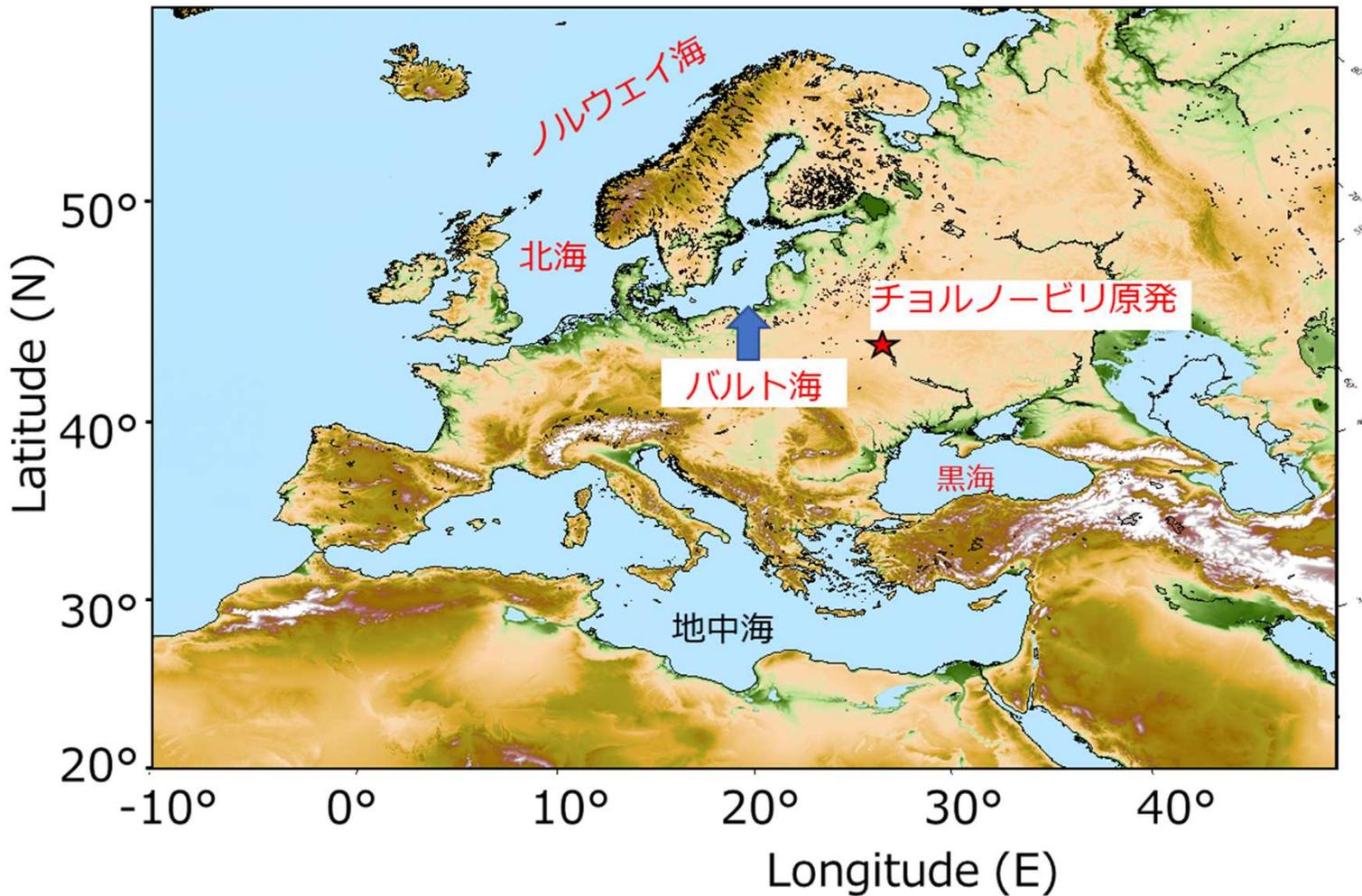


福島大学 環境放射能研究所



高田兵衛

# ヨーロッパの海：海洋構造



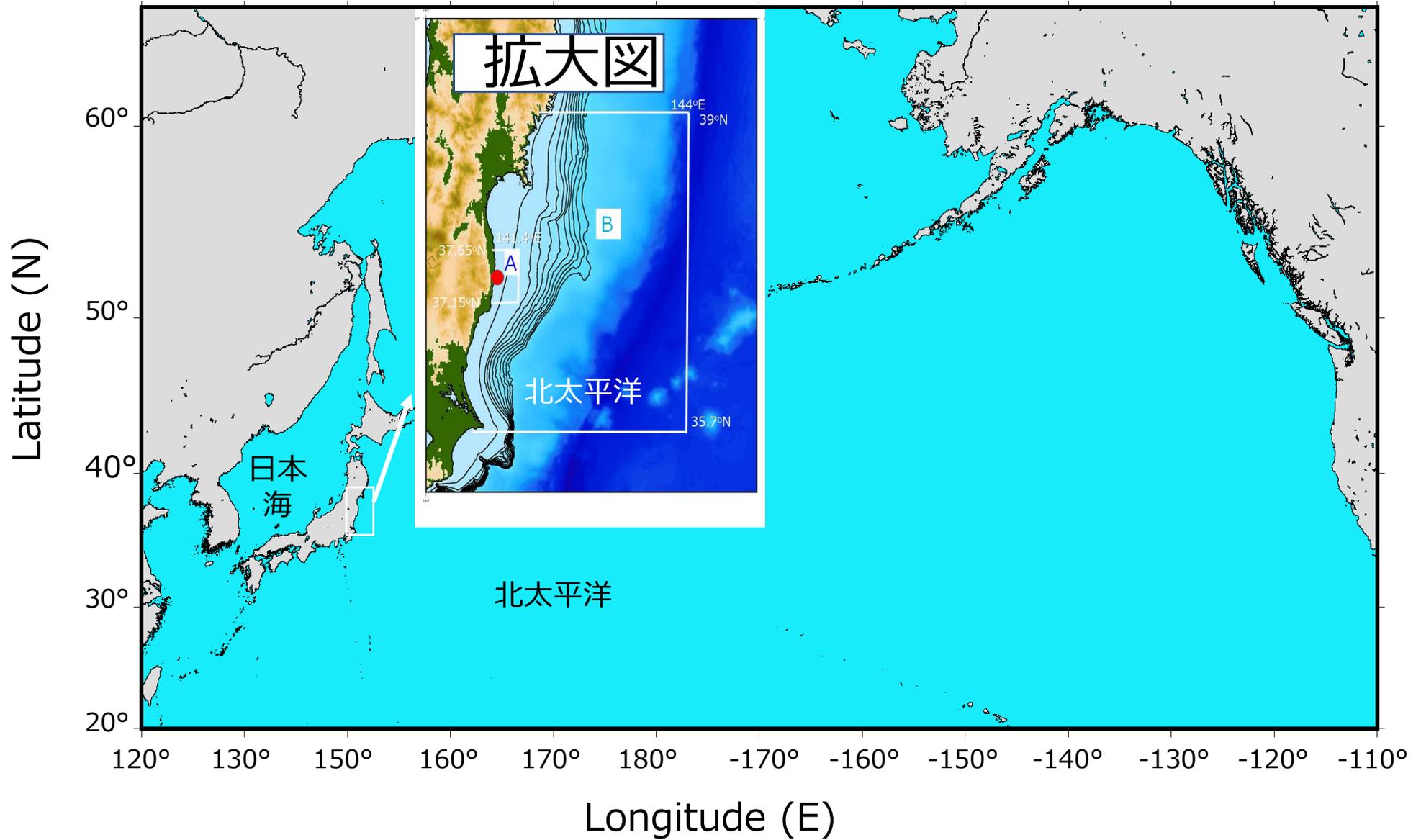
**閉鎖系の海域**：周りを陸で囲まれている。水の交換が遅い

➡ バルト海、黒海

**開放系の海域**：外海とつながっている。水の交換が速い

➡ ノルウェイ海、北海

# 東日本の太平洋側海域（宮城、福島、茨城）：海洋構造

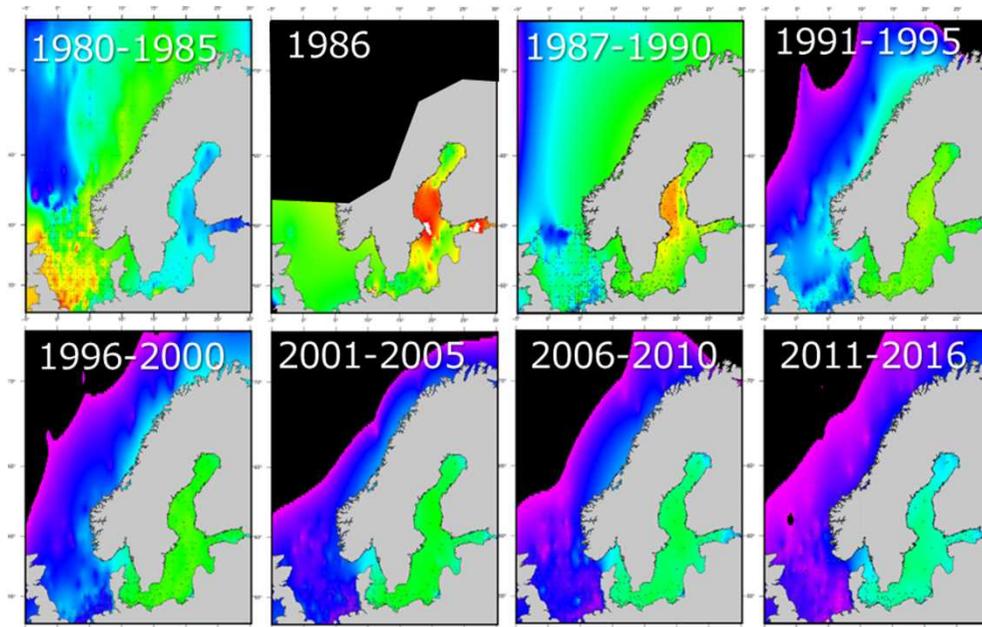
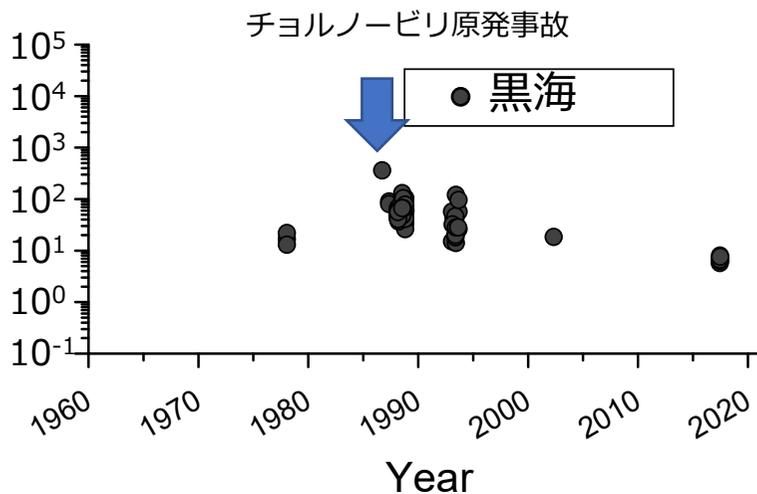
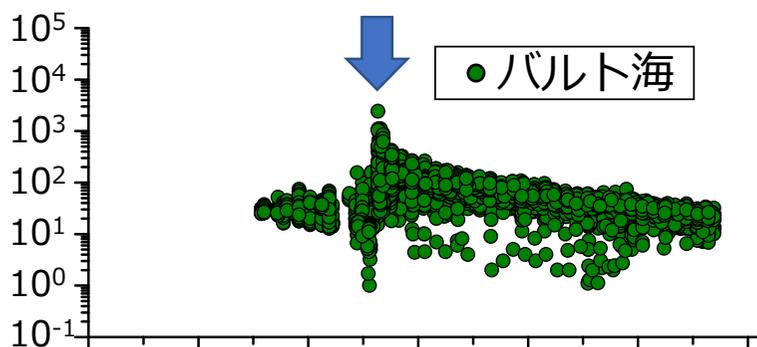
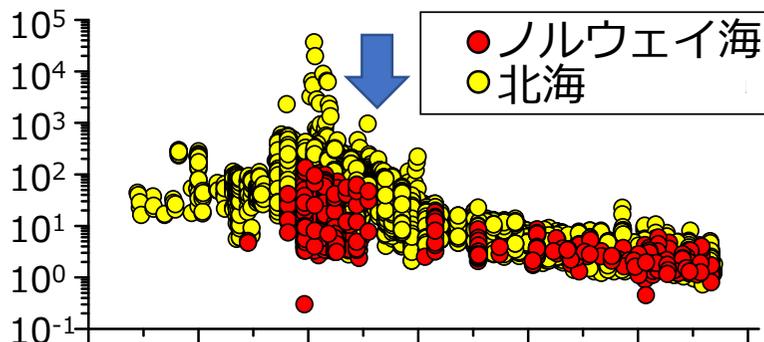


**開放系の海域**：北太平洋とつながっている。水の交換が極めて速い  
→ ノルウェイ海、北海と似ている

# ヨーロッパの海域の放射性セシウム濃度変遷

放射性セシウム (Cs-137)

ミリベクレル/リットル (ベクレル/立法メートル)



No data 10 100 1000 >1000  
 $^{137}\text{Cs}$ , Bq/m<sup>3</sup>

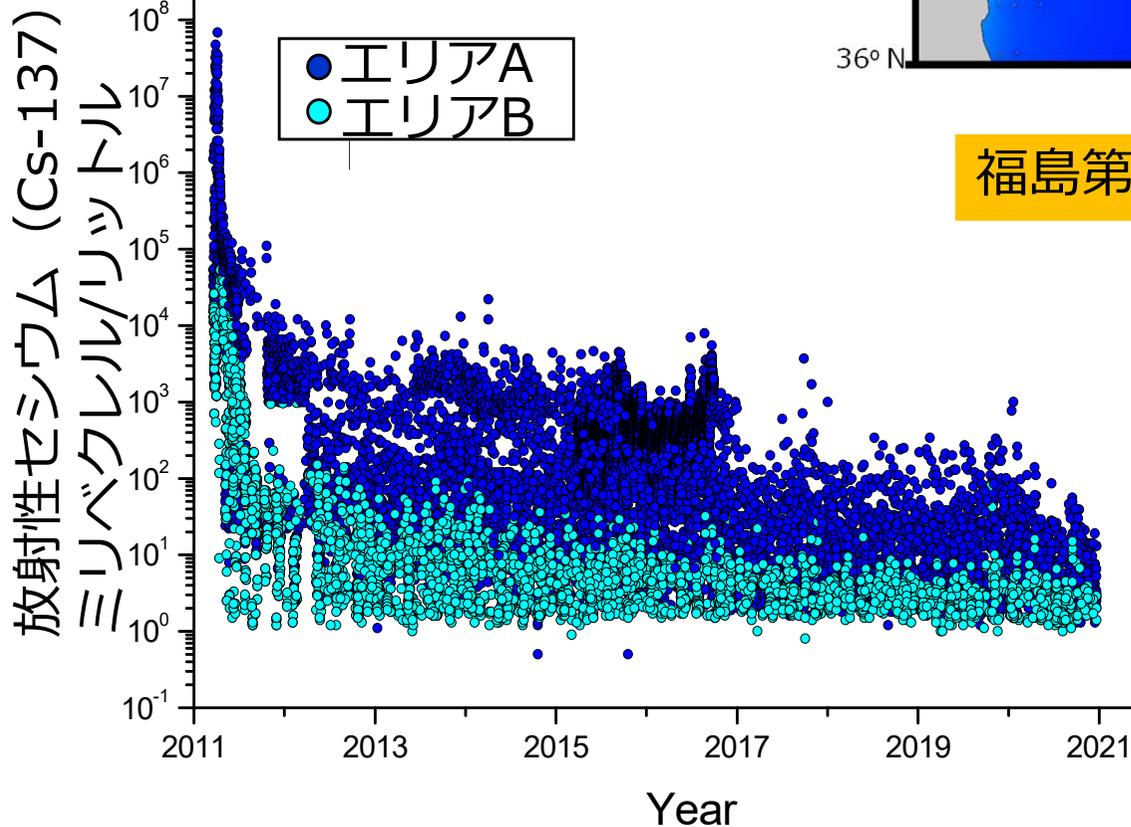
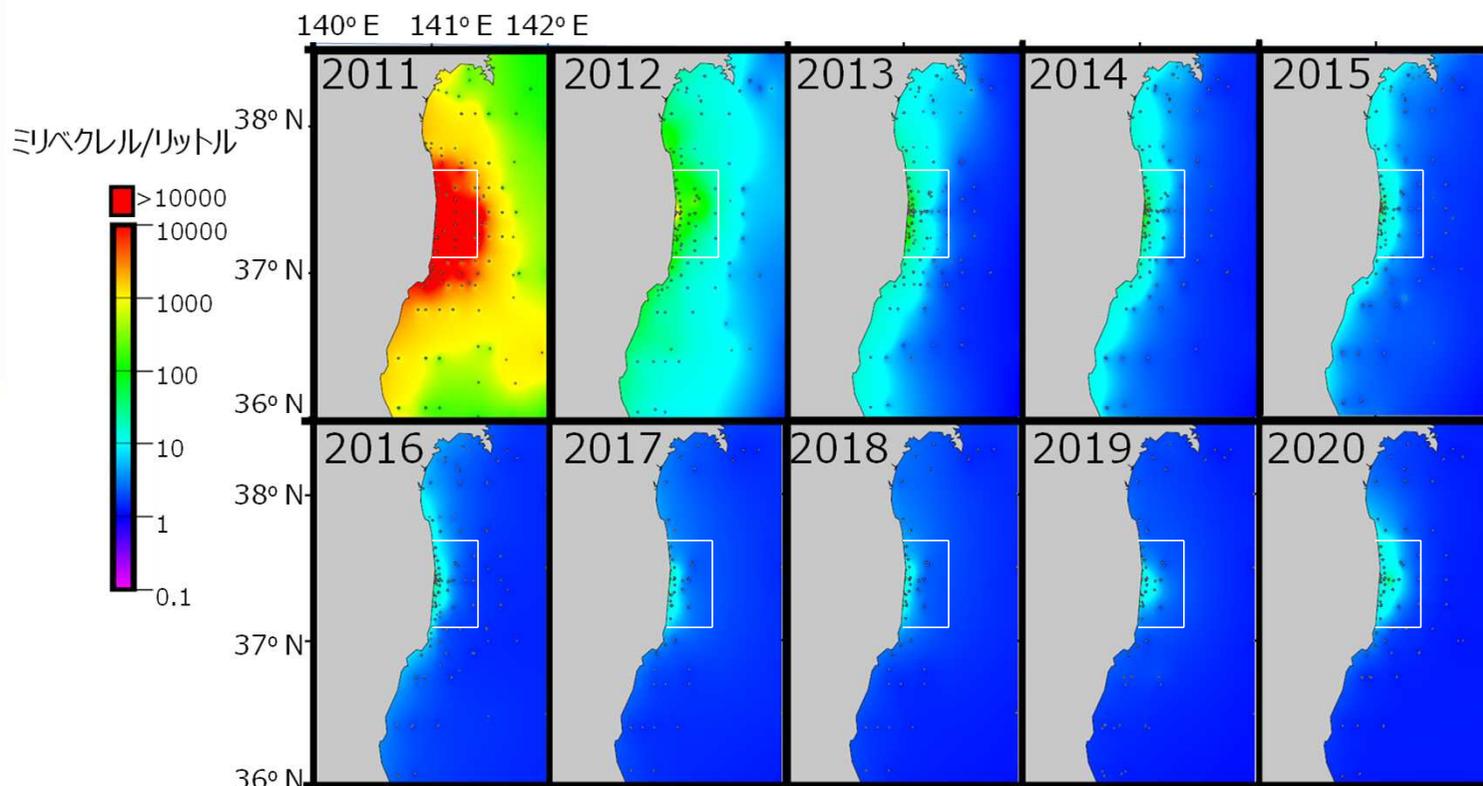
5年ごとの平均値

チェルノーベリ原発事故後の  
各年の放射性セシウム平均濃度

(ミリベクレル/リットル)

海域	1987年	1995年	2016年
	事故後1年	9年	30年
ノルウェイ海	データなし	3.6	1.2
北海	23	8.8	2.1
バルト海	130	70	21
黒海	61 (1988年)		6.6 (2017年)

# 日本の海域の 放射性セシウム 濃度変遷



## 福島第一原発事故後（2012-2020年）

各年の放射性セシウム平均濃度  
(ミリベクレル/リットル)

海域	2012年	2020年	2041年
	事故後1年	9年	30年
エリアA	820	13	??
エリアB	19	2.7	??

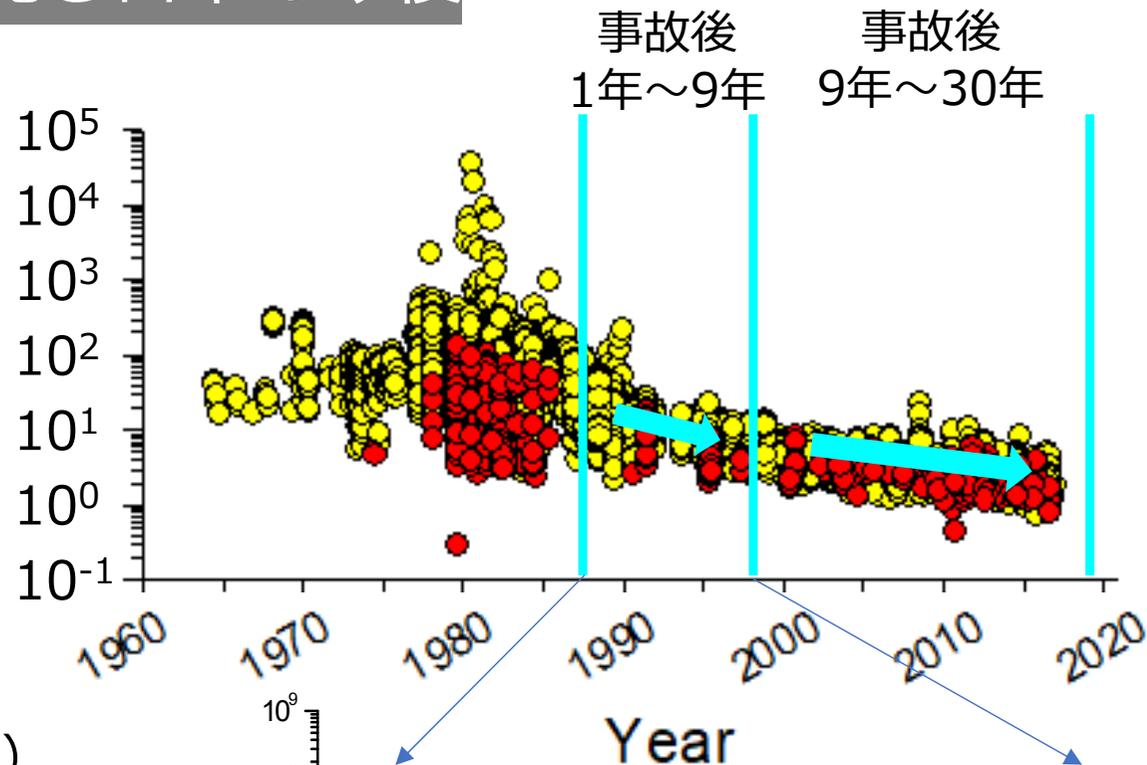
北海(参考)                      23                      8.8                      2.1

福島第一原発事故前の日本の沿岸表層海水平均值（2010年）：1.5 ミリベクレル/リットル

# セシウム濃度の減少速度から見る日本の今後

セシウム減少速度（実効半減期）

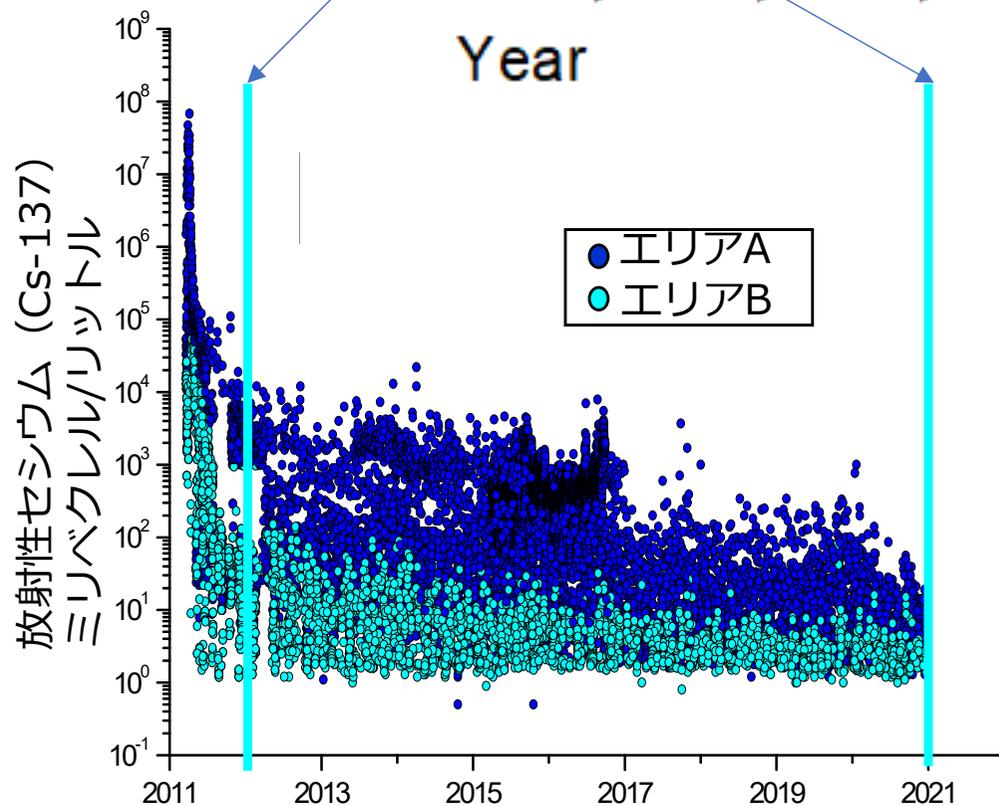
海水中の放射性セシウム濃度が半分に到達するのにかかる時間（年）。セシウム-137の物理学的半減期は約30年



セシウム減少速度（実効半減期（年））

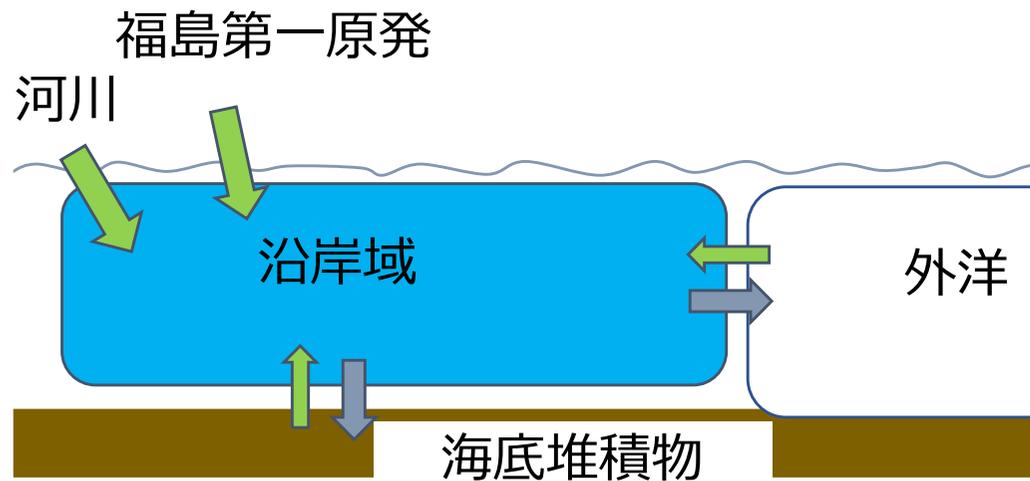
海域	事故後1年~9年	9年~30年
ノルウェイ海	—	8.7
北海	4.9	11.9
日本（エリアA）	1.6	?
日本（エリアB）	4.7	?

\*バルト海の実効半減期：12~15年



# ヨーロッパのセシウム濃度の減少速度からわかる 東日本の太平洋側海域の今後

日本ではまだ経験していない、ヨーロッパ海域のチェルノブイリ原発事故後9年から30年間のセシウム濃度の減る速度を見積もると、日本の海域と同じ海洋構造を持つ、開放性海域であるノルウェイ海と北海ではそれぞれ8.7年と11.9年となり、北海では少し長くなる傾向でした。これは河川からの影響や混じり合う外洋の海水とのセシウム濃度の差が小さくなってきたことが要因と考えています。この結果を踏まえると、東日本の太平洋側海域もヨーロッパの海域と同じ理由で今後はセシウム濃度の減り方が緩やかになる可能性があります。ほとんどの海域が事故前レベルに到達していることも関係しています。



## 【成果の意義】

今回の研究では、チェルノブイリ原発事故の影響を大きく受けたヨーロッパの海域の30年以上にわたる長期的なセシウム濃度の変遷を解析することができました。この結果は同じような経験をした東日本の太平洋側の海域のセシウム濃度の減り方を予測する上で重要な情報となります。