

海水中放射性核種分布の現状と 福島沿岸/沖合での移流拡散の特徴

日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター

町田昌彦

<<本発表の目的及びねらい>>

海水中には核実験由来と自然発生由来のトリチウムが既に存在・分布している。処理水の海洋放出に係る国の方針決定を受け、既に存在しているトリチウムの量やその変動量について推定した結果を報告する他、福島沿岸での海水流動の特徴についてもこれまでに得られている知見を報告する。

本発表の内容

1. 福島沿岸/沖合が既に有するトリチウム量

(設定した一定のエリア)

モニタリングデータを基にした推定
(1F貯留量との比較)

2. 福島沿岸/沖合での海水による移流拡散の特徴

1F事故前後に得られた知見を基にした考察
(放流後に推定される主な動態)

1

福島沿岸/沖合が既に有するトリチウム量

現存量の把握（モニタリングデータの分析）

トリチウム

①自然発生由来

②核実験（過去）由来

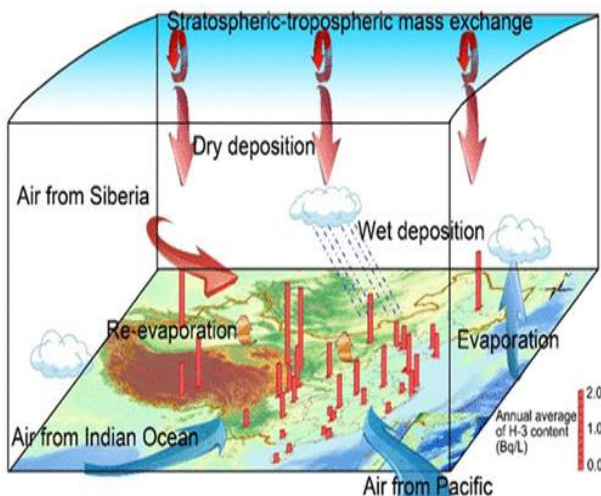
③原子力施設由来

大気中で発生：降雨 ⇄ 蒸発, 崩壊
 大気中で常に発生し変化は少ない（追記）

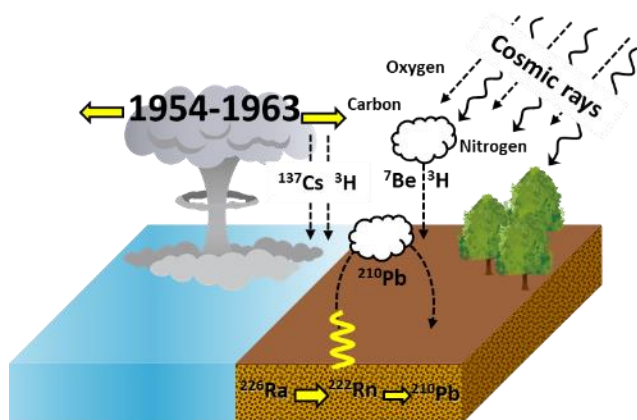
地球上で準平衡：降雨 ⇄ 蒸発, 崩壊
 過去に生成し徐々に減少している（追記）

⇒ 処理水分の追加（今後）

① 自然発生由来



② 核実験（過去）由来



③ 原子力施設由来(1F処理水)



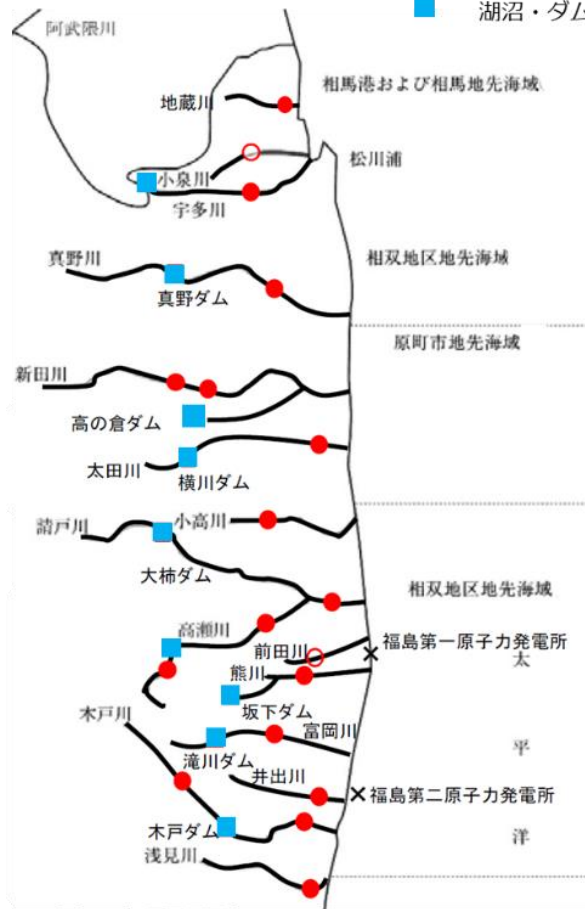
出典：東京電力ホールディングス（株）

トリチウムの沿岸/沖合等での存在量を分析し
 大局的な影響を評価

トリチウムの主な現在のモニタリング体制

陸地（河川）

- 河川採取地点
- 湖沼・ダム採取地点



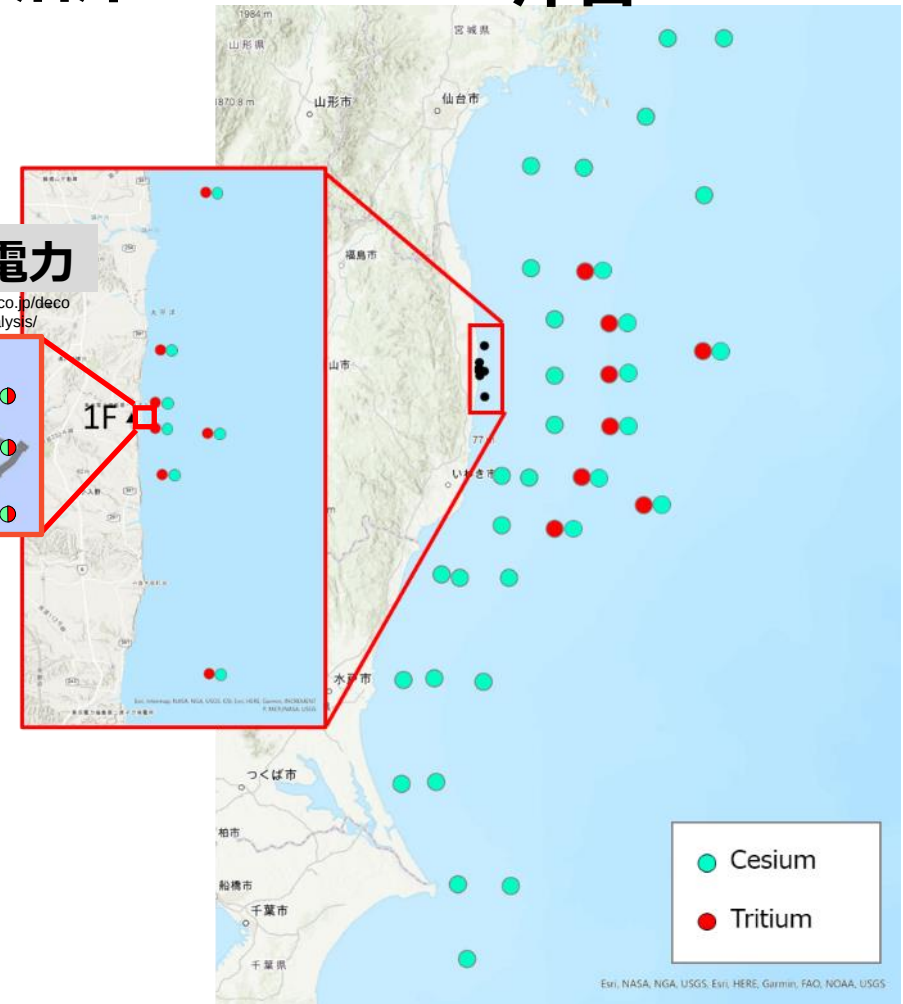
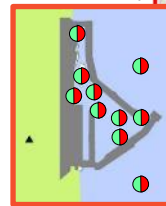
福島県

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-kasensui-tritium-kako.html>

沿岸

東京電力

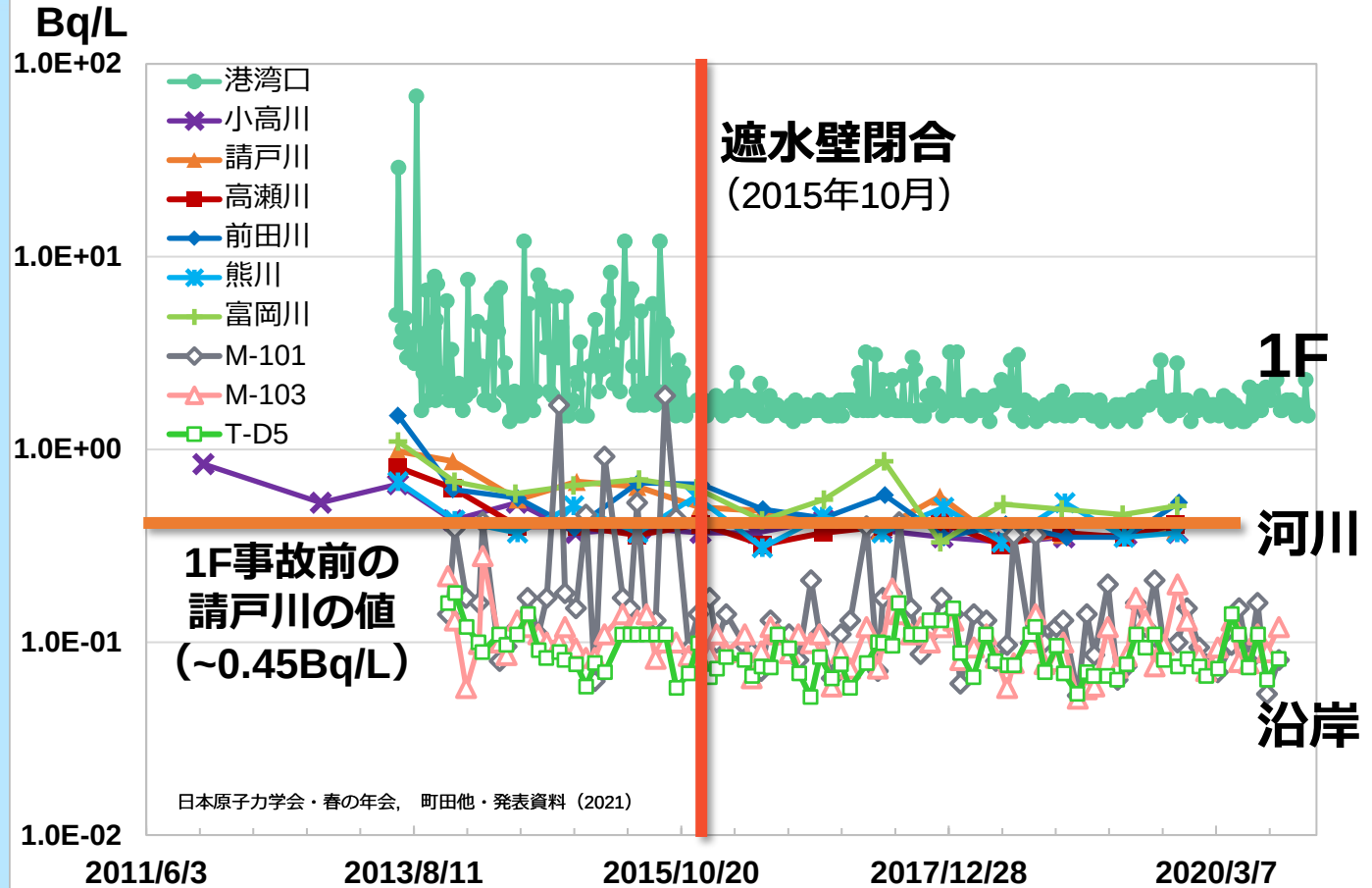
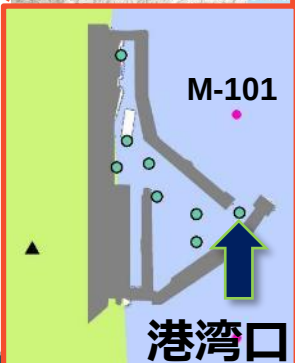
<https://www.tepco.co.jp/decommission/data/analysis/>



原子力規制委員会

<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/464/list-1.html>
<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/440/list-1.html>

河川—沿岸—沖合までの濃度変化



トリチウム濃度(Bq/L)
河川 (0.5) > 沿岸 (0.1)

現在： 陸域（河川）からの供給量 + 処理水の放出量 ⇒ 沿岸へ
自然発生 + 核実験 + 1F事故（ほぼ減衰）（追記）

参考文献：Aoyama et al, "Tritium activity concentration and behaviour in coastal regions of Fukushima in 2014", Preprint bg-2021-10

地球環境の水の循環に従い移行

沿岸（3.5km）～沖合（90Km）の濃度変化

※T-D5・M-E3・M-E5

1.0E+01

日本原子力学会・春の年会、町田他・発表資料（2021）

1.0E+00

陸域からの供給

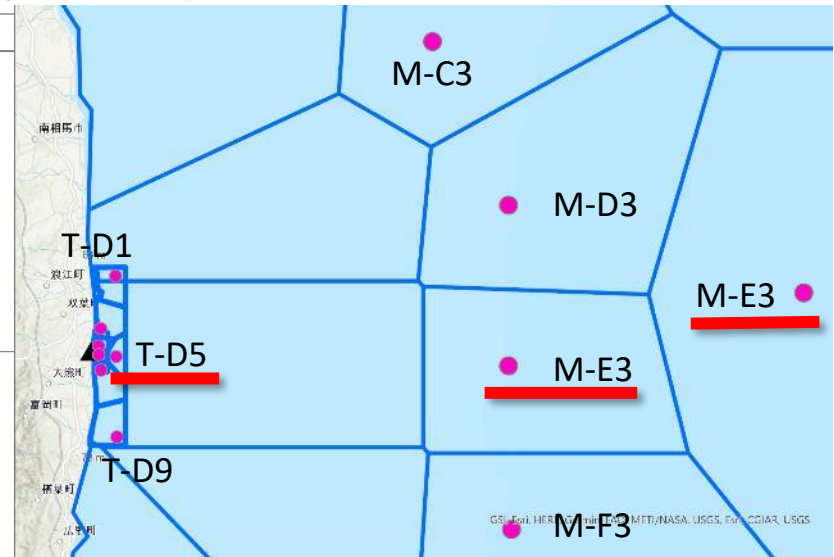
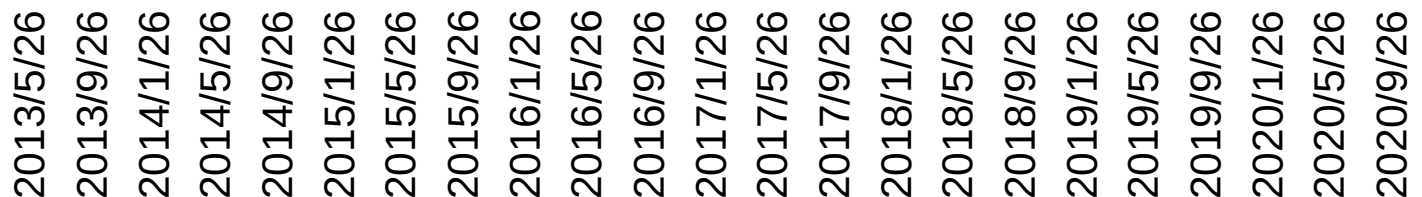
沿岸～0.1Bq/L

1.0E-01

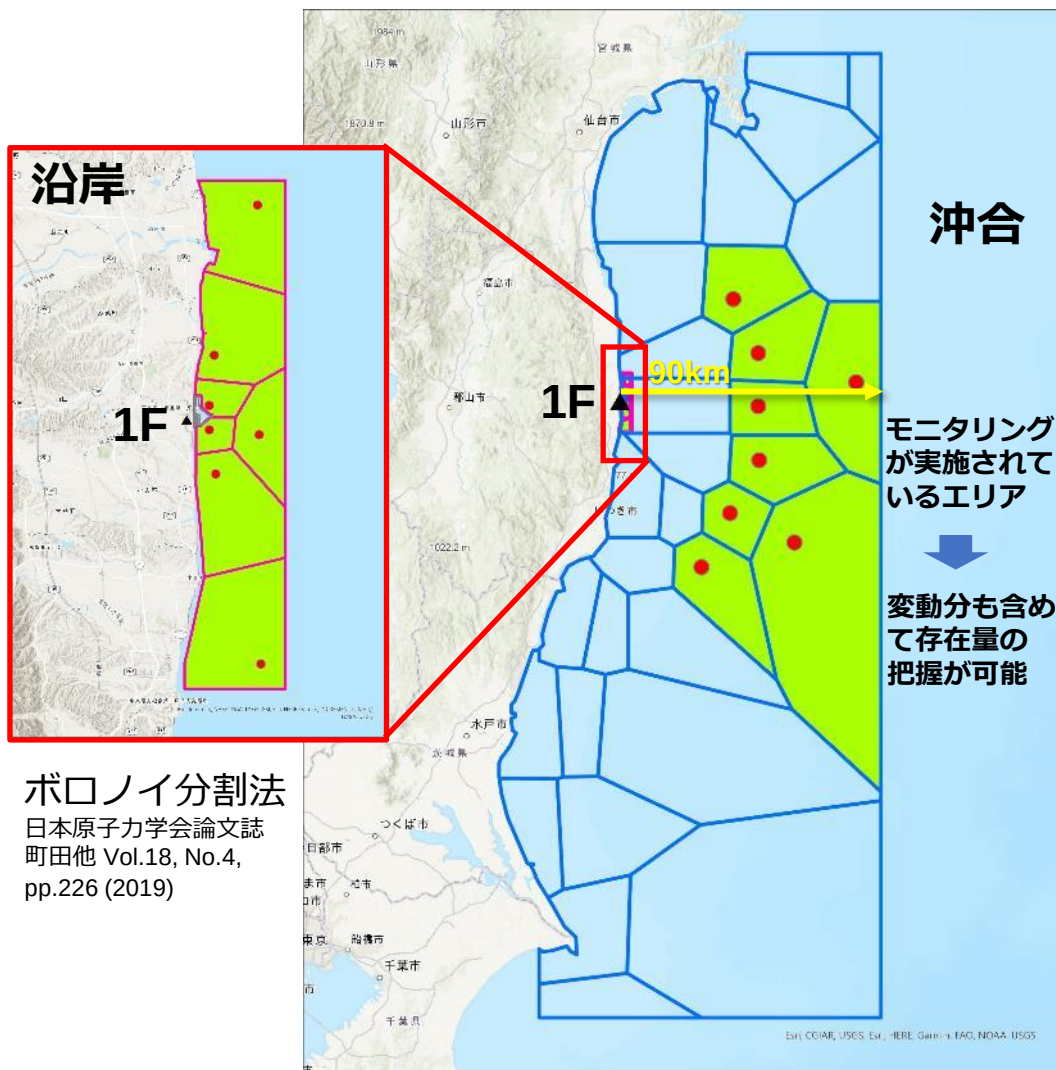
沖合～0.07Bq/L

～バックグラウンド（北太平洋）

1.0E-02

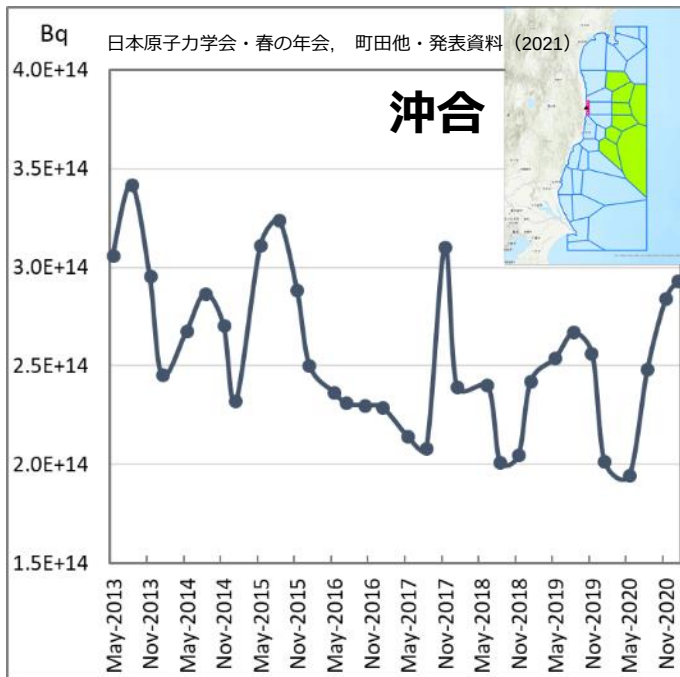
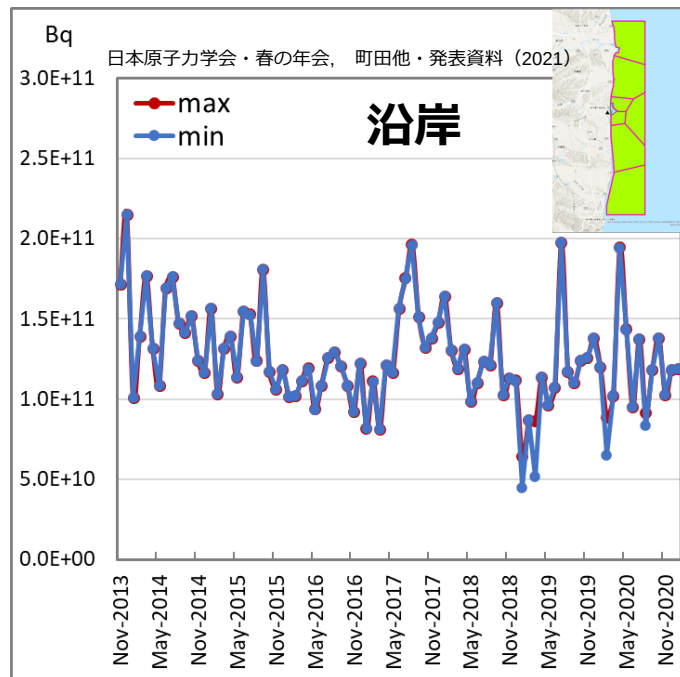


沿岸/沖合（一定のエリア） のトリチウム存在量

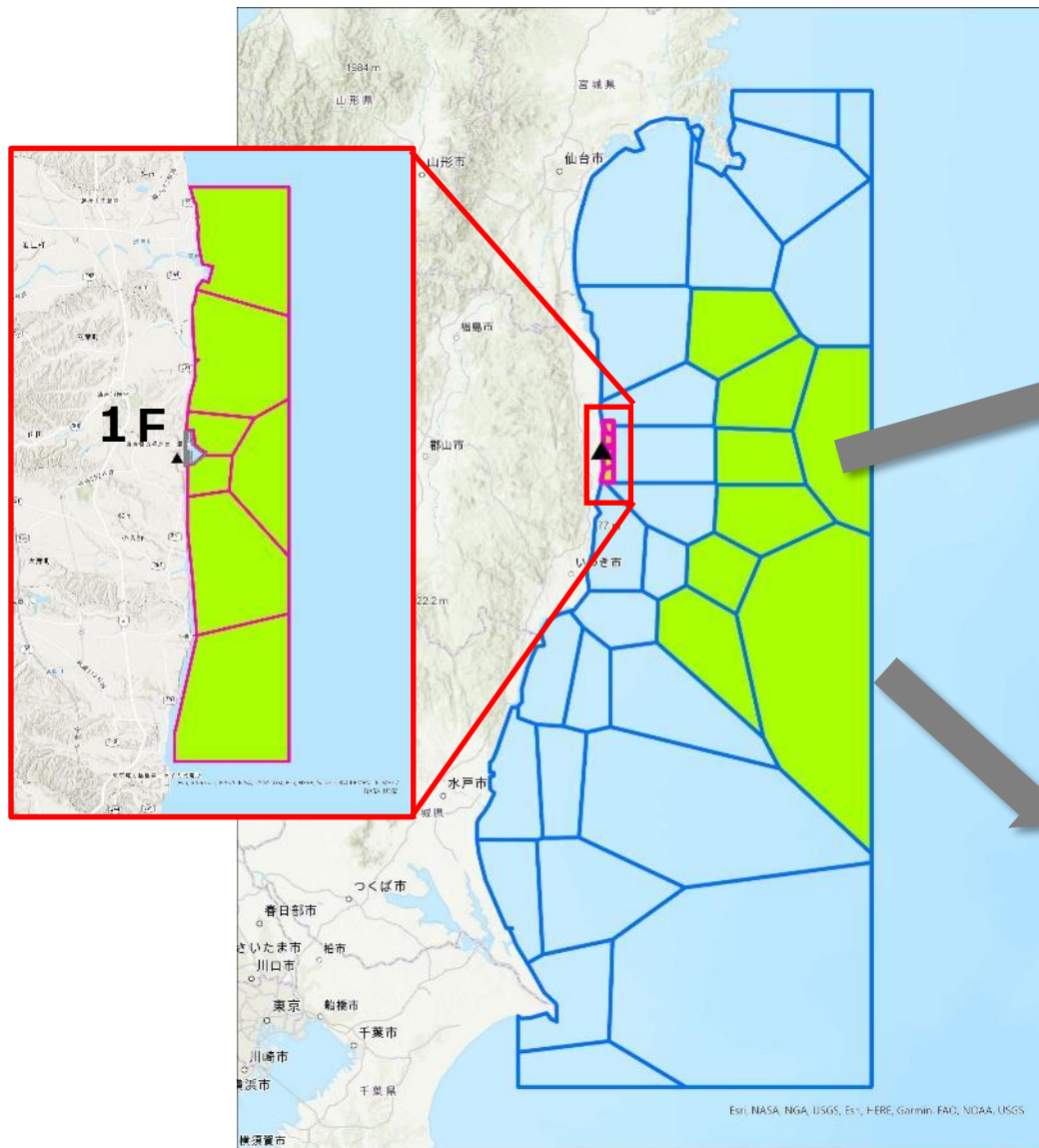


上記の沿岸/沖合の存在量(Bq)

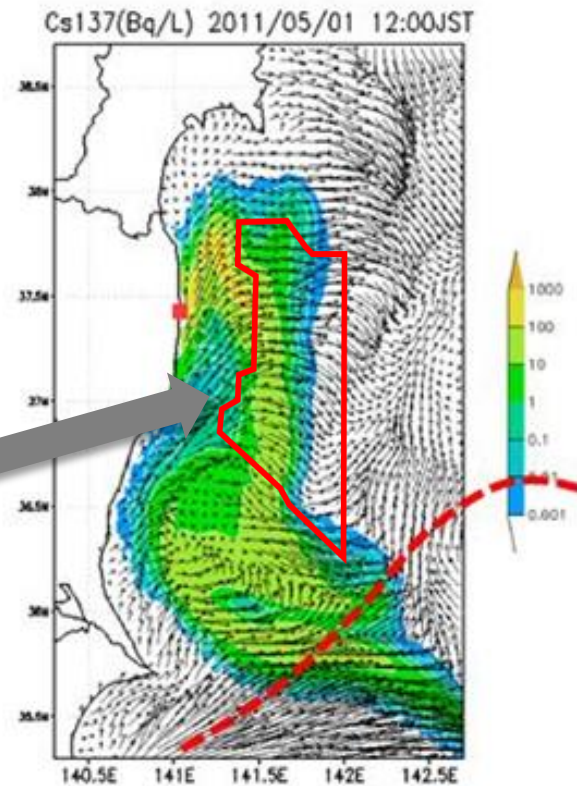
$$\Rightarrow \sum \text{面積} \times \text{深さ} \times \text{濃度} \quad (\sum : \text{各ボロノイ面の和})$$



沿岸/沖合（一定のエリア） の特徴



Cs-137濃度の拡がり



海洋学会HP

https://kaiyo-gakkai.jp/jos/archives/geje2011_artcl/1404

1F 前面の沖合海域

⇒主たる移流拡散域の1つ
(滞留期間2~3ヶ月：濃度は大きく減少)

※ 1 F事故によりその範囲がより明確となった

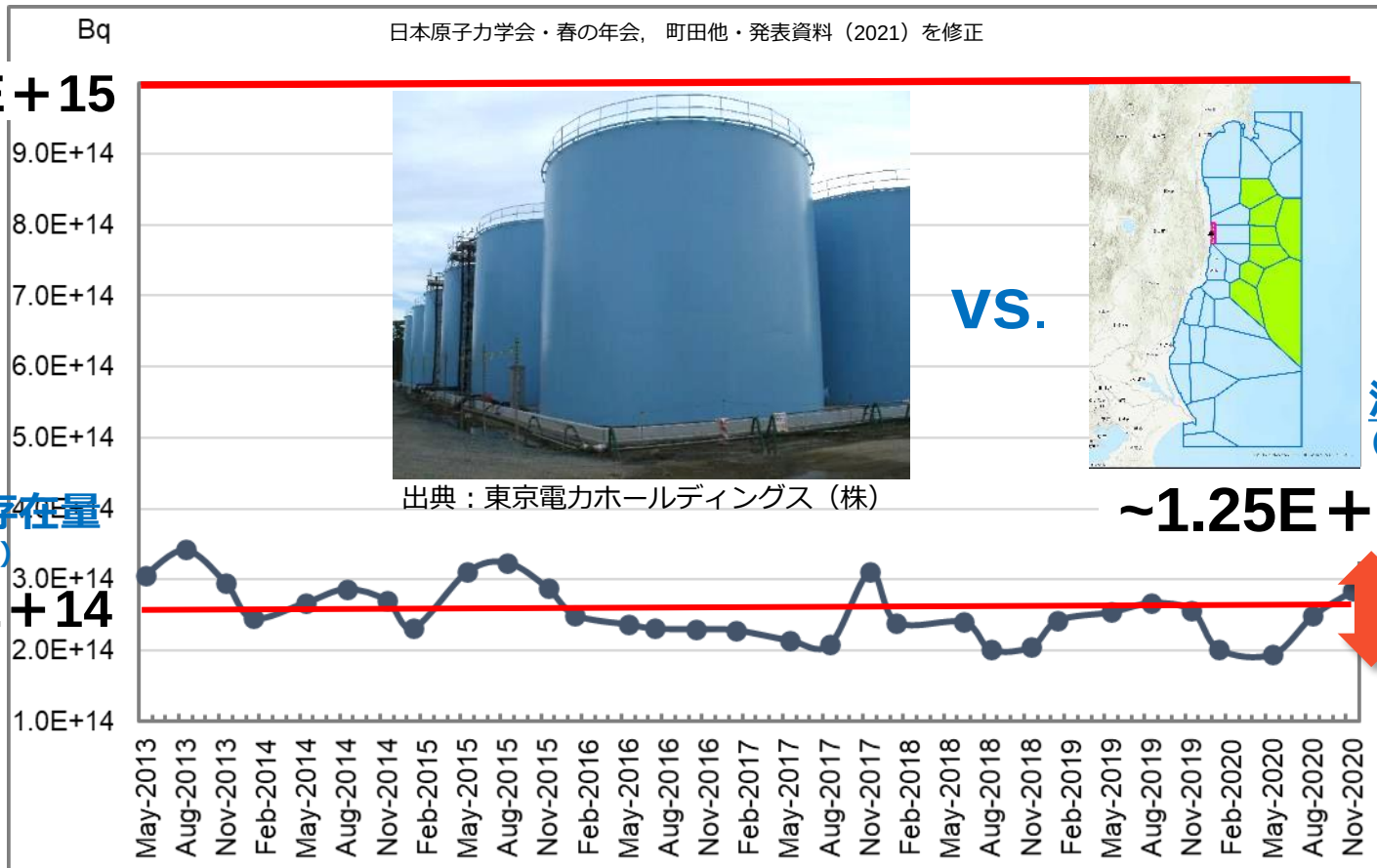
参考文献：熊本雄一郎、2011年北太平洋東北地方沿岸・沖合域における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性セシウムの動態、沿岸海洋研究、第54巻、第2号、135-142(2017)。

沖合の存在量と年間放出管理量の比較

(一定のエリア)

1 F貯留量 (処理水)

多核種除去設備等処理水の取り扱いに関する小委員会説明・公聴会説明資料(案)



年間放出管理量 (< 2.2E+13 Bq) : 沖合平均存在量 (~2.5E+14 Bq※)

(一定のエリア) (追記)

1 : 11

※本推定はそのエリアの海底まで一様な濃度と仮定した場合
 ※400m以深の濃度をゼロとすると存在量は上記の~0.72倍となる
 ※200m以深の濃度ゼロとすると存在量は上記の~0.46倍となる

年間放出管理量は沖合平均存在量の凡そ11分の1

(一定のエリア)

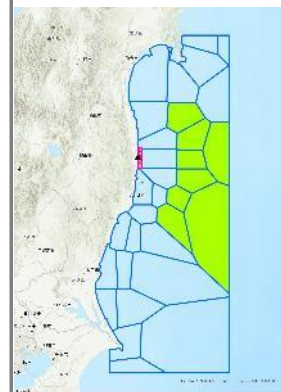
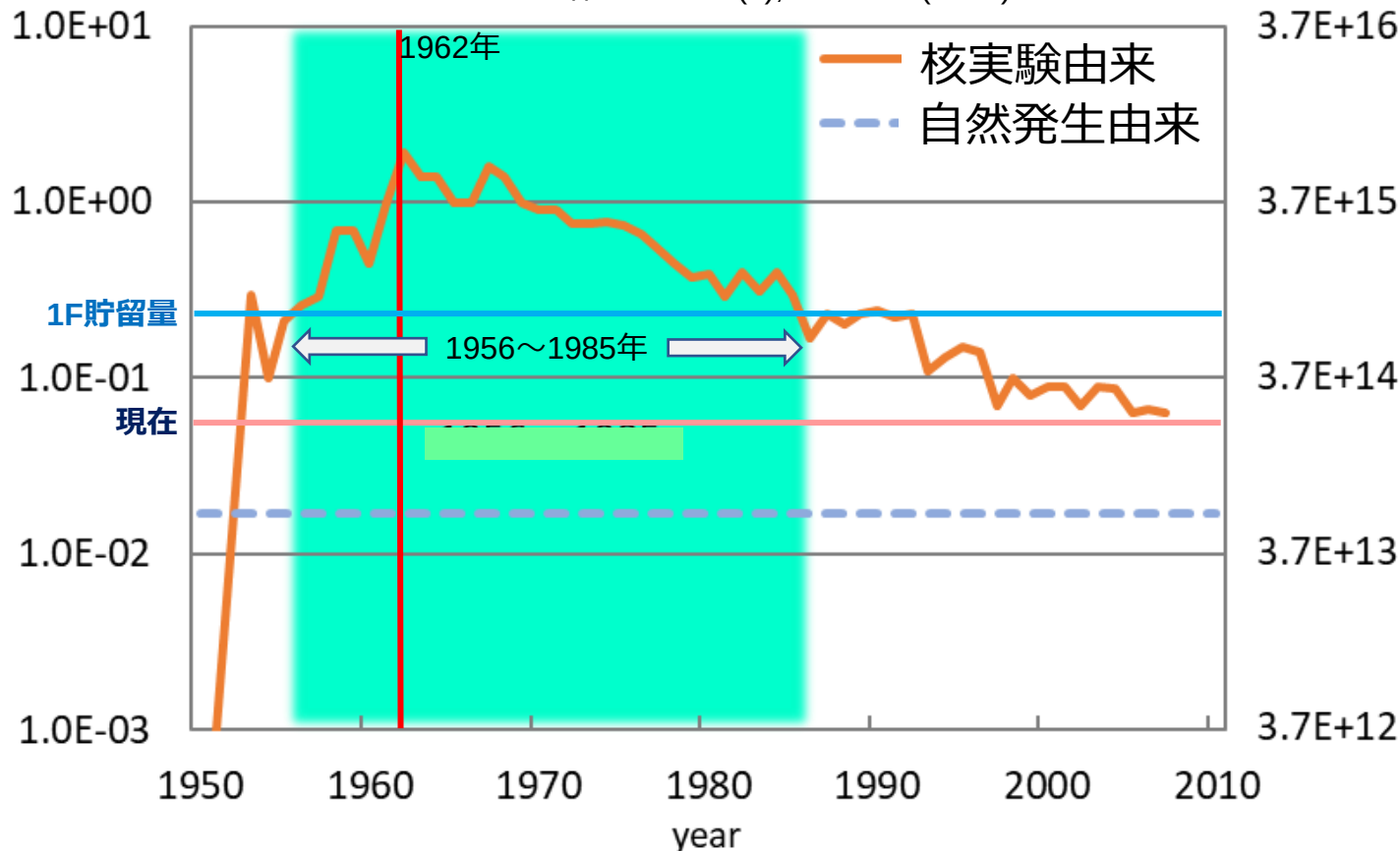
沖合の過去のトリチウムの濃度と存在量

(一定のエリア)

濃度 Bq/L

沖合の存在量
(一定のエリア)
Bq

中野政尚ら 保健物理44 (1), 60 ~ 65 (2009)



出典：東京電力ホールディングス（株）

1956~1985年：沖合に 1 F貯留量分以上の存在量（※）

(一定のエリア)

1962年：ピーク時 1 F貯留量分の約7倍の存在量（※）

(※)海底まで一様な濃度とした場合（異なる場合：p9追記参照）

沖合でのトリチウムによる内部被ばく量を推定

(一定のエリア)



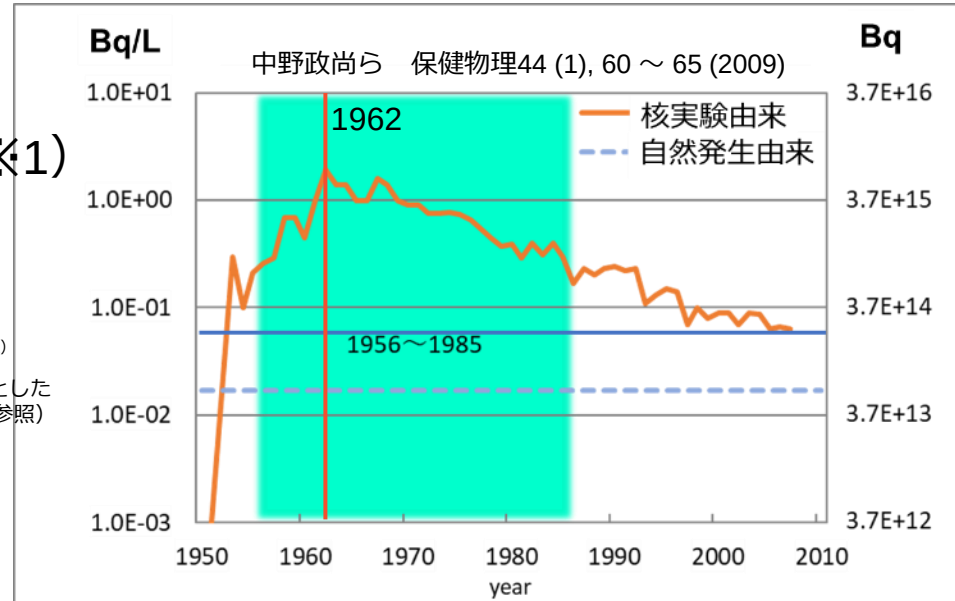
1963年
～X 7(※1)



出典：東京電力ホールディングス（株）

(※1)海底まで一様な濃度とした場合（異なる場合：p9追記参照）

沖合
(一定のエリア)



1962年：被ばく量が最大時の推定 (1962年：～1.9Bq/L)

魚への濃縮係数（トリチウム）：1

1年間の魚食量（沖合のみ）：50kg

トリチウム被ばく線量： $1.8 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq}$ (HTO,成人) 預託実行線量係数

参考「トリチウムによる健康影響」日本放射線影響学会

自然放射線食物由来の内部被ばく量に対し約50万分の1 (※2)

(0.99mSv)

追記

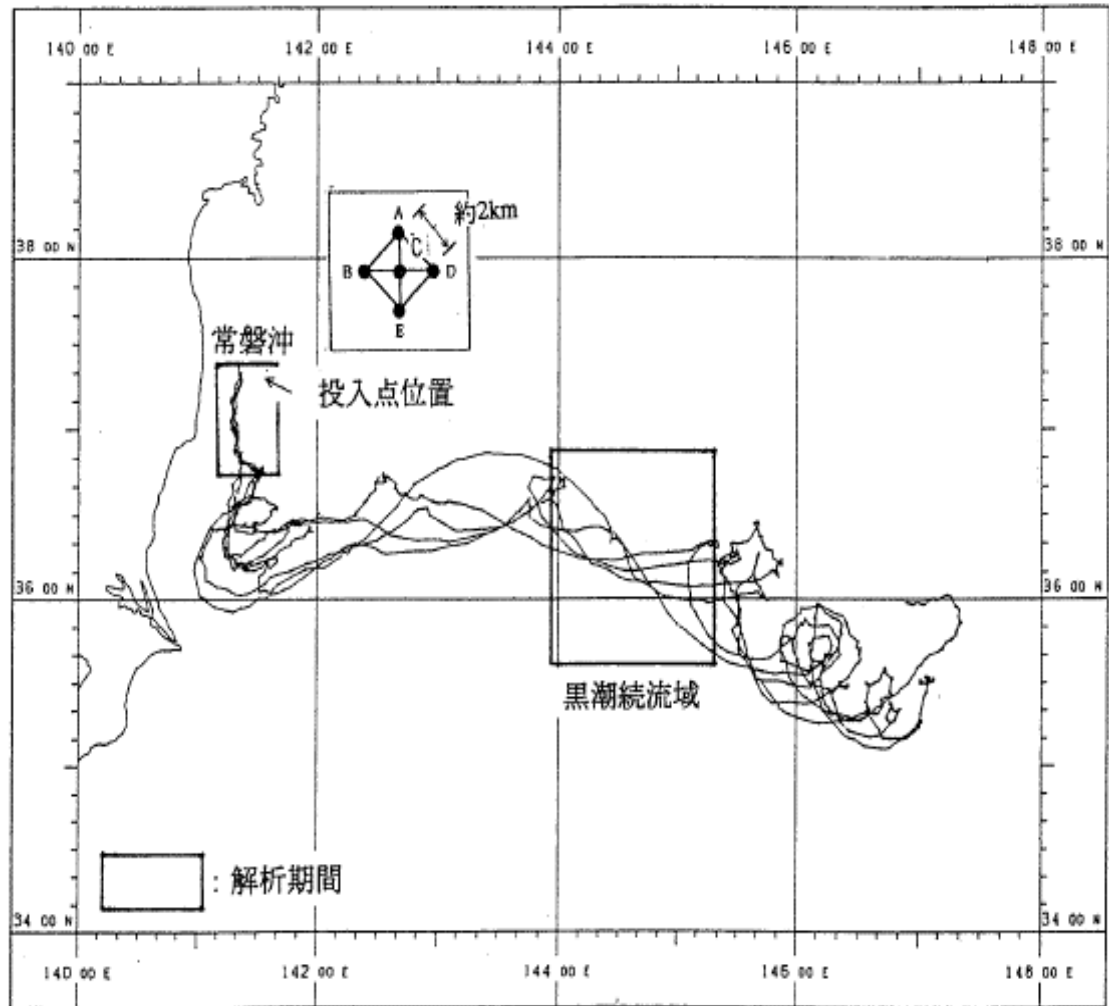
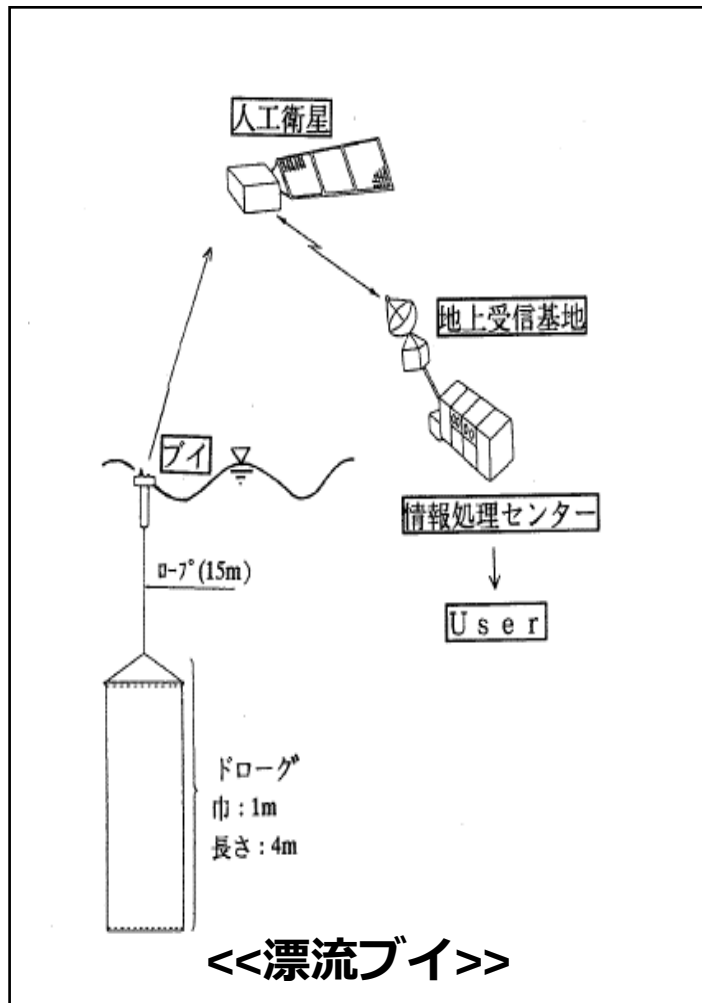
(※2) 本海域のトリチウム濃度が一様に1.9Bq/Lあった場合を仮定（口頭発表時より保守的値に修正）

(※2) 全て有機結合型とした場合は凡そ被ばく量は約2倍となるため、約25万分の1となる

1962年時の内部被ばく量 >> 管理放出による内部被ばく量

2 福島沿岸/沖合での海水による移流拡散の特徴

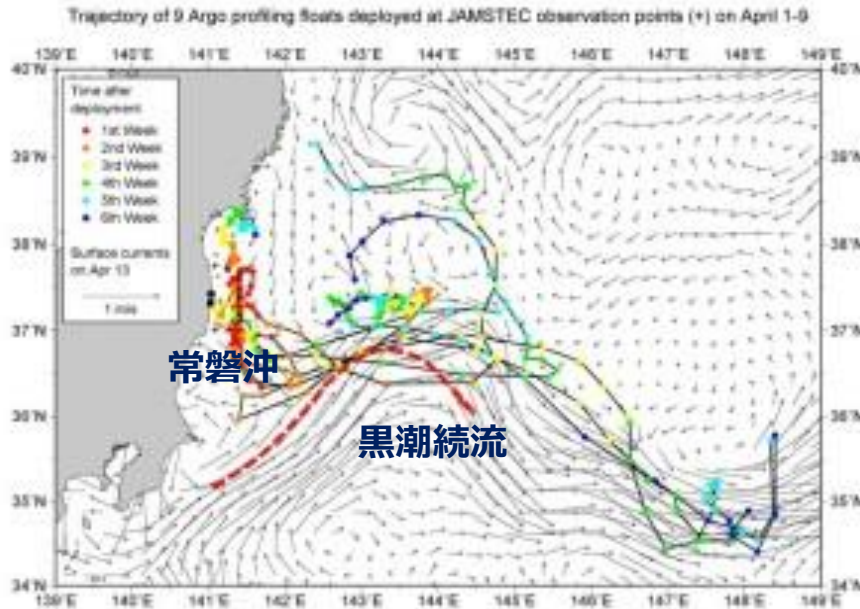
過去に観測されたデータの分析 (沖合～外洋)



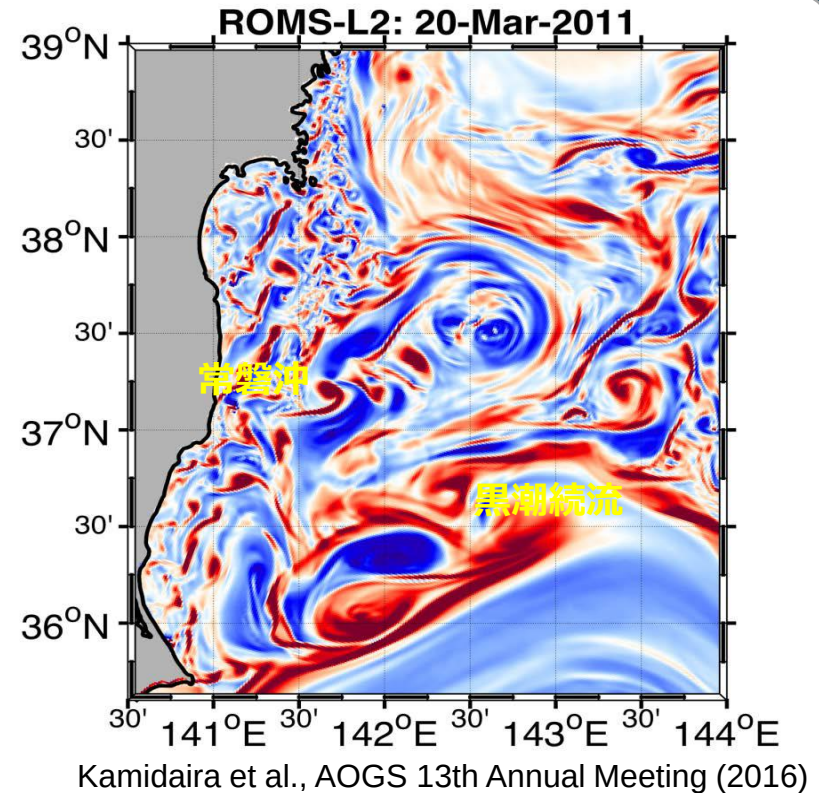
水島雅文ら, 海岸工学論文集, 41 巻 p. 316-320 (1994)

福島沿岸からの海水の動態については多くの知見が蓄積している

アルゴ・フロートの流跡と再解析流速場



海洋学会HP https://kaiyo-gakkai.jp/jos/archives/geje2011_artcl/1404



常磐沖

鉛直混合が大きい

深さ方向に混じりやすい(追記)

水平拡散が大きい

水平方向に拡がりやすい(追記)

水島雅文ら、海岸工学論文集 第41巻(1994)



黒潮続流

大きな流れに乗る

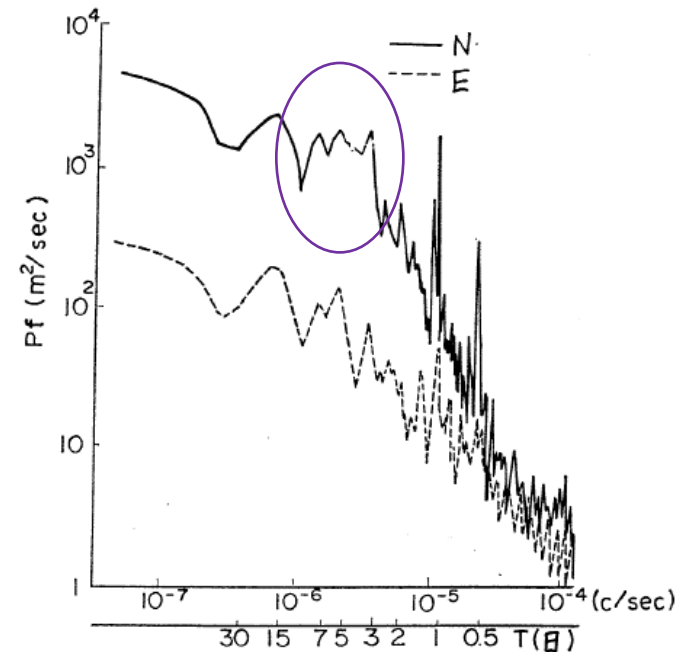
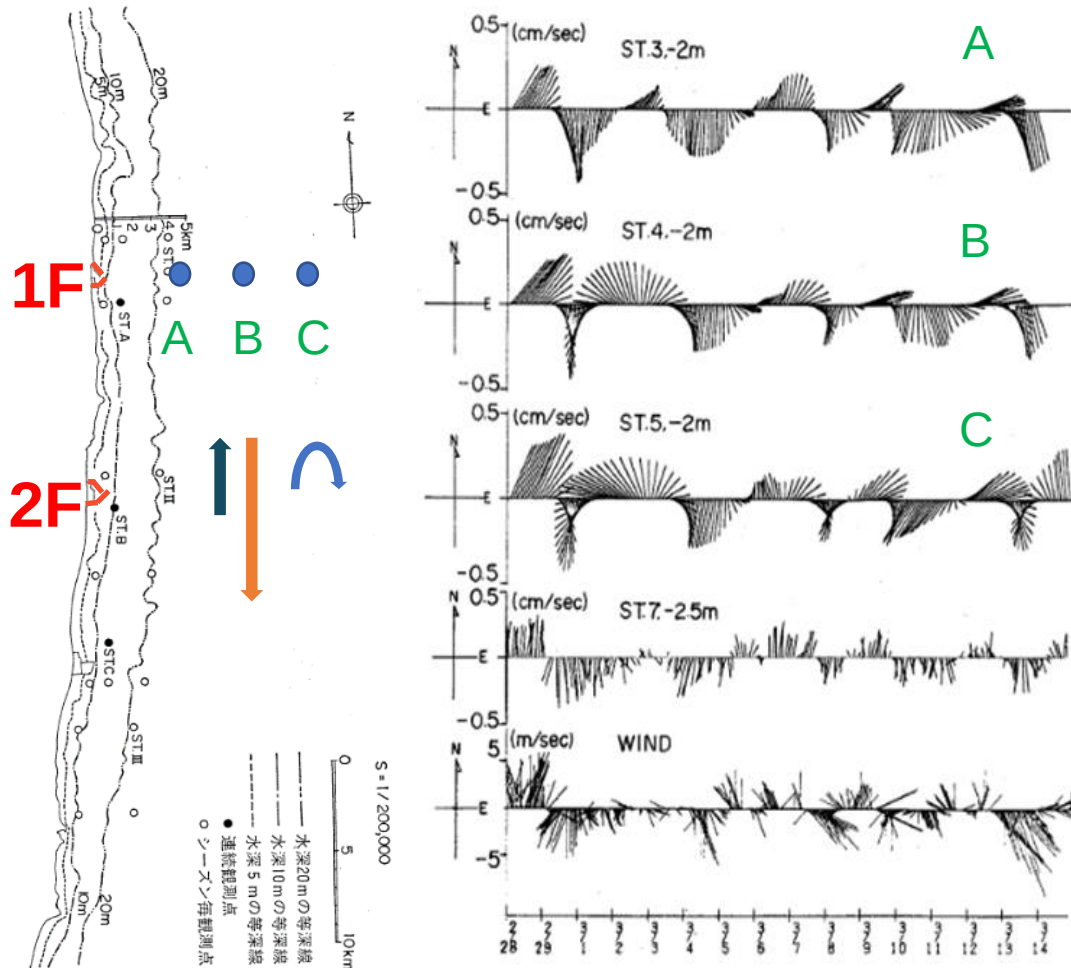
大きく拡がる(追記)

※放流初期：希釈・混合が自然に進むと考えられる

※放流数ヶ月後：広く希釈・拡散が進むと考えられる

過去に観測されたデータの分析 (沿岸)

流れ場（方向、強度）



和田明ら, 海岸工学講演会論文集,
29 巻 p. 589-593 (1982)

- ・ 3~5日ぐらいで北流と南流が転流する
流れの方向が南北で入れ替わる（追記）
- ・ 1年を通じて南流が支配的

水平・鉛直共に混合による自然の希釈効果が大きく滞留することは殆どないと推定

自然に広がり薄まる（追記）

1. 福島沿岸/沖合におけるトリチウム量

(一定のエリア)

現在、福島沖合のトリチウム海水濃度は、他の海域とほぼ同じ濃度（バックグラウンド）となっている。これを基に下記の推定結果を得た。

- ・ 放出管理目標値は福島沖合でのトリチウム存在量の1/11 (※) 程度

(一定のエリア)

(※) p9追記参照



⇒ 放出による福島沖合への影響は僅かと推定

- ・ 過去に核実験由来で放出管理目標値（1F貯留量）を遥かに上回る時期があった

⇒ 但し推定被ばく量は僅か（放出による被ばく量は更に小さいと推定）

2. 福島沿岸/沖合での海水による移流拡散の特徴

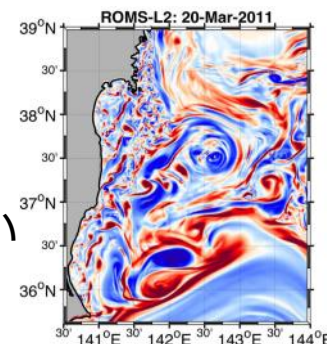
1 F事故前後の研究より凡その移流拡散の特徴が知られている。

- ・ 常磐沖から黒潮続流域までの大きな流れがある
- ・ 福島沿岸では3~5日間での北流・南流が転流し希釈混合性が高い

流れの方向が南北で入れ替わる（追記）

⇒ 沿岸等での局所的滞留が起こる可能性は殆どないと推定

自然に拡がり薄まる（追記）



Kamidaira et al., AOGS
13th Annual Meeting (2016)