

河口域でのセシウム動態シミュレーション：
動態を特徴づける要因は何か？

板倉充洋
日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター

河口域でのセシウム動態シミュレーション：動態を特徴づける要因は何か？

板倉充洋

日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター
〒277-0871 千葉県柏市若柴 178-4-4
itakura.mitsuhiro@jaea.go.jp

福島原発事故で放出された放射性セシウムのうち、除染困難な山林へ降下したものは土砂に吸着され、年に 0.5 パーセント程度が川へ流出して下流へ移動し、最終的に海に達すると推定されている。その一部は沿岸域に沈降し魚介類の放射能濃度に影響を与えるが、沿岸域では波浪・潮流等の多様な海洋現象が重畳するため、沿岸域でのセシウム吸着土砂の挙動を予測するには、それらの現象を考慮に入れたモデル開発と広範囲な実測が不可欠となる。そこで、セシウム移動が最も大きいと予測される福島県請戸川河口域について、現地調査等の結果とモデル計算に基づいて重点的に調査すべき海洋現象を選別した研究について発表する。

河口沿岸域で土砂の移動の原因となりうる海洋現象として、波浪、潮汐流、河川流、遠洋の海流、風由来の沿岸流などが考えられる。これらのうち、どれが主要な要因となるかは河川の規模や周囲の地形、対象とする地域の大さのスケールによって大きく異なることが分かる。チェルノブイリ、セラフィールドなど過去のいくつかの放射性セシウム放出事象についてはそれぞれ海洋でのインベントリ推移の研究が行われてきたが、事象ごとに条件が大きく異なるため、全く異なるモデル化が必要となる。福島原発の場合も、初期放出分についての太平洋全体での移動計算や、一級河川の河口での土砂の移動などの研究例があったが、今後のセシウム移動予測で重要となるのは高濃度汚染地域を上流域に持つ幅 2 メートル程度の中小河川群となり、その河口域でどのような海洋現象が支配的になるかを同定する必要がある。

本研究では計算に必要な現地の地形や風速、海流、潮汐差といった各種データを入手し、各々の海洋現象が土砂移動に与える影響について個別に適切なモデルを設定してシミュレーションを行い、その度合いを評価した。その結果、波浪と風由来の沿岸流、そして河川の流量のみが土砂の移動に支配的であり、その他の現象は無視できることを見出した。現地調査では、放射能濃度の高いシルトは海底の岩場と砂が多い海底の間にある段差の部分に局在していることが分かっている。今後の重要課題は、そのようなシルトが時間とともにどのように移動するかを実測とシミュレーションの両面から予測し、沿岸における放射性セシウムの環境半減期を推定することである。

河口域でのセシウム動態シミュレーション： 動態を特徴づける要因は何か？

原子力機構 システム計算科学センター 板倉充洋

- 福島長期環境動態研究(F-TRACE プロジェクト)
- 沿岸と魚の放射能濃度の現状
- 長期予測のためのシミュレーション

第26回CCSEワークショップ
(2015-02-26)

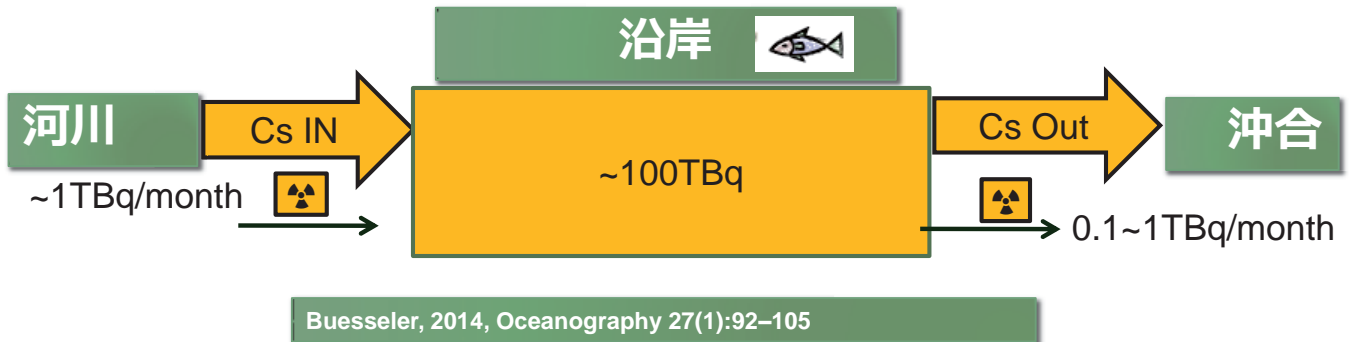
福島長期環境動態研究プロジェクト 一概要

目的

- 放射性セシウムの移動データを取得し、移動予測モデルを開発する。
- 放射性セシウムの移動による被ばく線量の変化を推定する。
- 被ばく線量低減に有効な移動抑制等の対策を提案する。



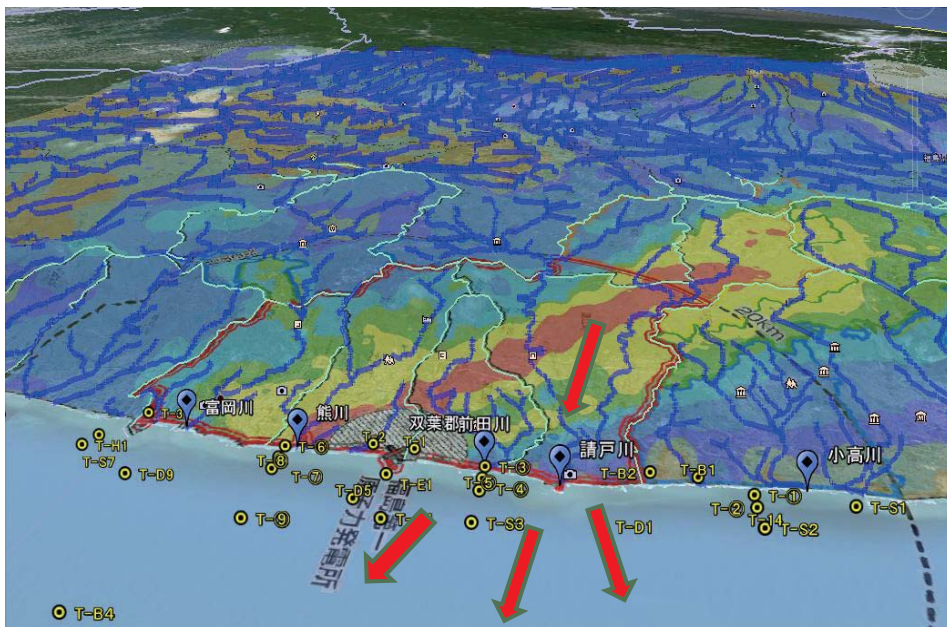
- 福島沿岸、試験操業で得られる魚の放射能濃度は徐々に減少の傾向（ただし、ばらつきも大きい）
- 風評被害0を目指すなら、食用でない魚を含めての最高値が基準値以下になる必要
- 沿岸でのCsの環境半減期と魚の生物半減期を評価する必要
- 流入・流出の収支によっては環境半減期が長くなる可能性がある（年間変化：90%～110%）



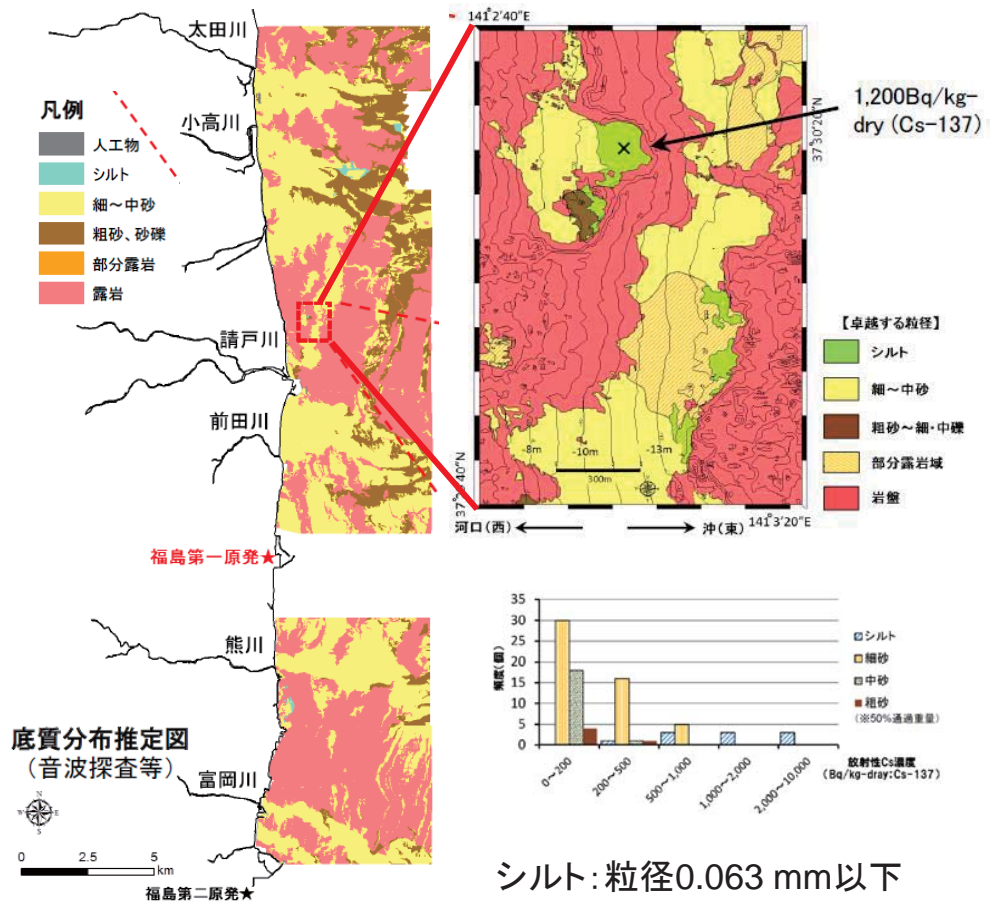
河川の状況

- 高濃度フォールアウト地区を上流域に持つ河川はいずれも幅数メートル、流量10m³/s程度の中小河川
- 請戸川、熊川、小高川、前田川、富岡川を対象に実測・解析を行う

- 河口付近の河川敷などで線量が周囲より高くなる場所がある
- 沿岸域の海底土で散発的に高い放射能濃度が観測されている（最大で数千Bq/kg）



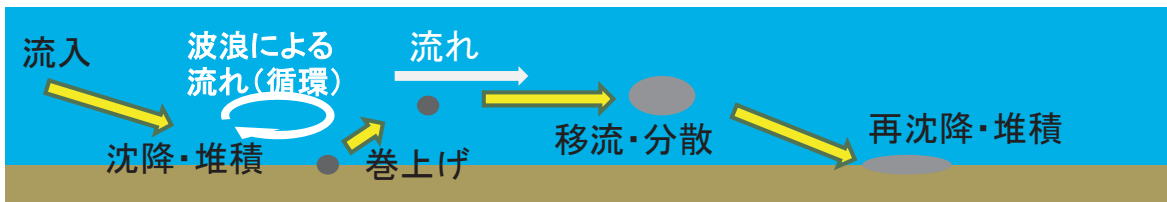
- 砂より細かいシルト・粘土にCsが吸着しやすく、放射能濃度が高いことが調査・実験で分かっている
- 海水のイオン交換で0.2%/day程度の速度で溶出するが何割かは吸着したまま
- 海水中溶存Cs濃度は低い
- 沿岸でも1000Bq/kgを超えるのはシルトのみ。シルトの分布は局所的。
- **Csの動態=シルトの動態、と考えてよい**



必要とされるシミュレーション

Csの動態=シルトの動態

- 河口から放出されたシルトはどのエリアに沈降する？
- 沈降した後、どの程度移動する？ (時間、空間スケール)



解析した海洋現象

全てが重要とは限らない。調査の効率化のためにも無視できる要素を確定することが重要

海洋現象	計算コード	入力データ	巻き上げ	移流・分散
河川流	ROMS	(海底地形)、河川流量	小	初期のみ大
潮汐流	自作	海底地形、潮汐差	小	小
波浪	SWAN	海底地形、風速・風向	大	小
風による沿岸流	ROMS	海底地形、風速・風向	中	大

海洋計算コード

“ROMS”: <http://www.myroms.org>
オープンソースの地域海洋モデル

波浪計算コード

“SWAN”: <http://www.swan.tudelft.nl>
オープンソースの第三世代波浪推算モデル

大規模河川の河口 (阿武隈川)

幅数百m, 深さ1~3m程度
平均流量100m³/s程度



複雑!

- ◆ 海水と真水の段階的な混合による汽水域
- ◆ 潮汐により河川部にも海水が侵入

請戸川河口

砂州に掘られた幅数m, 深さ数十cmの部分から海へ流出。
平均流量は10m³/s程度

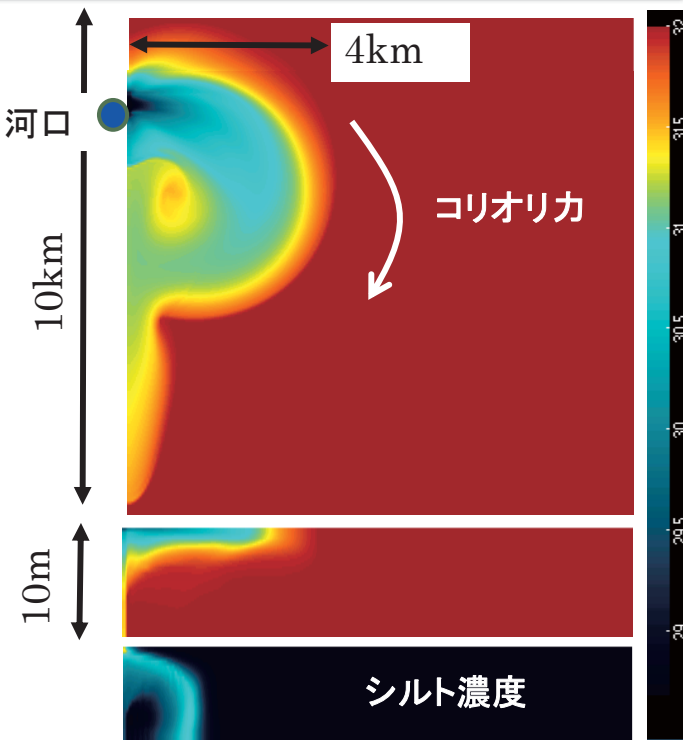


単純!

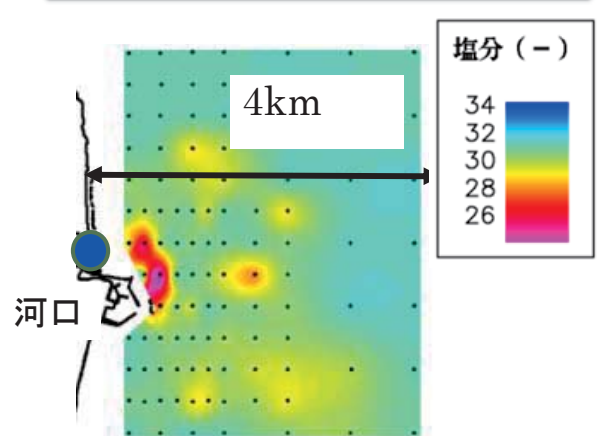
- ◆ 川から海へ水が直接流出
- ◆ 満潮時でも海から川への海水の流入はない
- ◆ 真水は軽いので海面のみ流れの影響をうける

河川流: 計算結果

計算結果: 河口周辺の塩分濃度分布 (PSU)

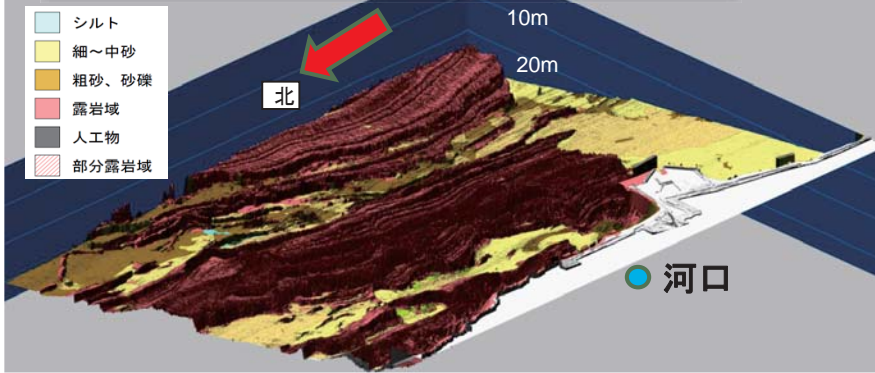


請戸河口、塩分濃度実測結果



- 計算条件: 流量10m³/s 50m mesh
- シルト粒径 0.01~0.001mm
- 沈降速度 0.09~0.0009 mm/s
- 真水は軽いため表層2m程度から下がらない。深度に無関係。4km程度の範囲で塩分濃度が変化。実測と一致。
- シルトは真水の層にいる間だけ移流、2km程度の範囲に沈降
- メッシュサイズに結果は依存せず。**流量だけが重要**

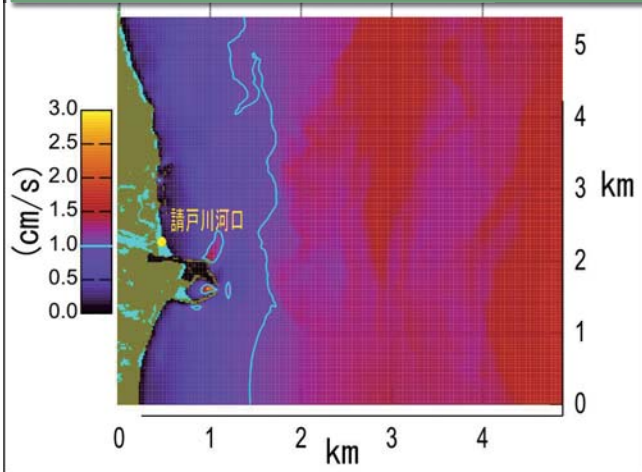
入力：河口付近2mメッシュ深度データ



潮汐差は1mを仮定
(近隣の小名浜漁港での標準的な値)

$\text{Div}(\text{流れ場} * \text{深度}) = \text{const}$
を解いて流れ場を計算

計算結果： 潮汐流の速度分布



- 入江などがないため最大でも1cm/s程度。
- 漁港入口で若干速いのみ
- 海流実測値の12時間周期成分の計算とも一致
- 潮汐は無視できる

波浪

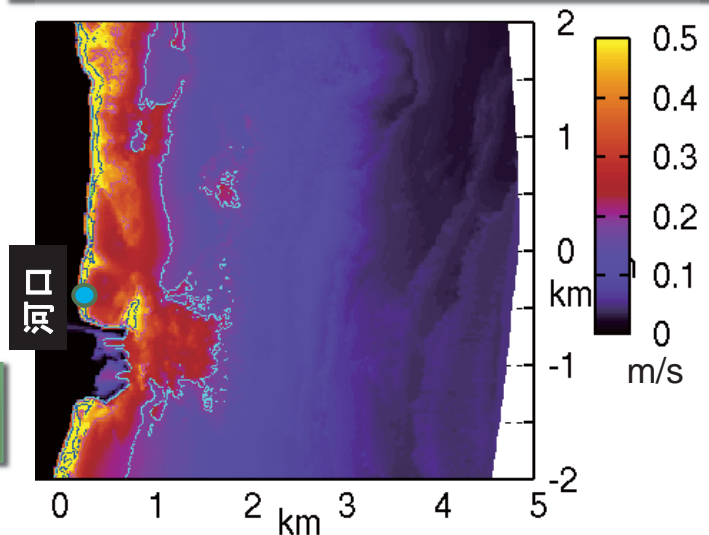
波浪による流れ(循環)



- 波浪はその場で循環する流れ場を作り出す。
- 堆積したシルトを巻き上げる効果はあるが、移流させる効果はない(ただし海面付近ではStokes driftにより陸側へ移動)。
- 巻き上げの強さは流速(軌道流速)で評価できる。

計算条件：西向きの風 10m/s
400x400 mesh

SWANによる計算結果： 海底での軌道流速



•沖合2km程度まで巻き上げが起こる可能性がある

もっと強い波の場合、非線形性でいろいろなことが起こるが、評価は難しい

比較用海流実測データ(10秒mesh)

https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN2/kaisyo/cr/haramachi/haramachi_t.pdf

入力用深度データ(500m mesh)

海上保安庁海洋情報部海洋情報課 / 日本海洋データセンター

http://www.jodc.go.jp/data_set/jodc/jegg_intr_o_j.html

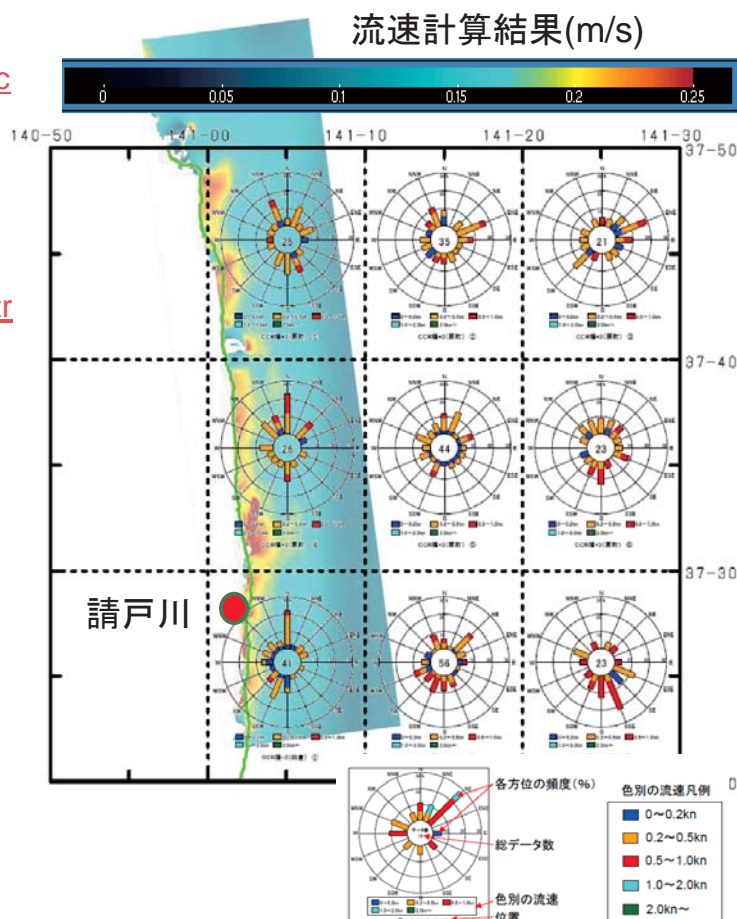
入力用陸地データ(5m mesh)

<http://fgd.gsi.go.jp/download/>

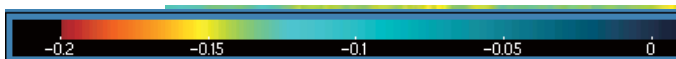
ROMS 計算条件: 風速一様、北向き8m
200m mesh

•浅い方が0.25m/s (0.5kn)程度のエリアが多い点で計算と実測が一致。

•流速としては他の現象より大きい

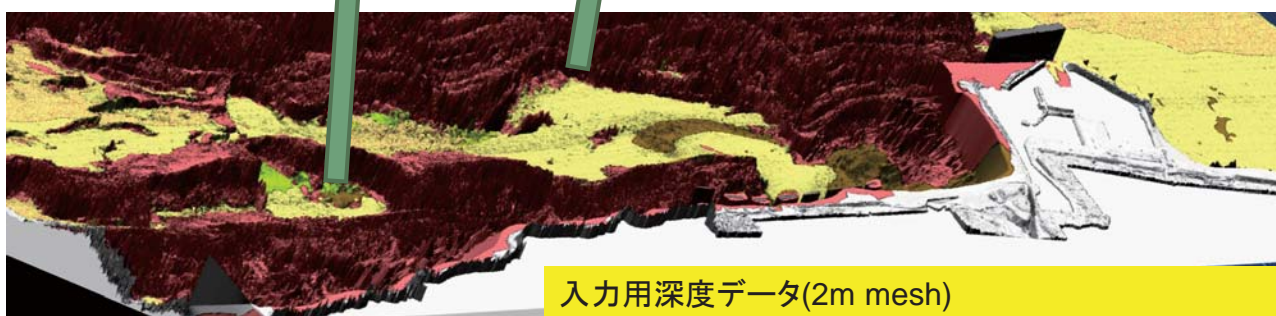
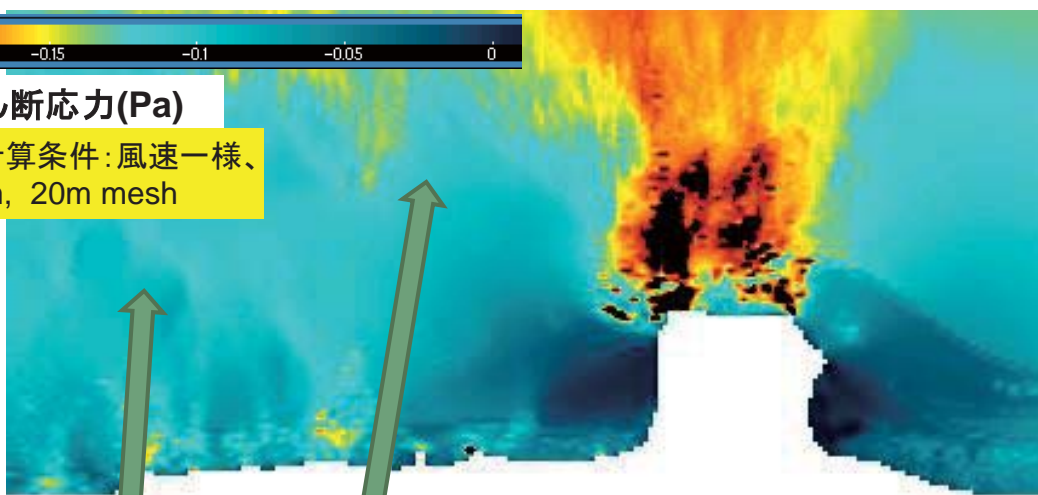


風による沿岸流2



底面せん断応力(Pa)

ROMS 計算条件: 風速一様、北向き8m, 20m mesh



段差の低い側で流速が低下。シルトのある場所と一致している。

沿岸域での放射性Csの動態 = シルトの動態を決定しているのは以下の現象

- 河川の流量に依存して初期の沈降エリアが決まる。
- 波浪および沿岸流により堆積したシルトが再浮遊
- 風による沿岸流により浮遊シルトが移流

沿岸域でのCs収支予測に必要なこと :

- 特にシルト供給量の多い台風イベント時の放出シルトの挙動 (2011台風では請戸川の流量は通常100倍程度)
- 堆積したシルトが再浮遊するまでの時間スケールを見積もる
- 再浮遊、再堆積する間に移動する空間スケールを見積もる