

# 海洋の輸送拡散シミュレーションを用いた $^{137}\text{Cs}$ の直接漏洩量の推定

津旨 大輔・坪野 考樹

(財)電力中央研究所

青山 道夫・廣瀬 勝巳

気象研究所・上智大学

Thanks to

池田 元美、植松 光夫、前田 義明、三角 和弘、田口 富貴子、丹羽 亮介  
日本海洋学会震災対応WG 数値モデリングSWG

# これまでの報告

## 論文

- Tsumune, D., T. Tsubono, M. Aoyama and K. Hirose, 2012. Distribution of oceanic  $^{137}\text{Cs}$  from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model, Journal of Environmental Radioactivity, 10.1016/j.jenvrad.2011.10.007, in press.

## 報告書

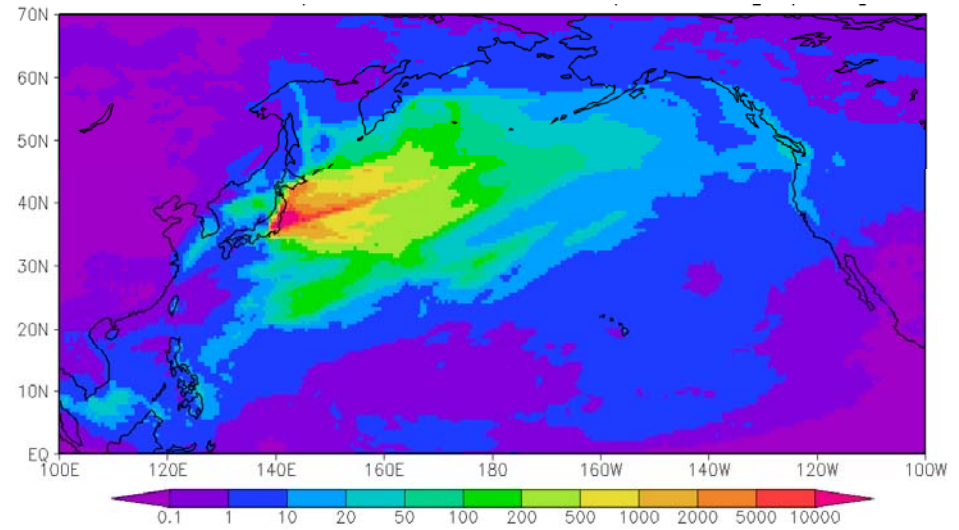
- 津旨 大輔、坪野 考樹、青山 道夫、廣瀬 勝巳、2011. 福島第一原子力発電所から漏洩した $^{137}\text{Cs}$ の海洋拡散シミュレーション、電力中央研究所報告書、2011/11, V11002.

## 口頭発表

- 国際化学分析会議(ICAS'2011) 京都 (2011/5/23)
- 日本海洋学会秋季大会 福岡 (2011/9/28)
- 日本海洋理工学会 京都 (2011/10/17)
- 電力中央研究所 震災対応報告会 (2011/11/10)
- Ocean Science Meeting, Fukushima session, Salt Lake City (2012/2/22)

# 想定される海洋への供給経路

- 大気からの降下
- 直接漏洩
- 敷地に降下後、降雨による流出
- 河川からの供給
- 地下水からの供給
- 低レベル汚染水の計画放出



大気からの降下のシミュレーション結果  
 $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) (Aoyama et al., submitted)



$^{137}\text{Cs}$  :  $2\text{E}+12 \text{ Bq/m}^3$

東京電力プレスリリース

# 目的

- 観測された $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比の分析によって、大気からの降下と直接漏洩の影響を区別する。
- 輸送拡散シミュレーション結果と観測値を比較することによって、 $^{137}\text{Cs}$ の直接漏洩シナリオおよび漏洩量を推定する。
- 福島沖における $^{137}\text{Cs}$ 分布の再現シミュレーションを行い、観測結果と比較することによって、実態把握に資する。

# 観測地点

- 東京電力

- 福島第一原子力発電所  
近傍 (1F NPP)

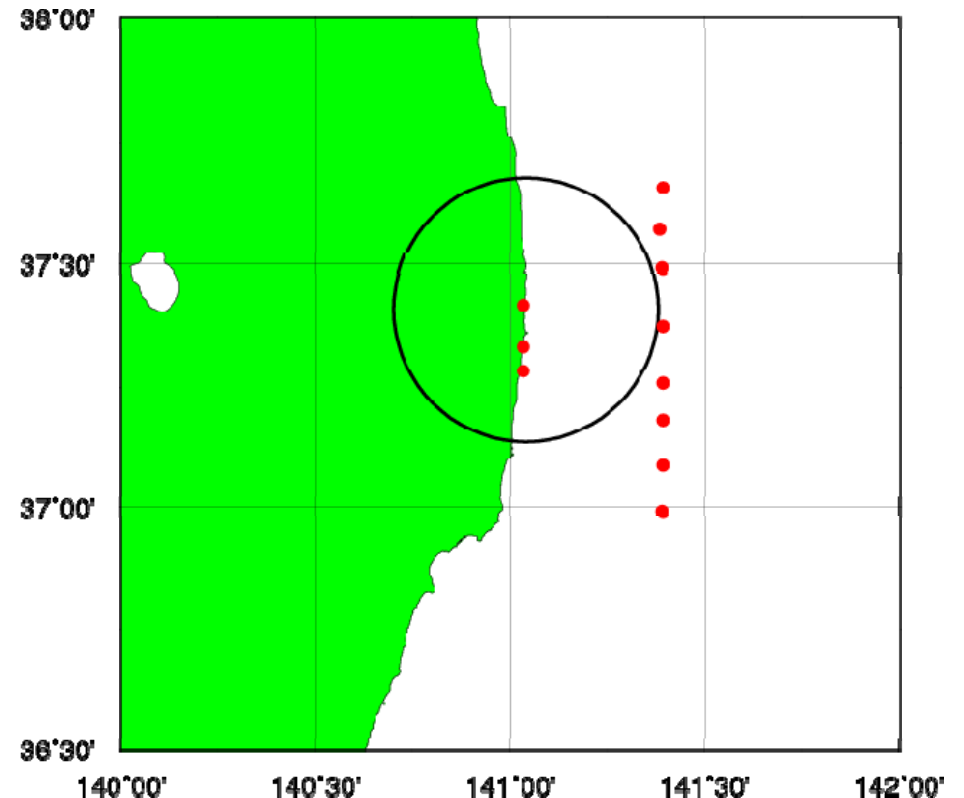
- 5-6 放水口
- 南放水口

- 福島第二原子力発電所  
近傍 (2F NPP)

- 北放水口
- 岩沢海岸

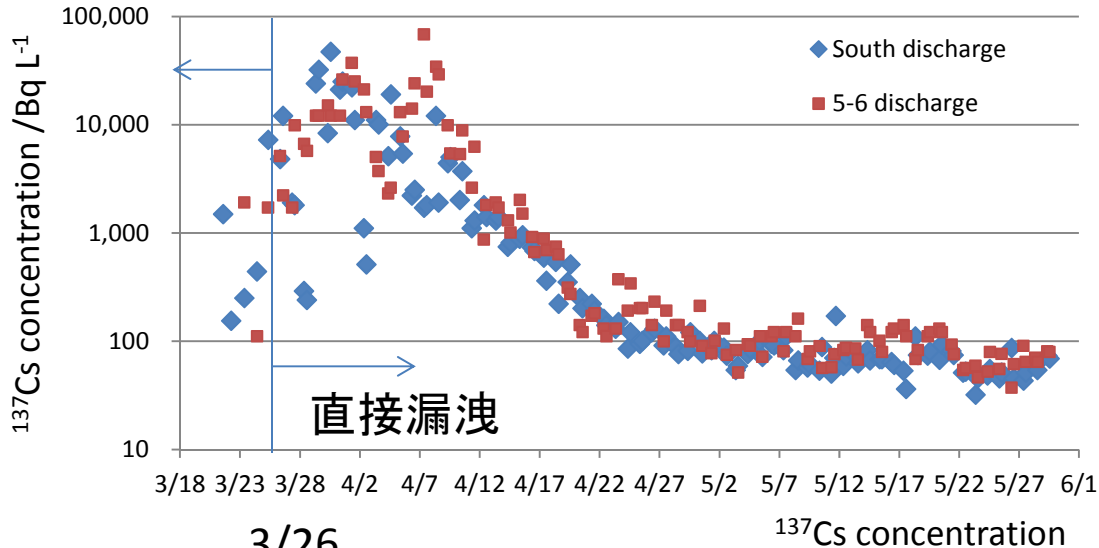
- 文部科学省

- 30km沖合い



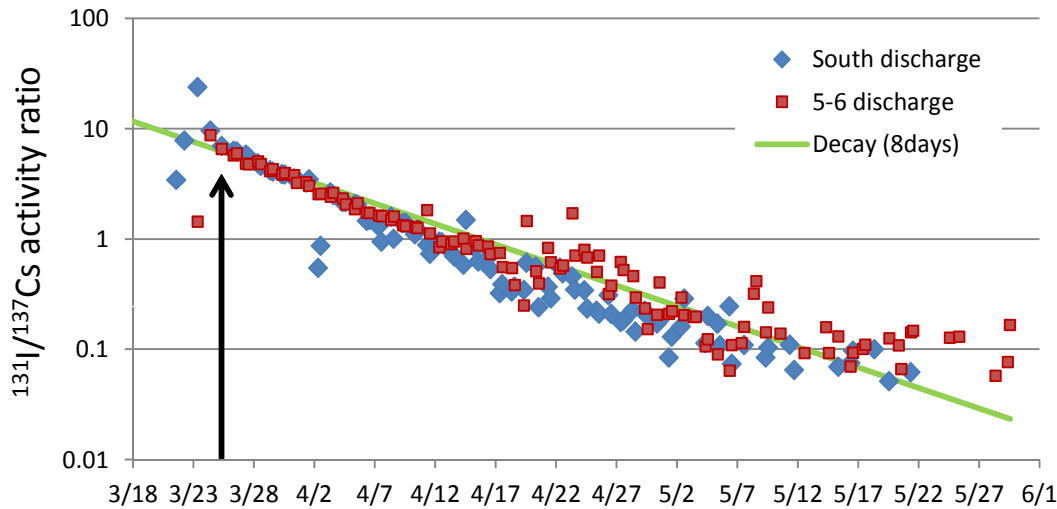
# 1F NPPの観測結果

大気からの降下



3/26

$^{137}\text{Cs}$  concentration



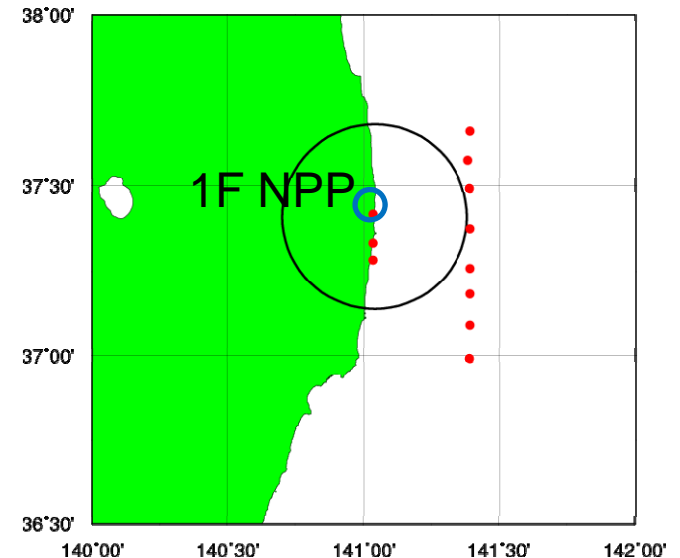
3/26における2号機タービン建屋溜まり水の  
 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は5.7

- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比による“大気からの降下”と“直接漏洩”の影響の区別

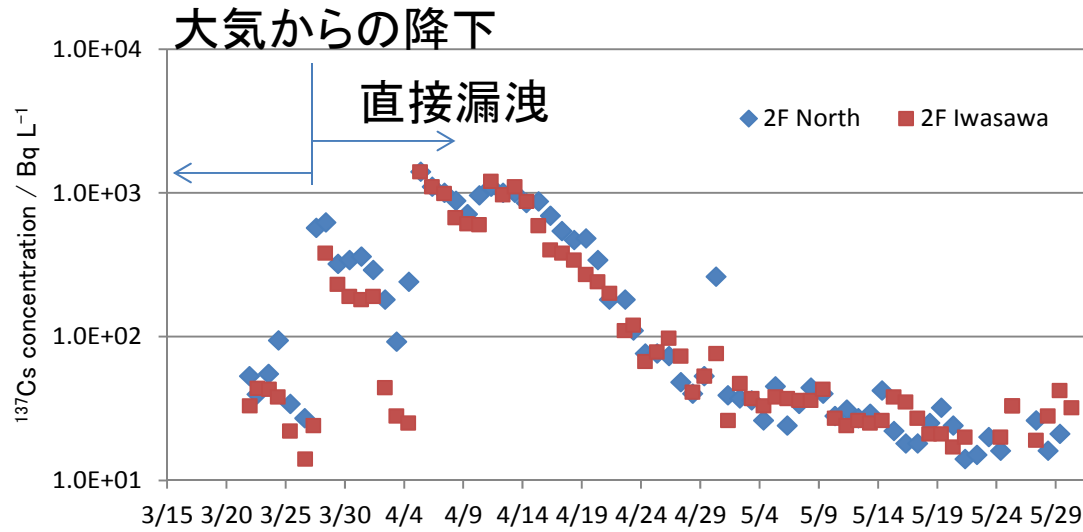
$^{137}\text{Cs}$  : 粒子態

$^{131}\text{I}$  : ガス態、粒子態

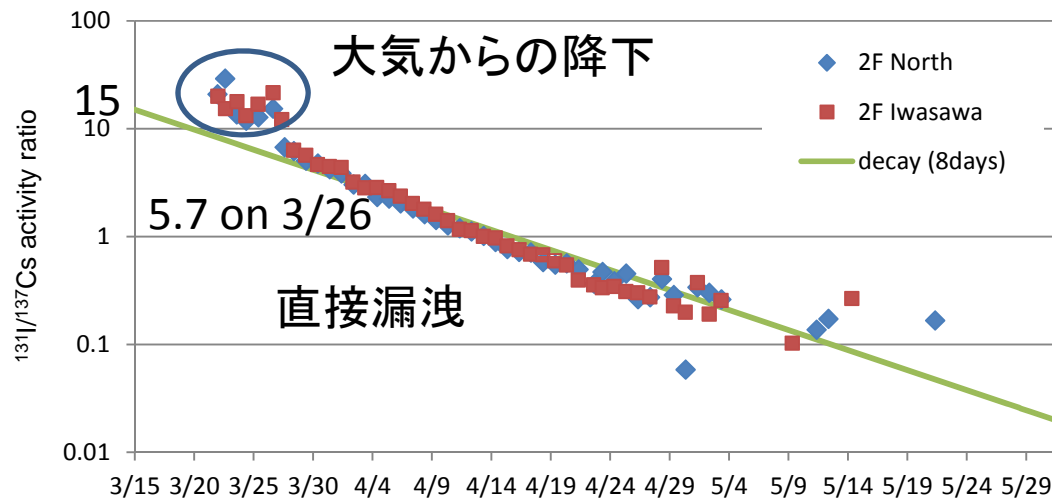
- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は大気からの降下過程において変動する



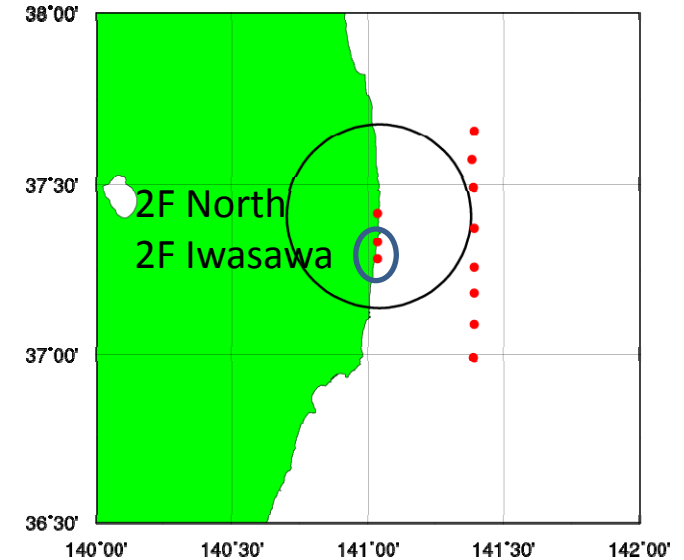
# 2F NPPの観測結果



$^{137}\text{Cs}$  concentration at the north discharge canals and Iwasawa coast near 2F



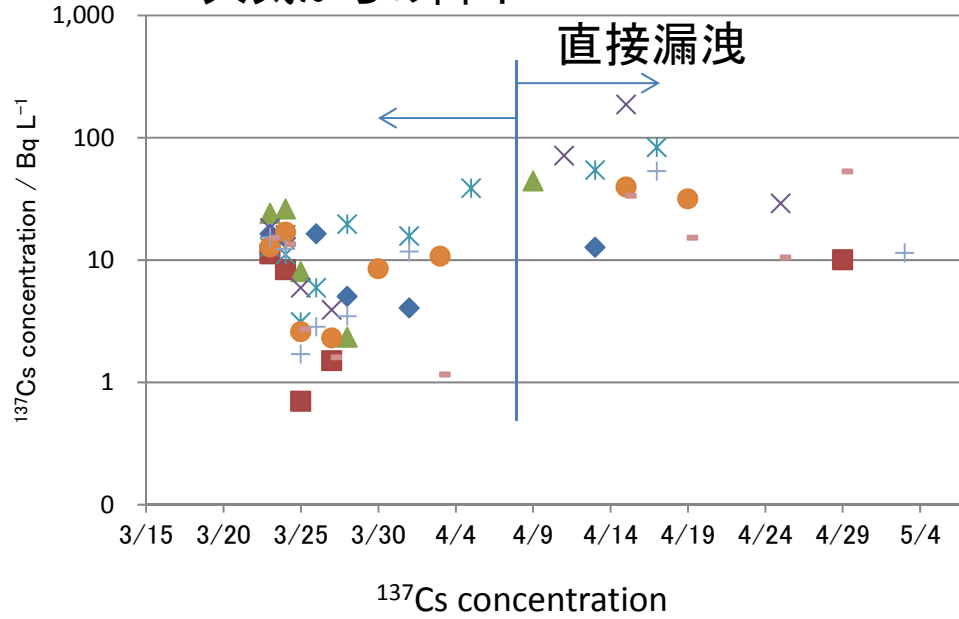
$^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  ratio at the north discharge canals and Iwasawa coast near 2F



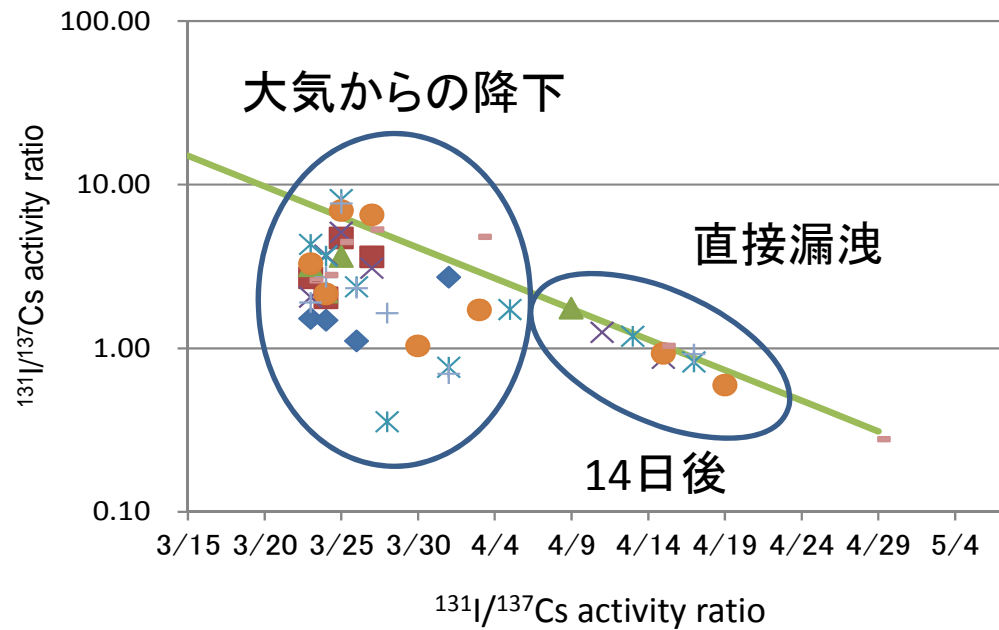
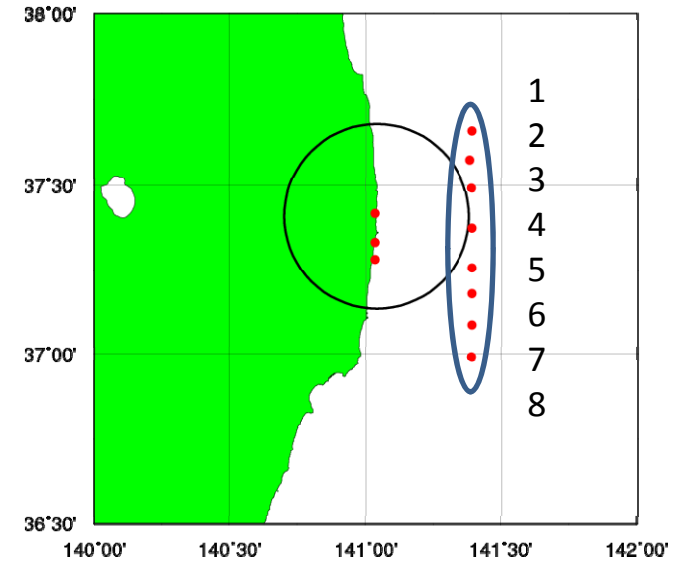
直接漏洩は3/26に  
開始

# 30km沖合い

大気からの降下



- ◆ 1
- 2
- ▲ 3
- × 4
- \* 5
- 6
- + 7
- 8

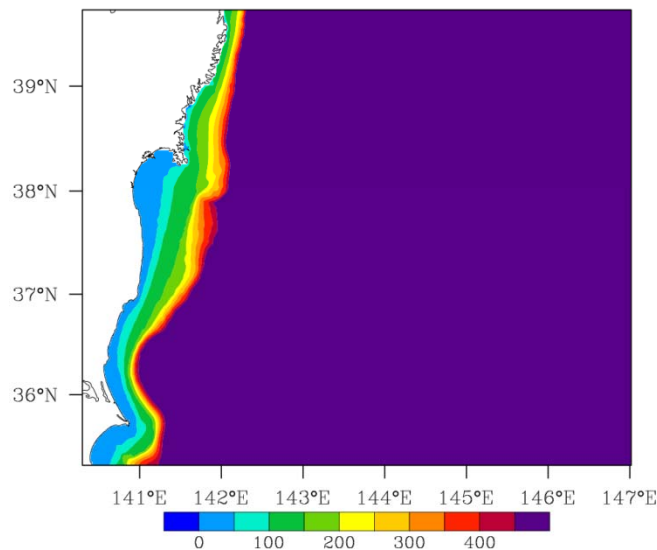


- ◆ 1
- 2
- ▲ 3
- × 4
- \* 5
- 6
- + 7
- 8
- decay (8days)

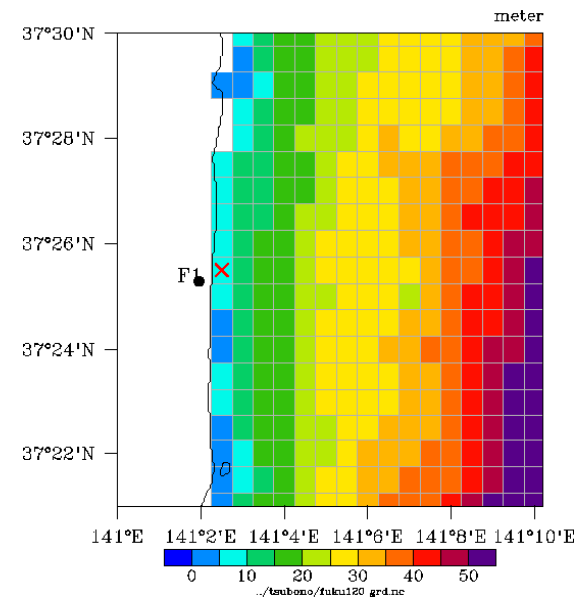


# 領域海洋モデル

- Regional Ocean Modeling system (ROMS)
- 水平解像度: 1km x 1km, 鉛直20層(s座標), 最大水深: 500m
- 駆動力: メソスケール気象モデル(5km x 5km) (NuWFAS based on WRF) 、気象庁全球予測モデル(JMA-GSM)の結果を内挿
- 境界条件 (JCOPE2 <- HYCOM)
- ナッジング (水温、塩分) (JCOPE2 <- HYCOM)
- 2011/3/26 – 2011/5/31
- 直接漏洩のみ
- $^{137}\text{Cs}$  (Passive tracer)

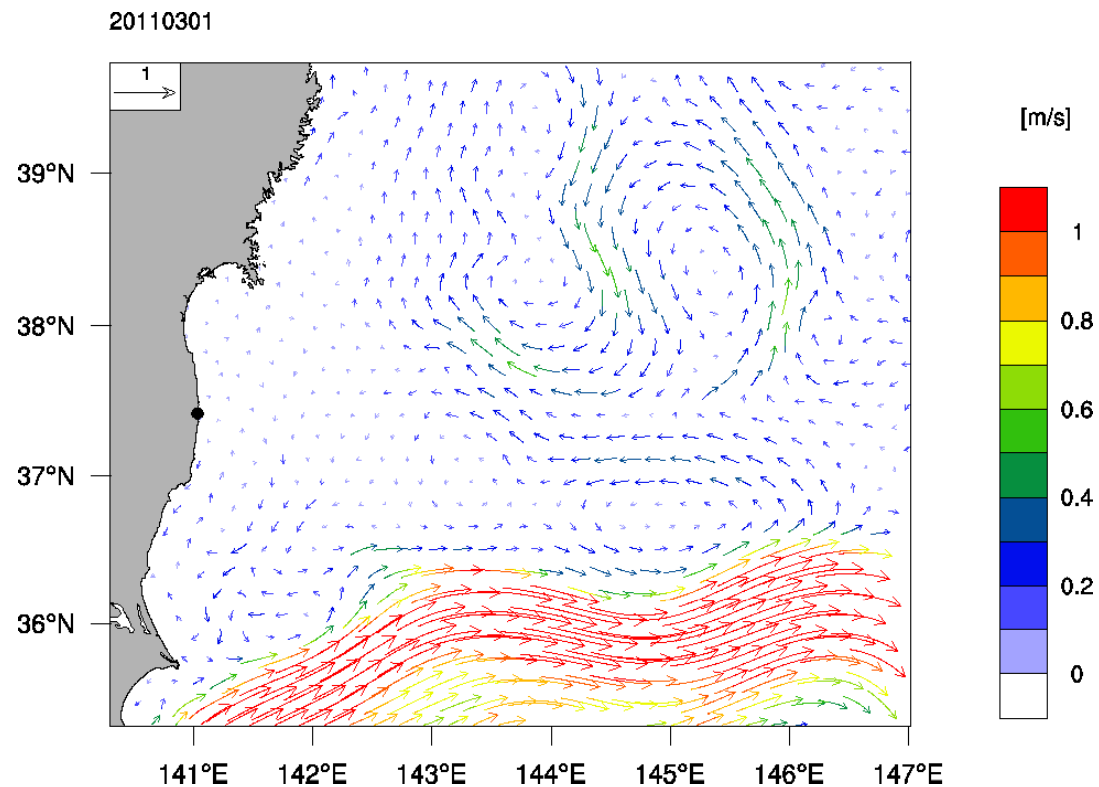
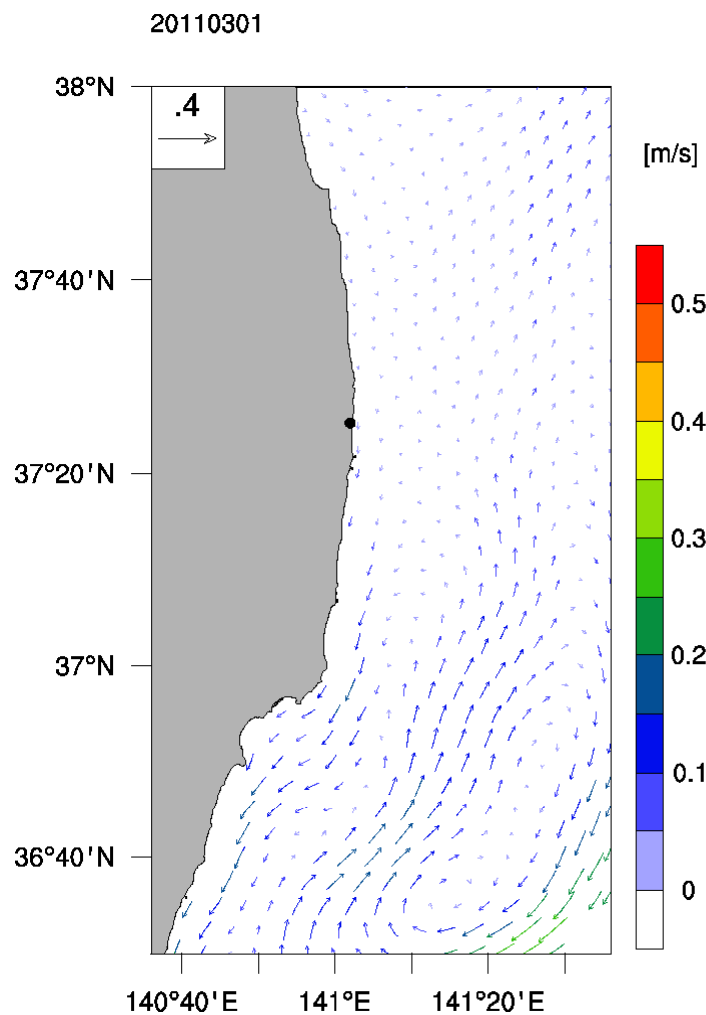


計算領域と  
水深分布



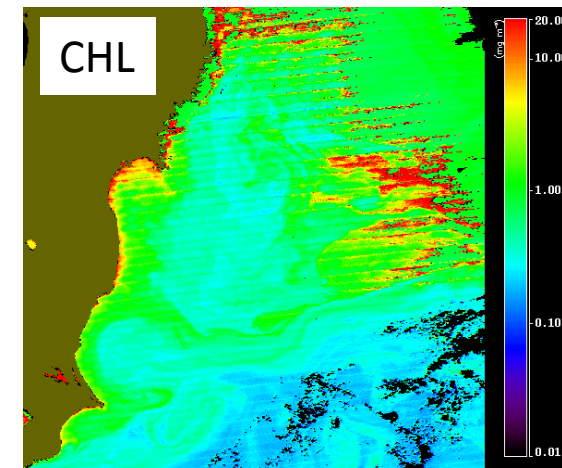
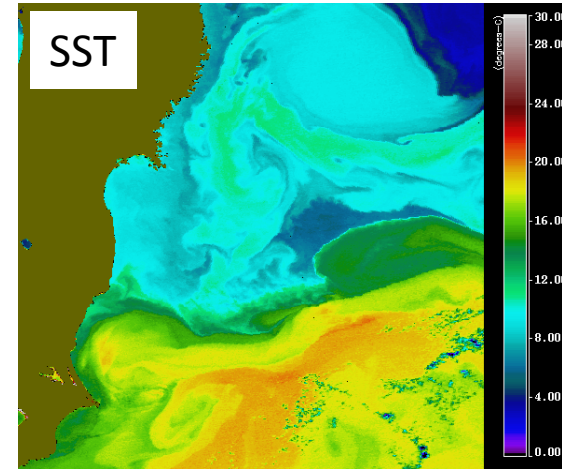
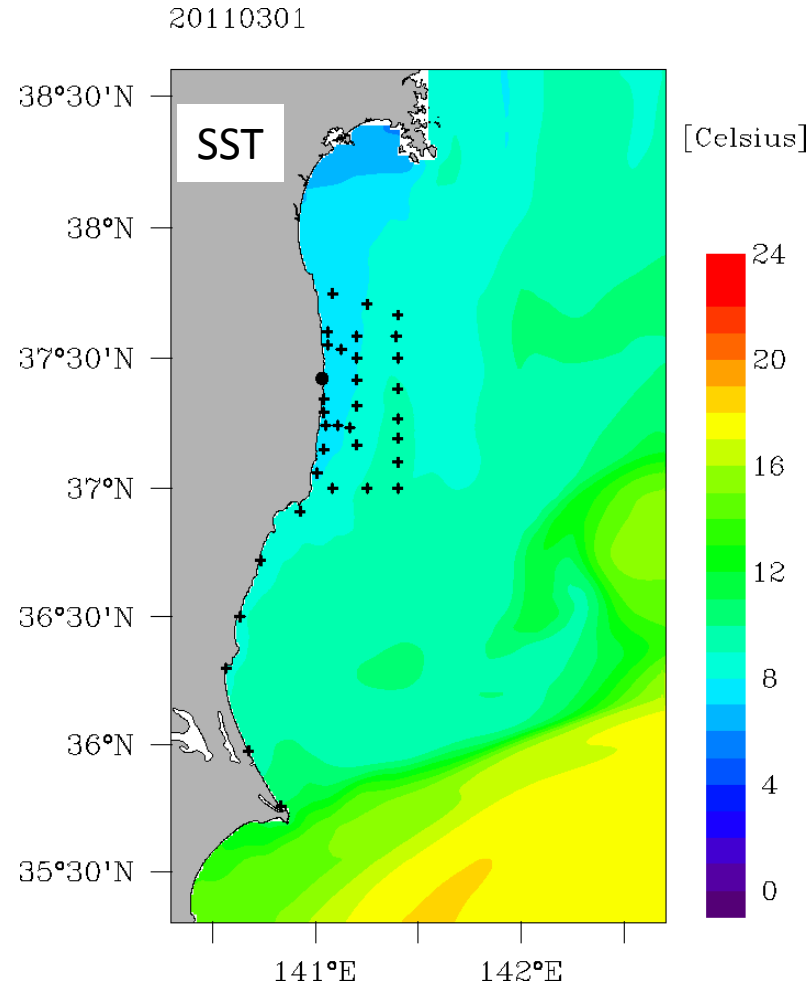
放出地点と  
水深分布

# 流速ベクトル



- 沿岸域では風応力により、南北流成分が卓越しており、3-4周期で変動している
- 潮汐成分は小さい
- 過去の観測結果(中村、1990)と整合

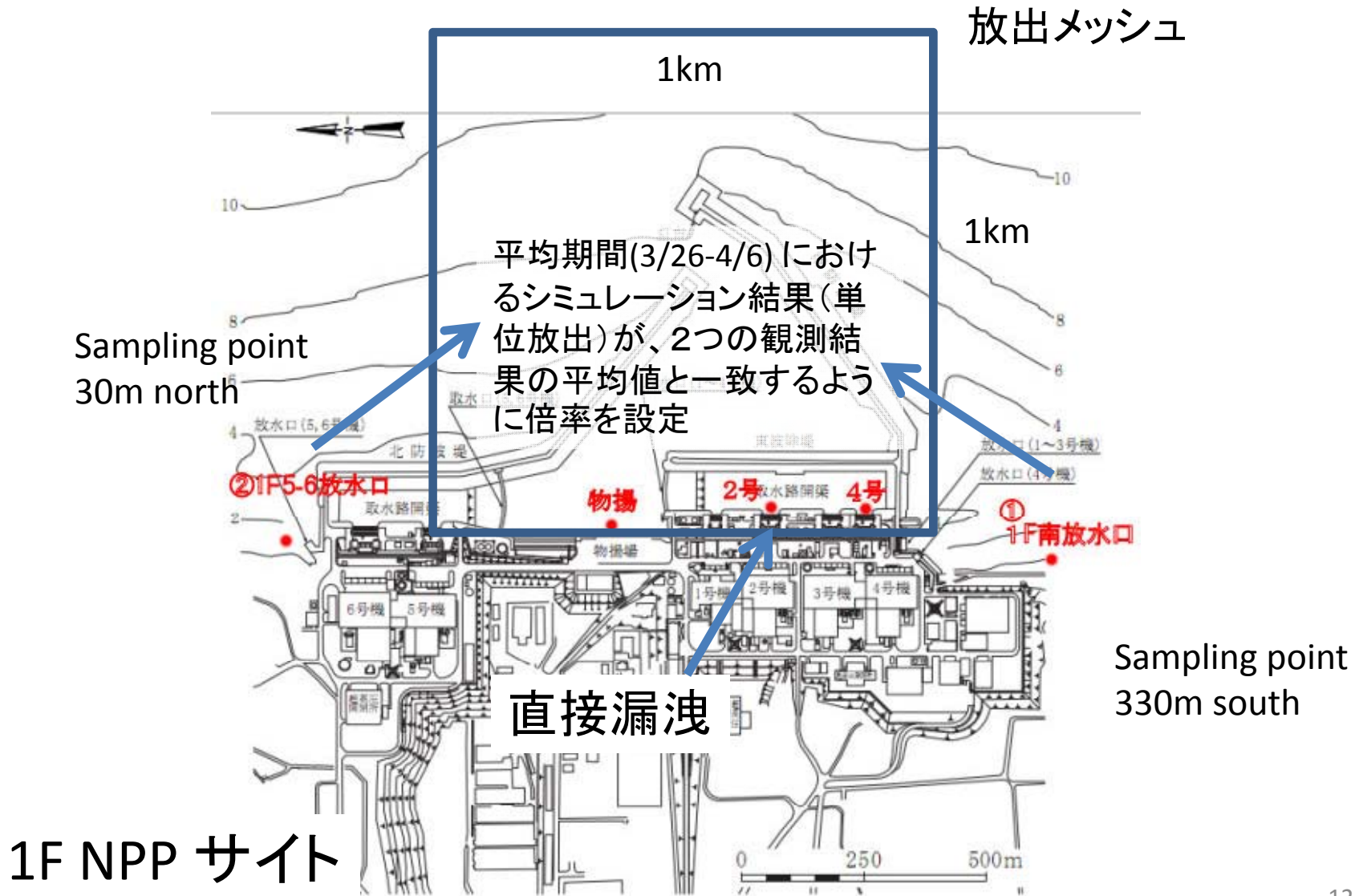
# 表層水温(SST)



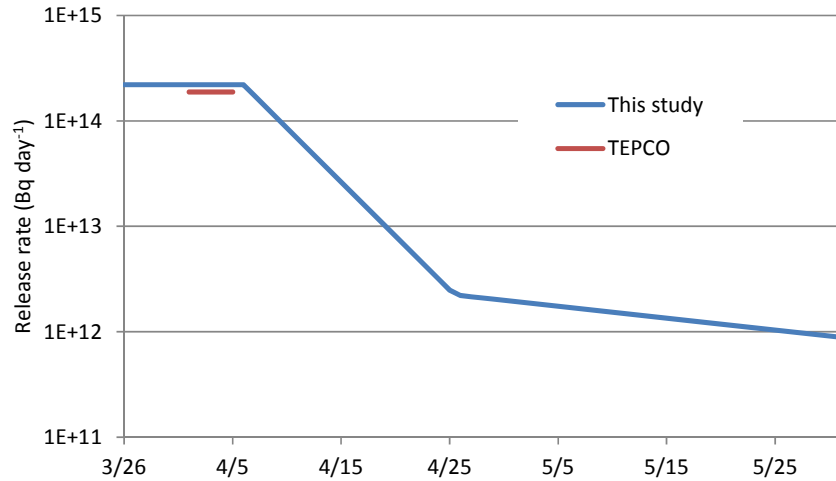
中規模渦が物質の外洋への輸送に支配的な役割を果たしている

SST and CHL on 4/14  
(Courtesy of Prof. Uematsu,  
Prof. Toratani)

# 直接漏洩量の推定方法



# $^{137}\text{Cs}$ の直接漏洩量の推定結果



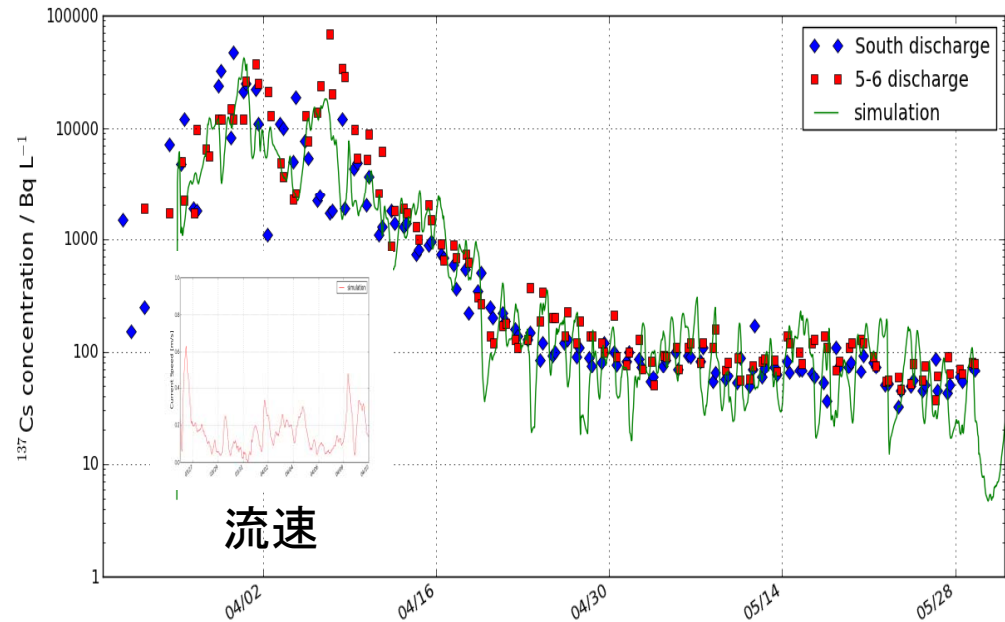
Released scenario

指数関数的な減少を考慮

5月末までで3.5PBq

(4/1 noon – 4/6 noon : 1.1 PBq)

東京電力(4/1 noon – 4/6 noon : 0.94PBq)

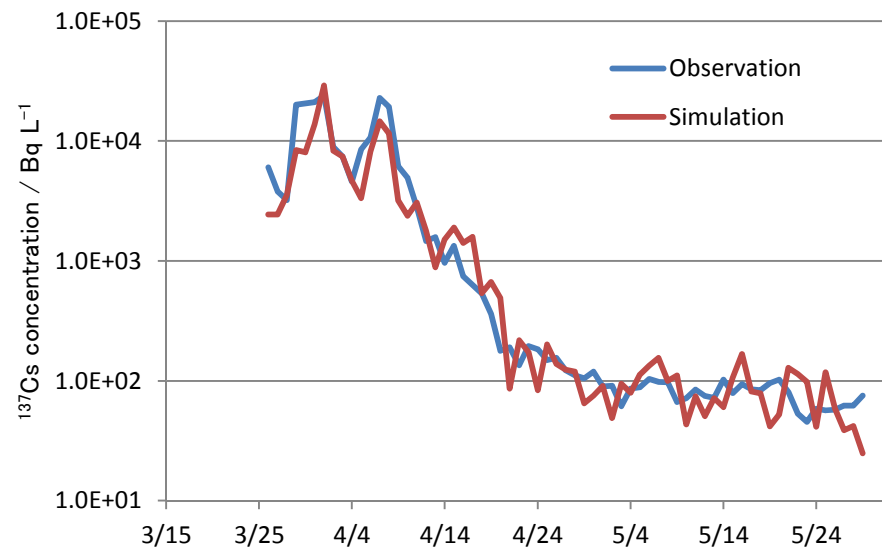


1F NPPにおけるシミュレーション結果と観測結果の比較

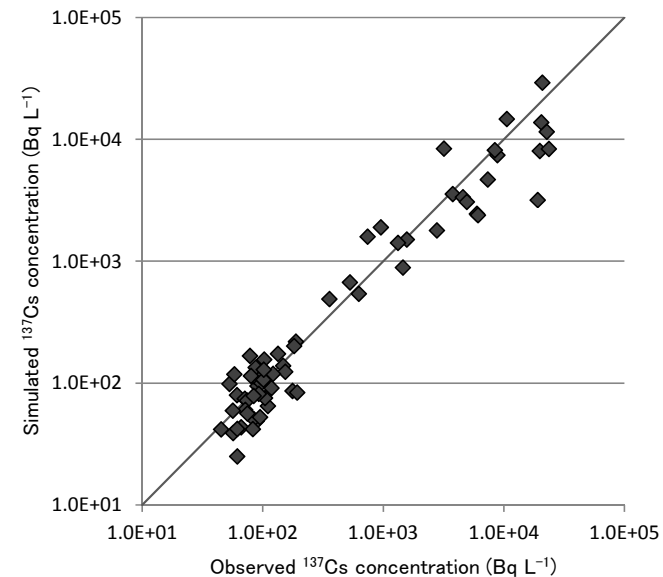
Term	3/26-4/6	4/7-4/26	4/27-5/31
Assumption	Constant	Exponential decrease	Exponential decrease
Rate (Bq/day) (t : days)	2.2E+14	$2.2\text{E}+14 e^{(-0.236t)}$	$2.2\text{E}+12 e^{(-0.026t)}$

# $^{137}\text{Cs}$ の直接漏洩量の推定結果

Term	3/26-4/6 (12 Days)	4/7-4/26	4/27-5/31	Total (3/26-5/31)
Rate (Bq/day) (t : days)	2.2E+14	$2.2\text{E}+14 e^{-0.236t}$	$2.2\text{E}+12 e^{-0.026t}$	
Released amount (PBq)	2.6	0.82	0.05	<b><math>3.5 \pm 0.7</math></b>

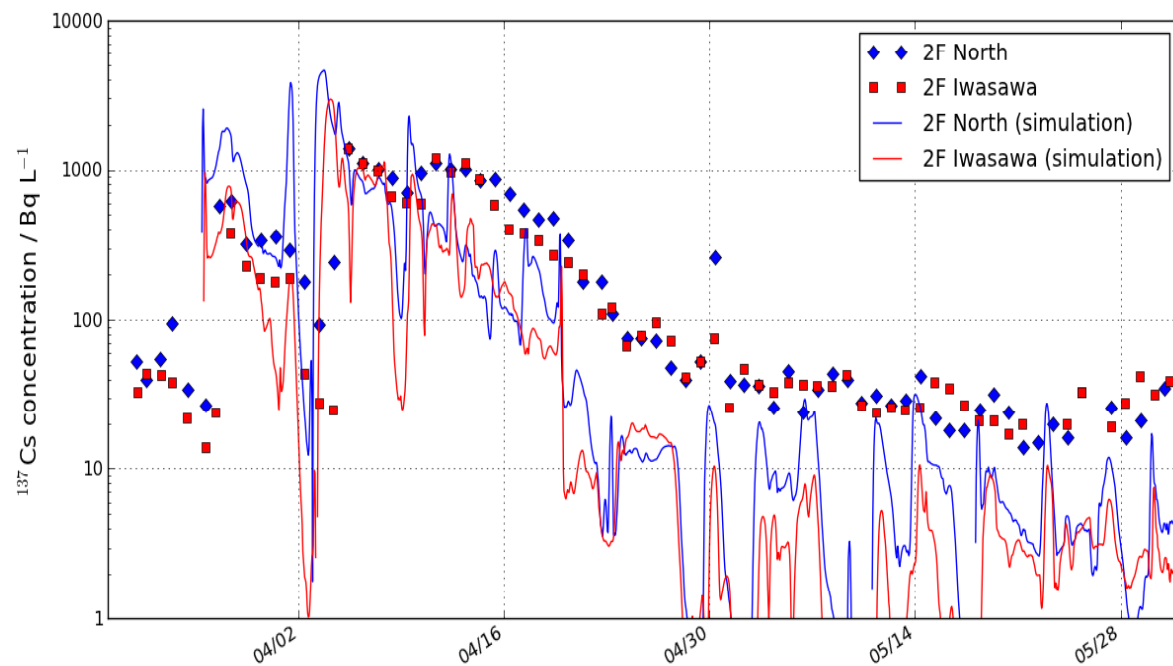


1F NPPの日平均濃度のシミュレーション  
結果と観測結果の比較

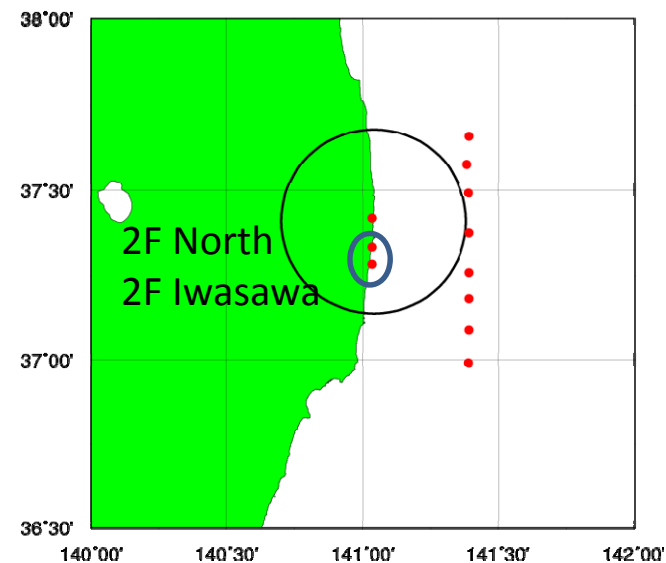


比較による誤差の見積もり

# 2F NPPにおける比較



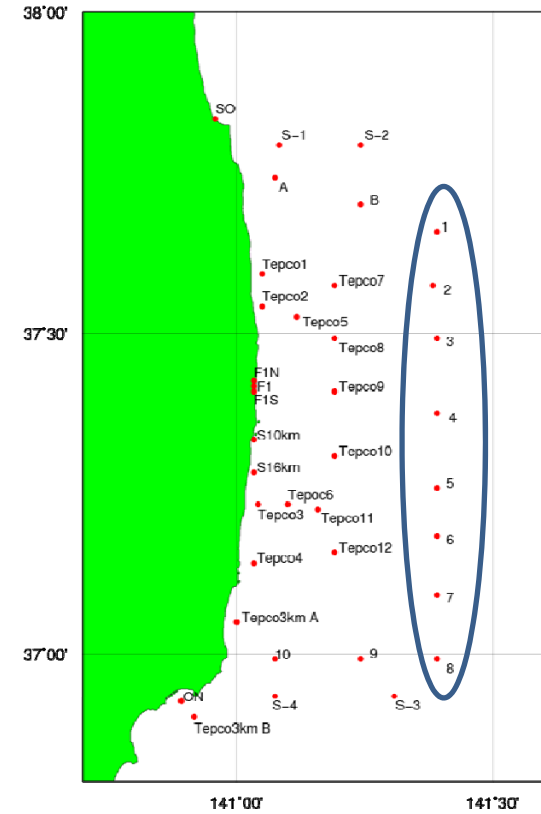
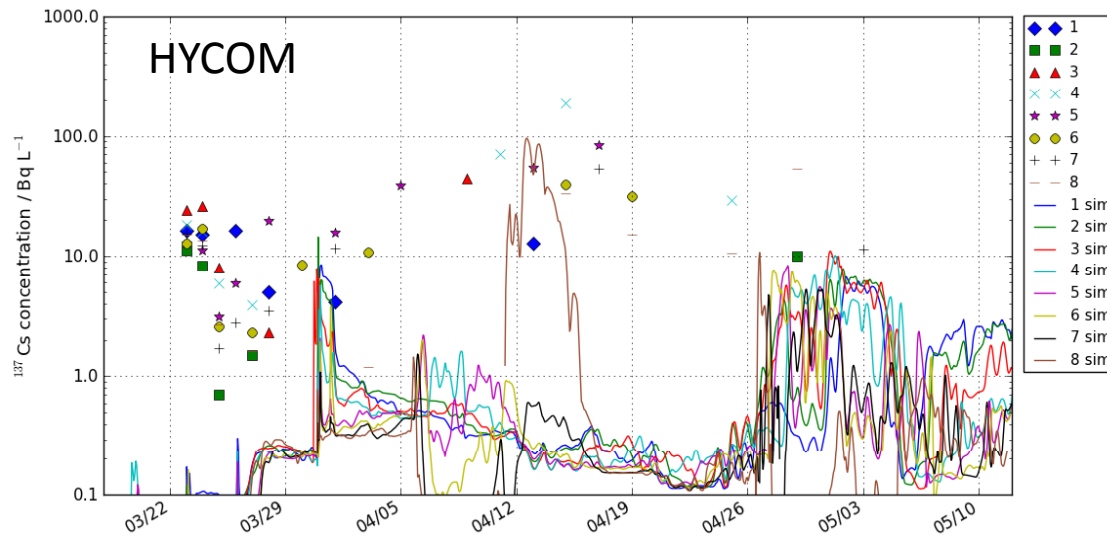
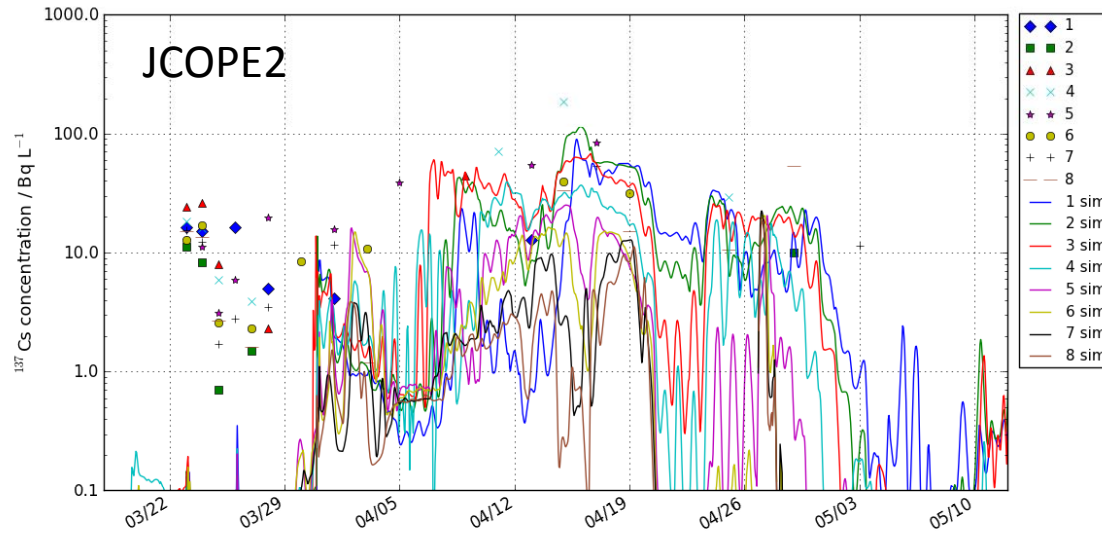
Direct release after 3/27



2F North : 10km south from  
1F NPP

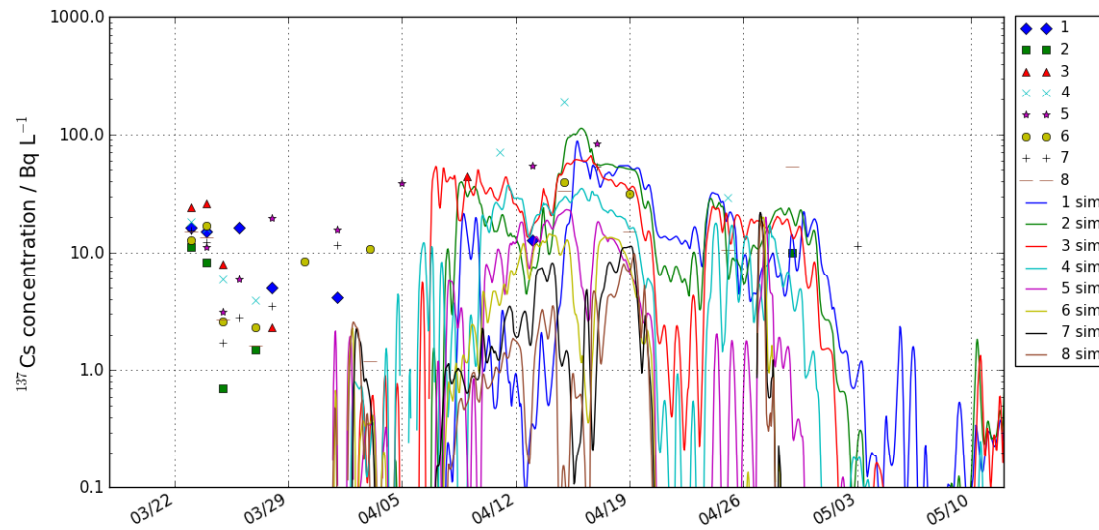
2F Iwasawa : 16km south from  
1F NPP

# 30km沖合いにおける比較

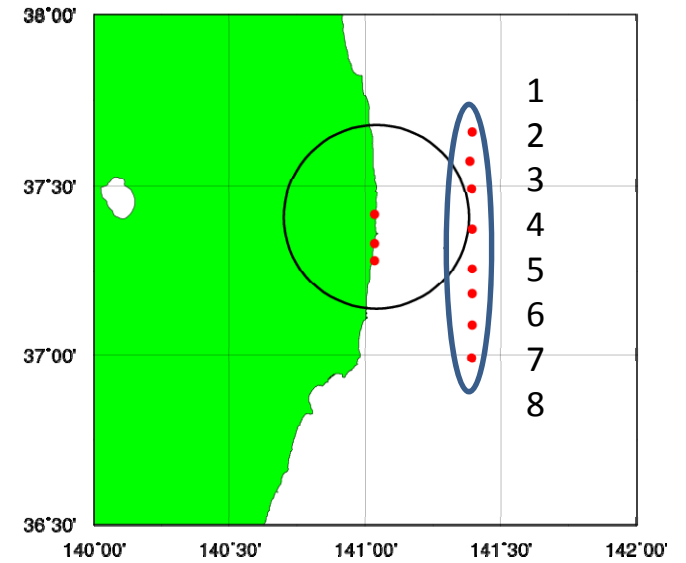




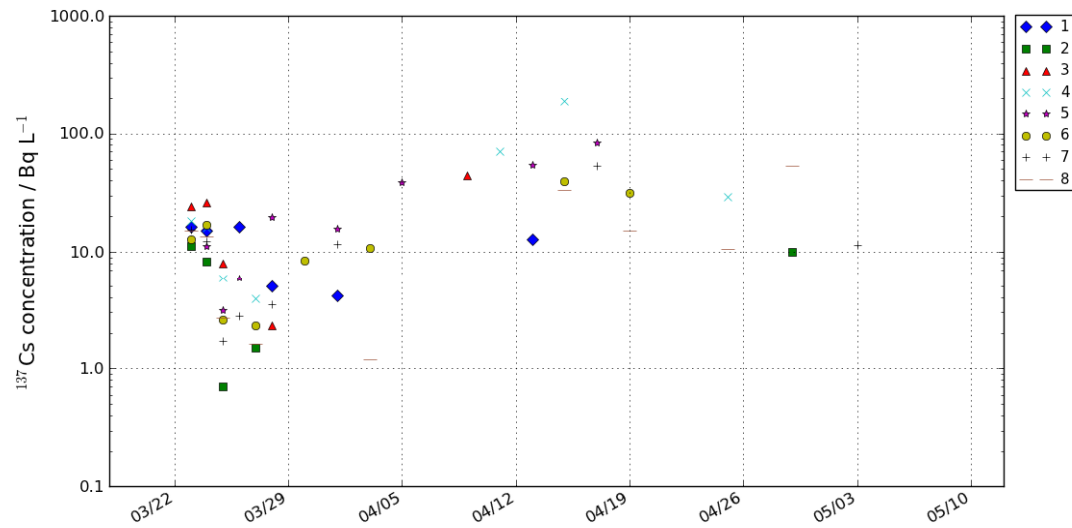
# 30 km沖合いにおける比較



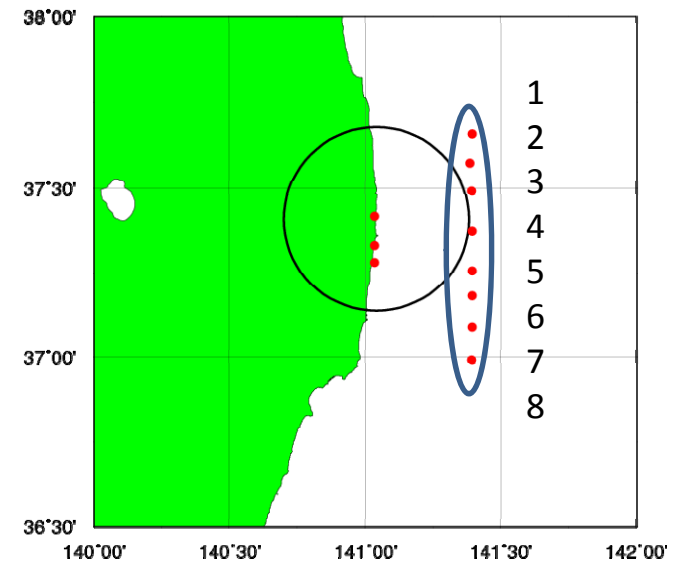
Direct release after 4/9



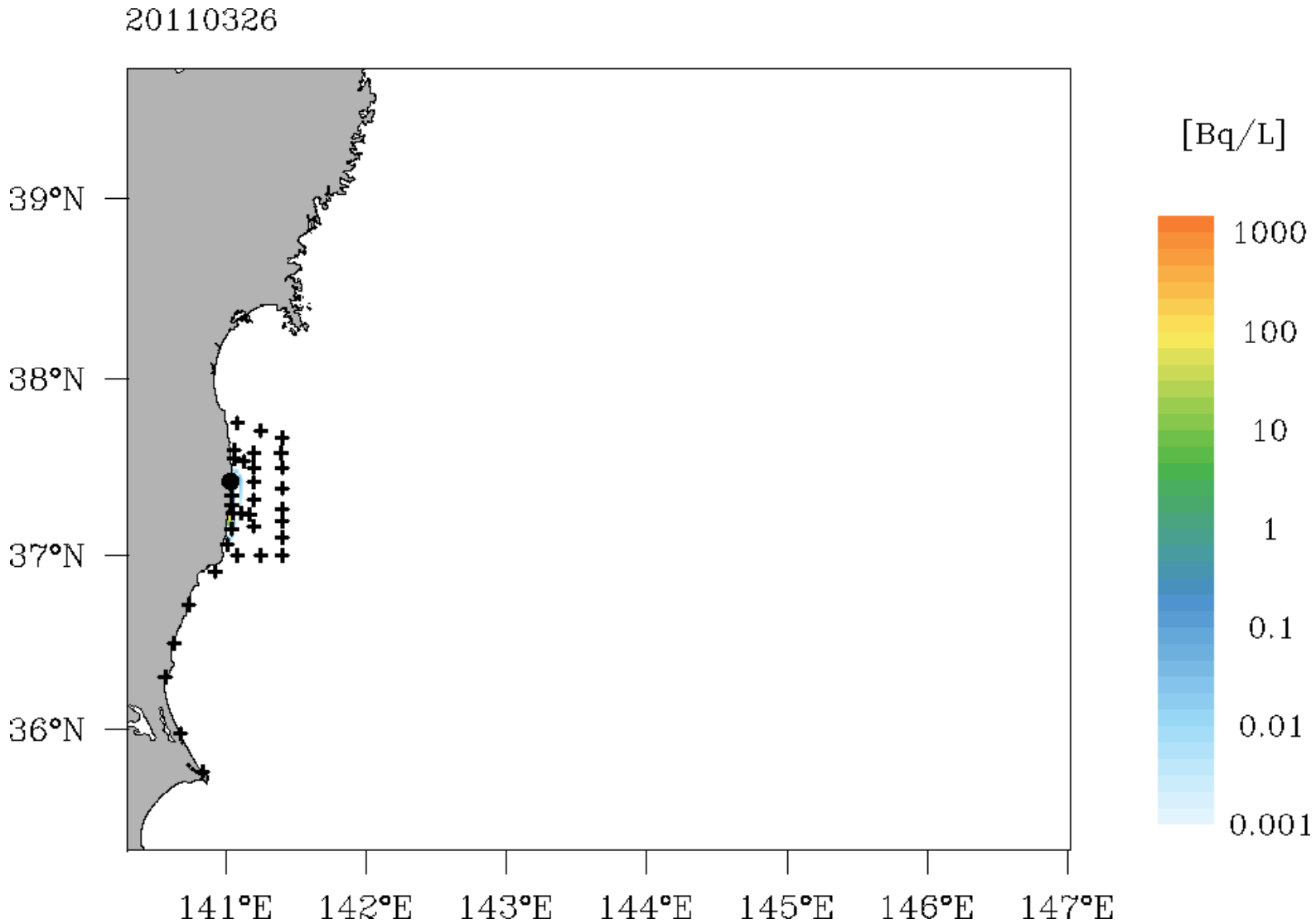
# 30 km沖合いにおける比較



Direct release after 4/9

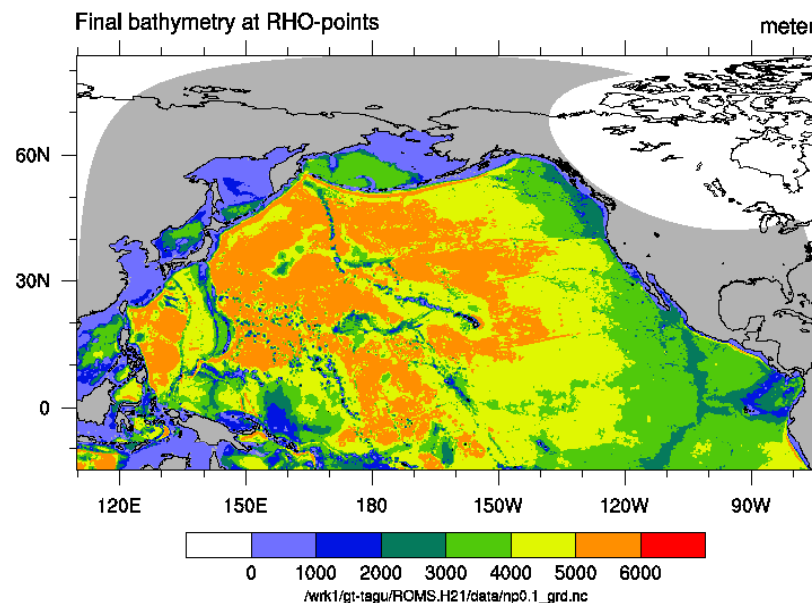


# Surface $^{137}\text{Cs}$ concentration



# 北太平洋モデル (Aoyama et al., submitted)

- Regional Ocean Modeling system (ROMS)
- 水平解像度; 10km x 10km, 鉛直30層 (s座標)
- 気候値(Normal Year Forcing)による駆動
- 直接漏洩+大気からの降下(気象研の3つの大気モデル)
- $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$

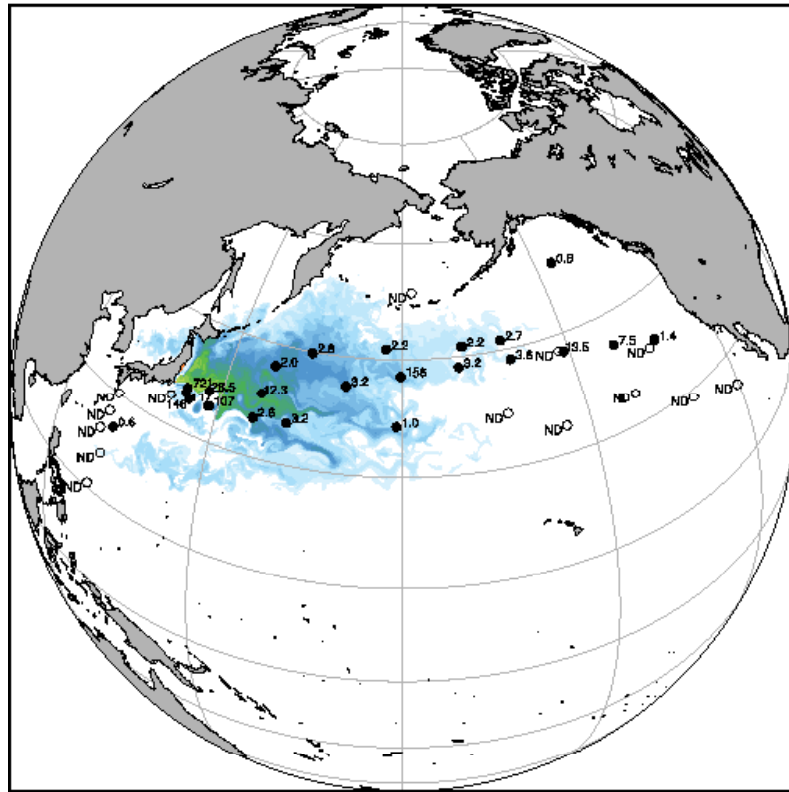


Bottom topography

# 北太平洋における $^{134}\text{Cs}$ の分布

20110530

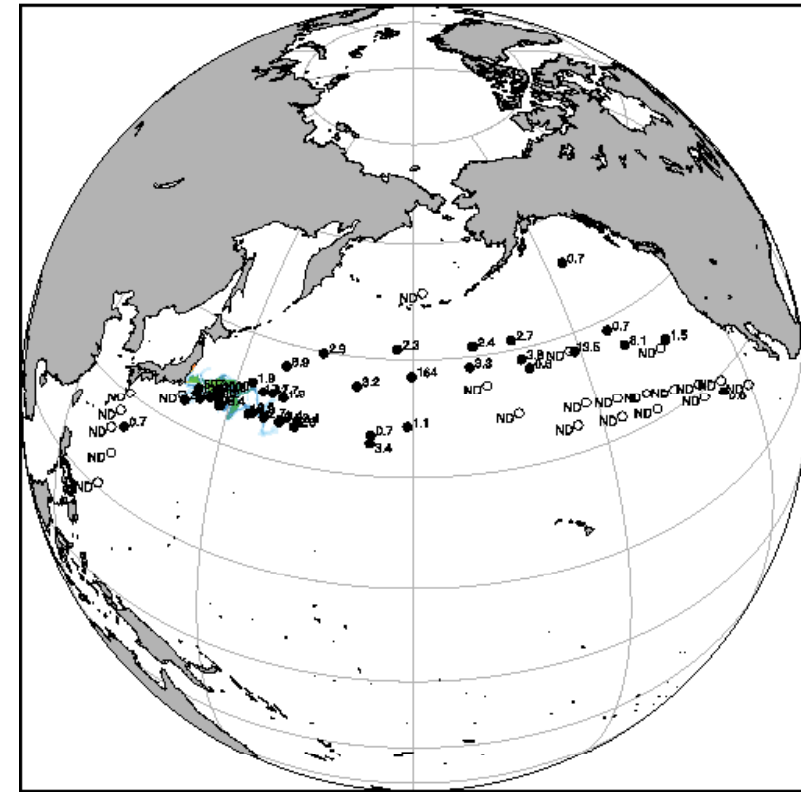
$^{134}\text{Cs}$



直接漏洩＋大気からの降下

20110530

$^{134}\text{Cs}$



直接漏洩のみ

Aoyama et al., submitted

大気からの降下は、気象研によるMASINGAR IIの結果

# まとめ

- $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比の解析により、直接漏洩は2011年3月26日に開始
- 直接漏洩シナリオを推定、5月末までの $^{137}\text{Cs}$  (and  $^{134}\text{Cs}$ )の直接漏洩量は $3.5 \pm 0.7$  PBq
- 3月下旬と4月上旬に1F NPPで観測された濃度上昇は、風応力によって駆動される沿岸流の変動の影響
- 4月中旬までに観測された高濃度の $^{137}\text{Cs}$ は直接漏洩の影響
- 中規模渦が $^{137}\text{Cs}$ の外洋への輸送に支配的な役割
- 黒潮は外洋への輸送およびバリアの役割
- 5月末時点における広域で観測された濃度分布は大気からの降下の影響