

# 福島県沿岸から北太平洋域での 放射性物質の長期の動き



環境放射能研究所  
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY

福島大学 環境放射能研究所

青山道夫

2017年7月29日

第4回福島大学環境放射能研究所研究活動懇談会

アクアマリンふくしま

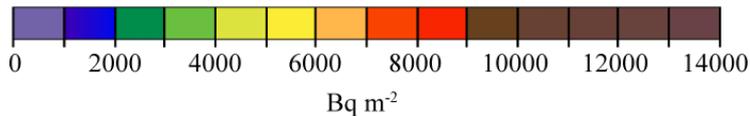
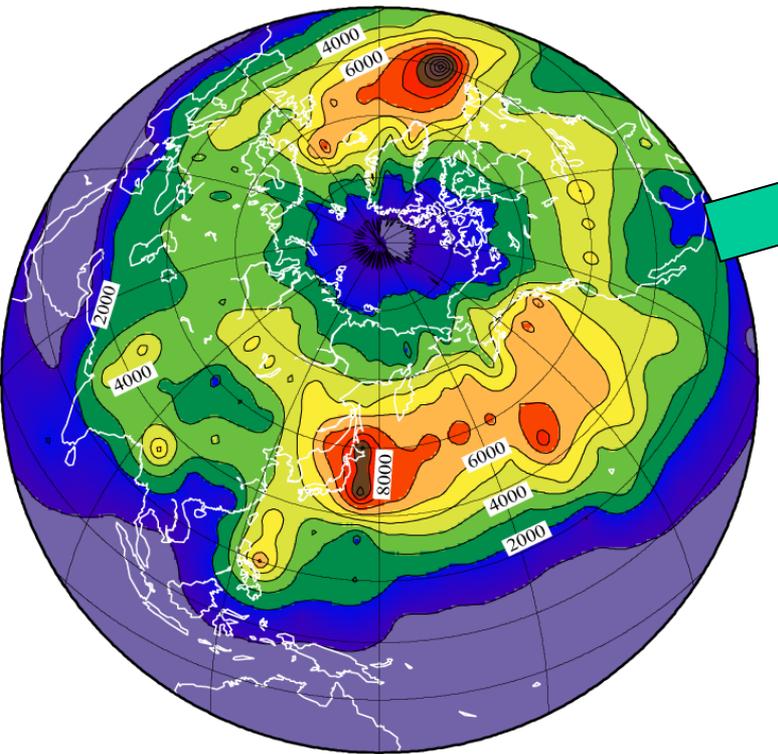
# 今日の講演内容

- 自己紹介 研究概要 何故どんなことをしてきたか？と青山が明らかにしてきた東電福島事故前の人工放射性核種の海洋での挙動
- 東電福島事故 何故起きたか？短く。IAEA報告書、女川原発との対比
- 東電福島事故で海洋に放出された放射能総量とその挙動
- まとめ

# 2014年2月福島大学に来る前は何をしていたか？

- 全球での観測、精密分析を行い $^{137}\text{Cs}$ の地球上の総量と分布等の地球化学的研究
- モデル屋さんたちと共同して、モデルの開発検証向上のための研究
- 海水中(および陸上)の人工放射性核種のデータベースを作って解析した。これはIAEAのデータベースから公開されている。

# 核実験で地球上に降下した $^{137}\text{Cs}$ のマップ 1970年時点(データを取集解析)



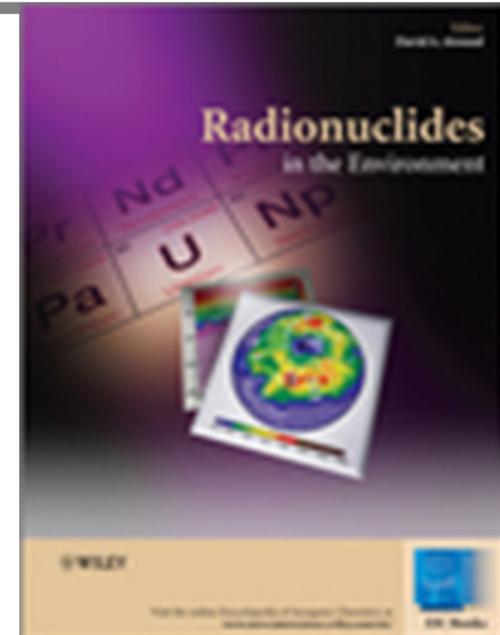
北半球

$765 \pm 79 \text{ PBq}$  1970

北太平洋

$290 \pm 30 \text{ PBq}$  1970

$69 \pm 7 \text{ PBq}$  2011

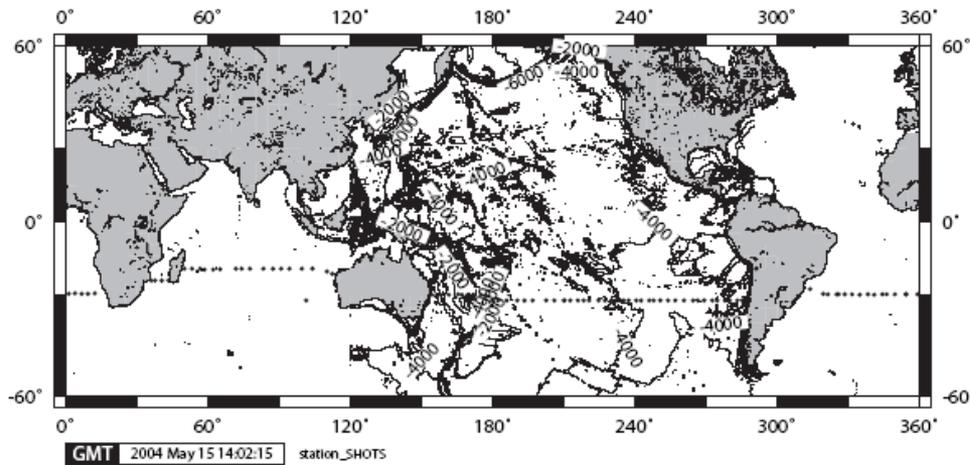


Michio Aoyama, Katsumi Hirose and Yasuhito Igarashi,  
Re-construction and updating our understanding on the  
global weapons tests  $^{137}\text{Cs}$  fallout, *Journal of  
Environmental Monitoring*, **8**, 431-438, 2006.

気象庁凌風丸 回収した100リットル採水器  
青山は2000日以上海上で暮らしてきた

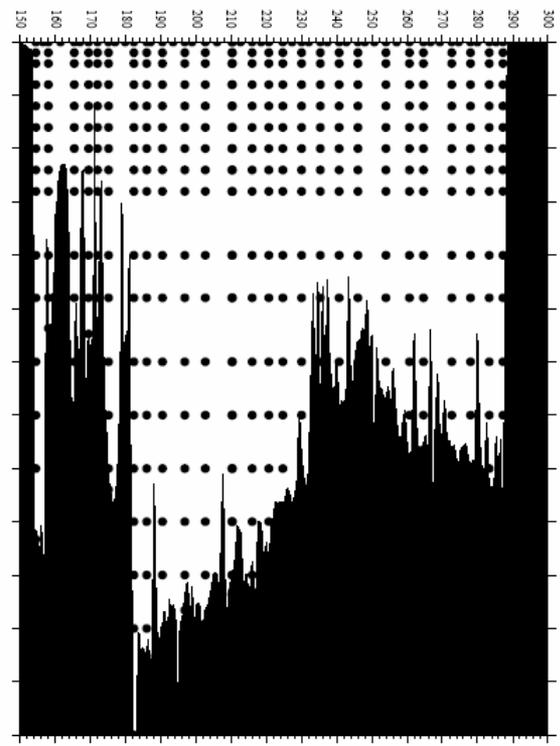
左は数少ない  
青山が仕事を  
している写真



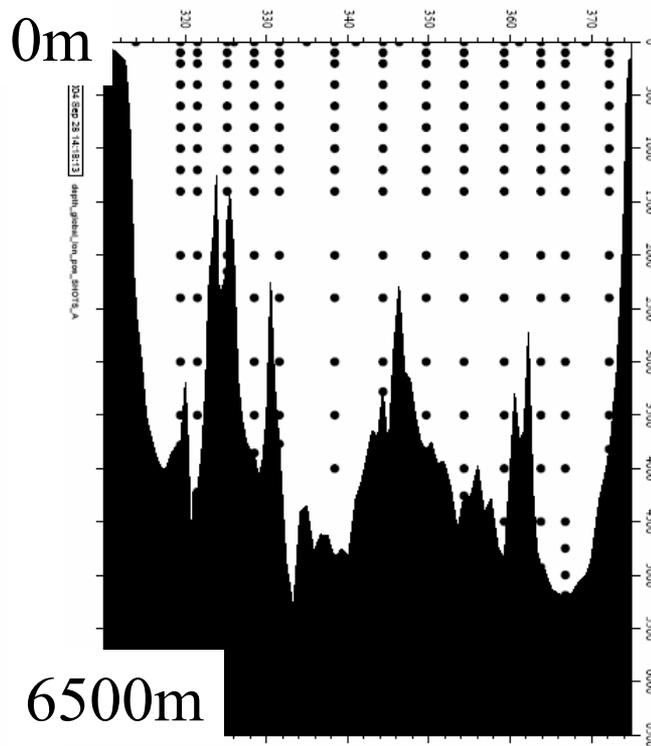


2003年から2004年にかけて、世界を一周して海水を採取。  
 総量22トン800試料  
 あおやまは乗らずに人を交代で送った

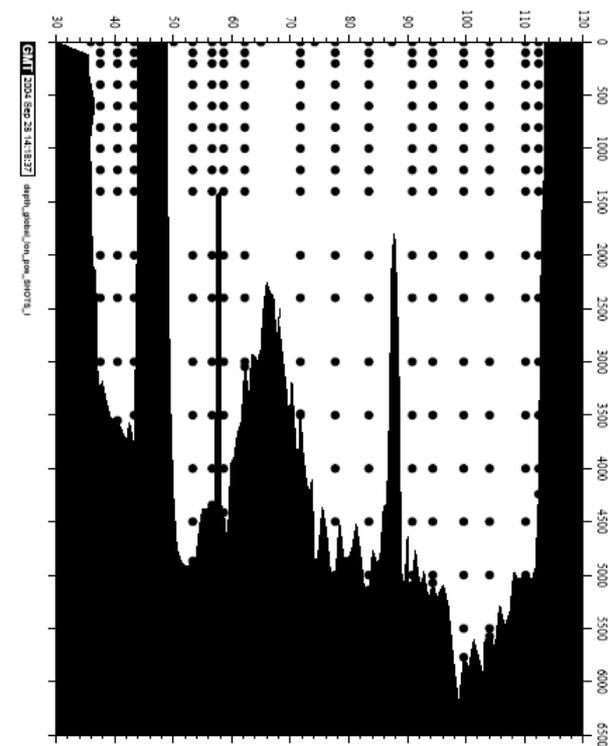
### Pacific Ocean



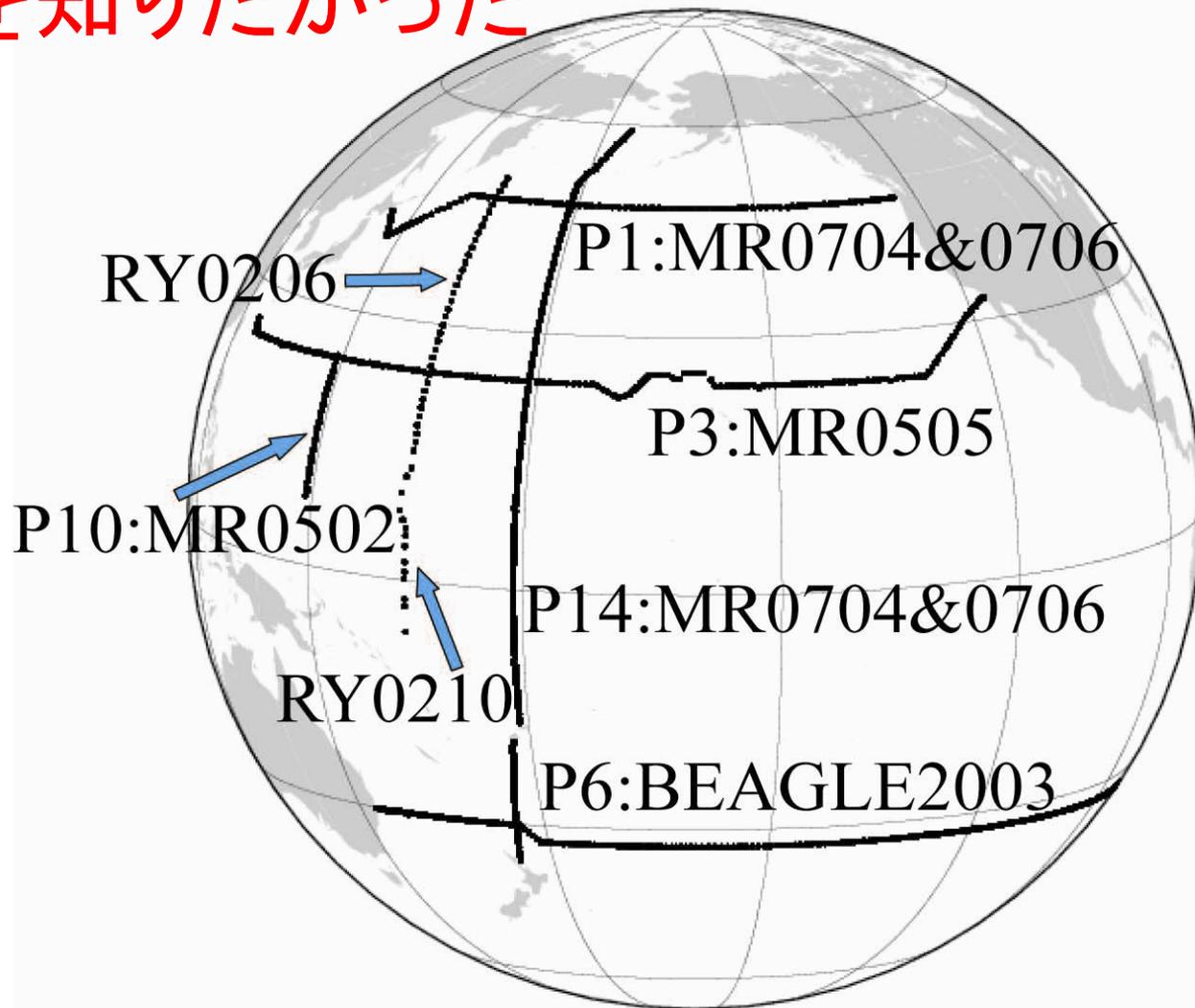
### Atlantic Ocean



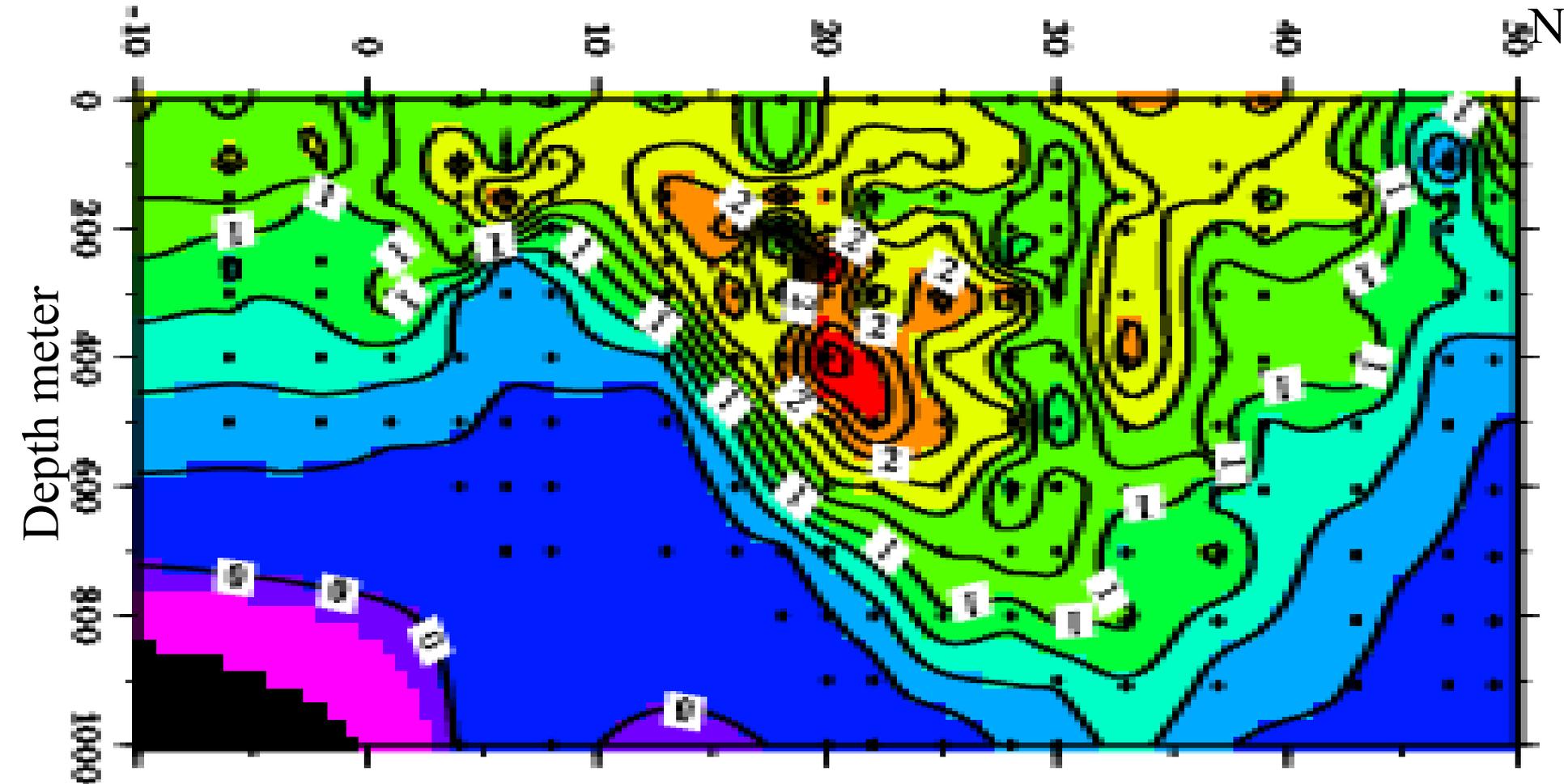
### Indian Ocean



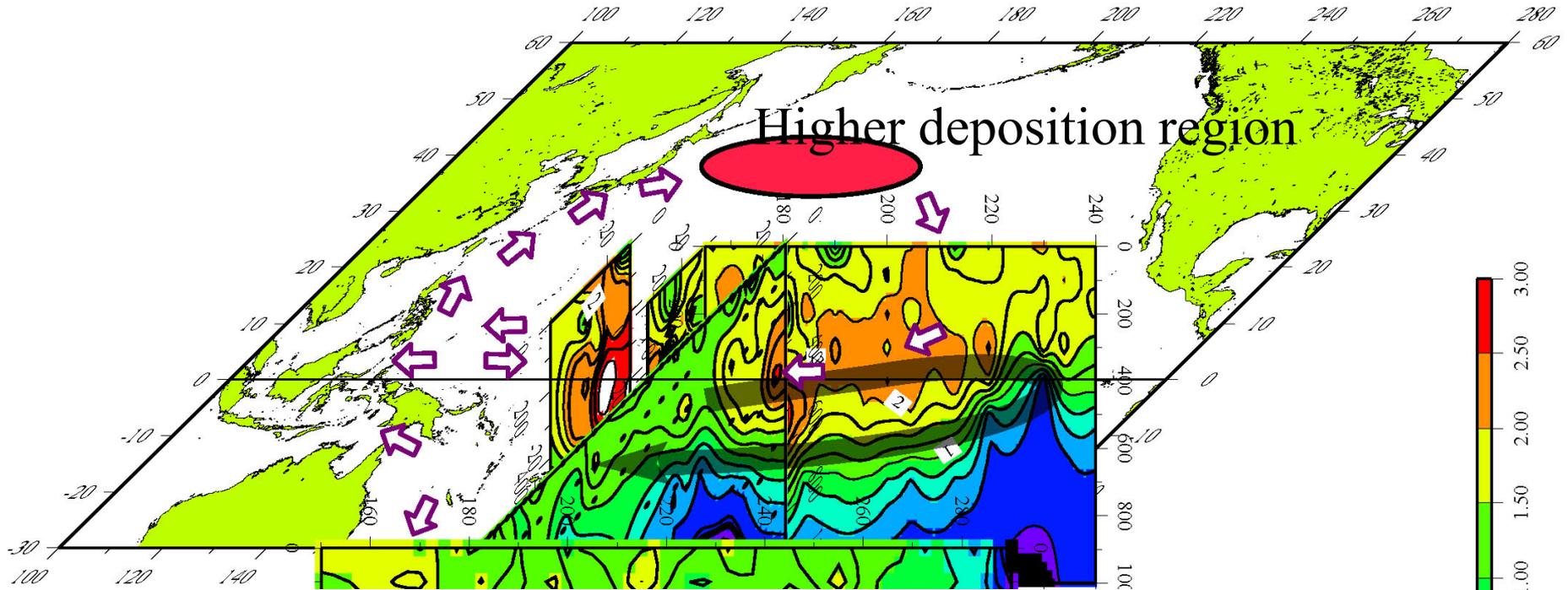
2000年代に太平洋全域を観測 2002年から  
2007年:海洋での放射性セシウムの3次元の  
分布を知りたかった



# 165 deg. E in 2002, 核実験起源 $^{137}\text{Cs}$ の極大が 海洋内部にあることを世界で最初に指摘

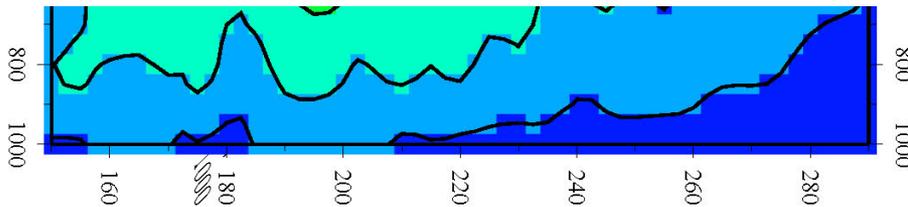


# 明らかになった $^{137}\text{Cs}$ の3次元分布、さらに総量も推定できた

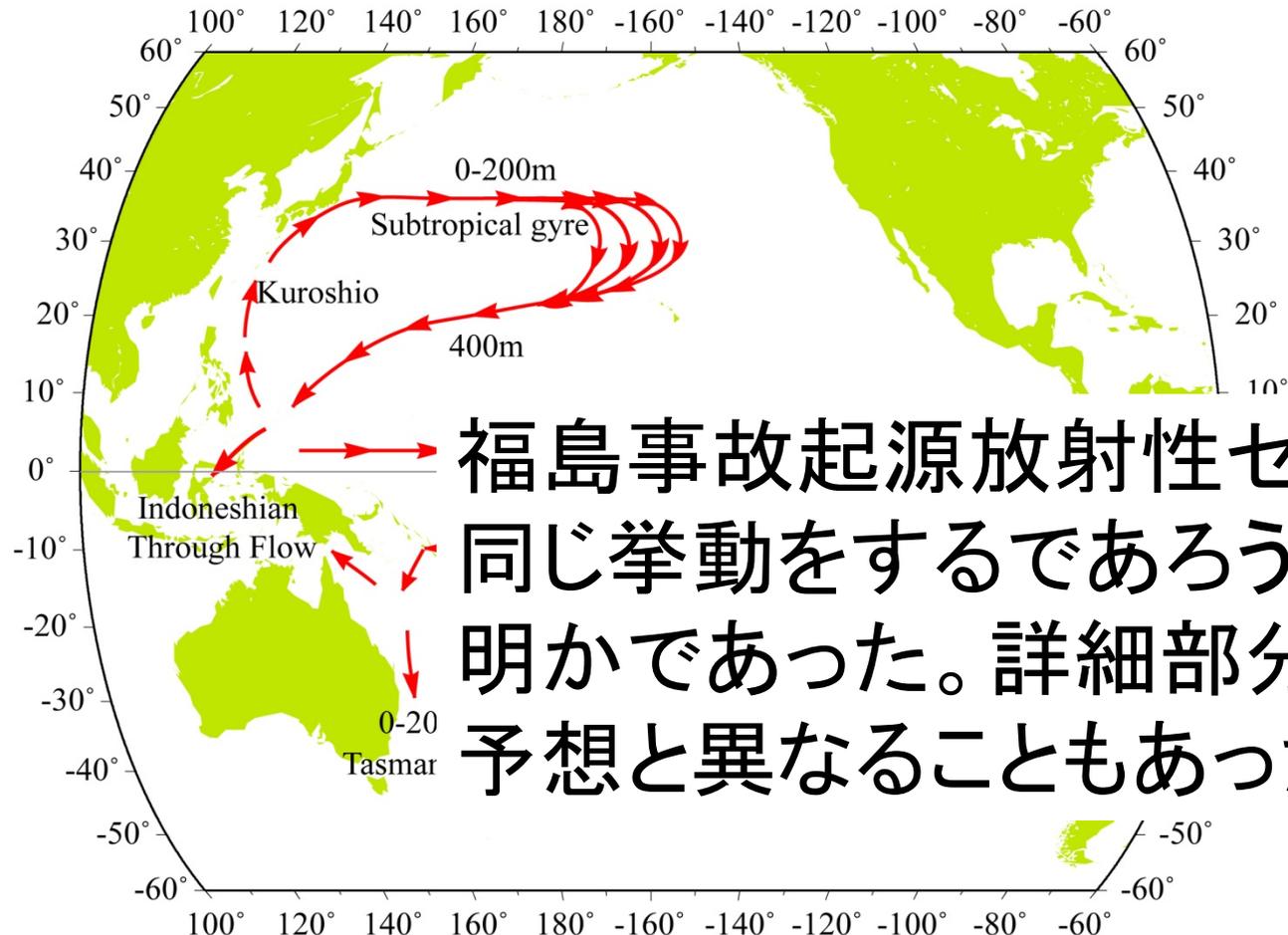


総量を計算できた  $^{137}\text{Cs}$   
事故前の推定量

85 PBq  
69 PBq



# 3次元分布を知った結果



**Fig. S2** Possible pathway of  $^{137}\text{Cs}$  in the Pacific Ocean based on 3-D observations of  $^{137}\text{Cs}$  in 2000s (Aoyama et al., 2013)

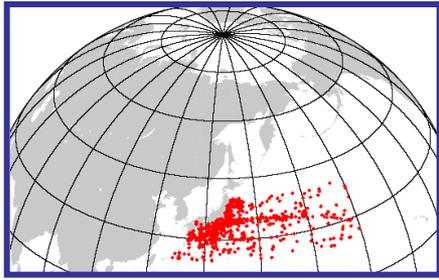


図1 太平洋海域2  
のデータ分布

海洋での移流拡散で減っていくはずがそうではなかった  
再循環: 長いスケール

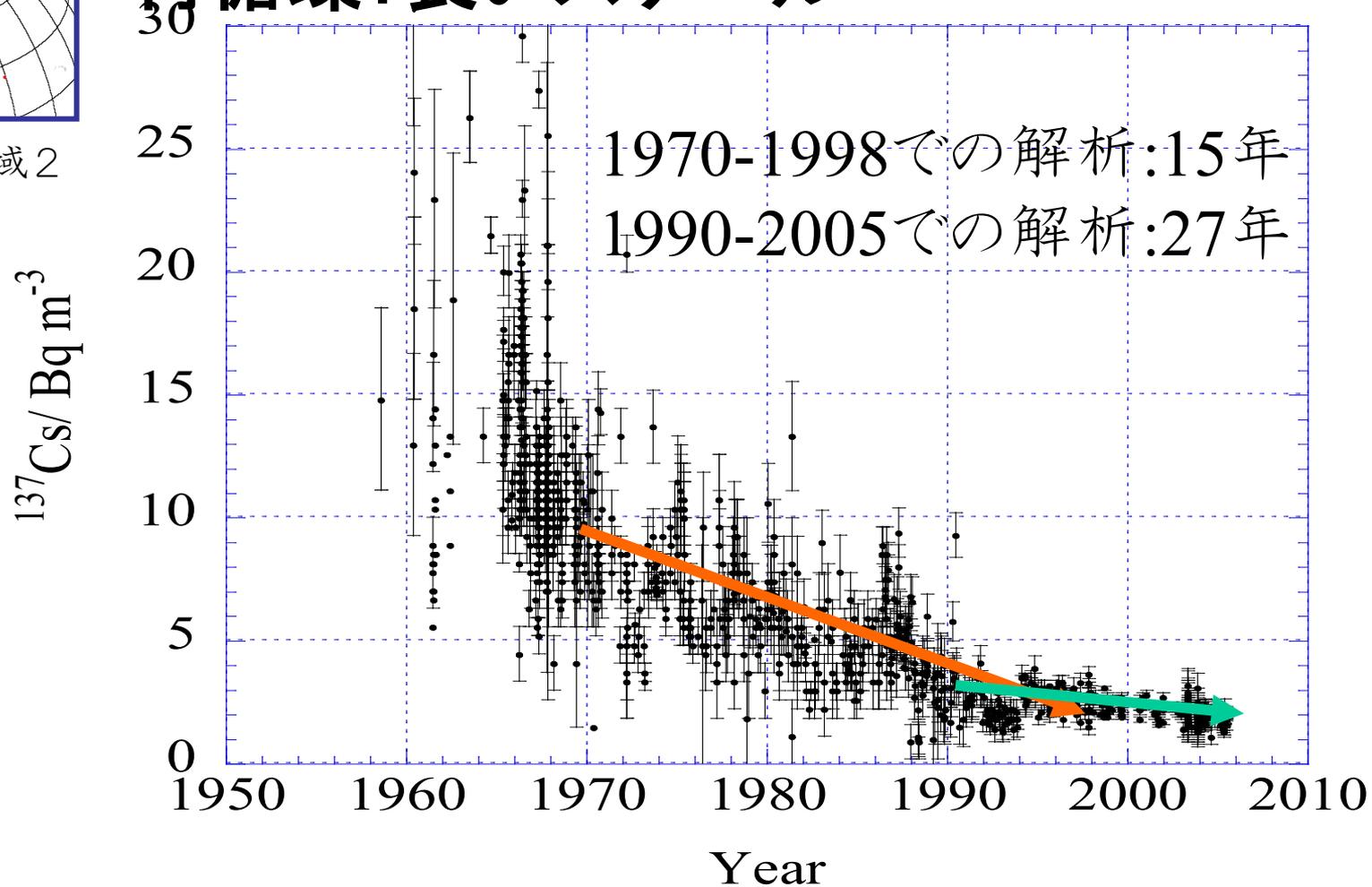
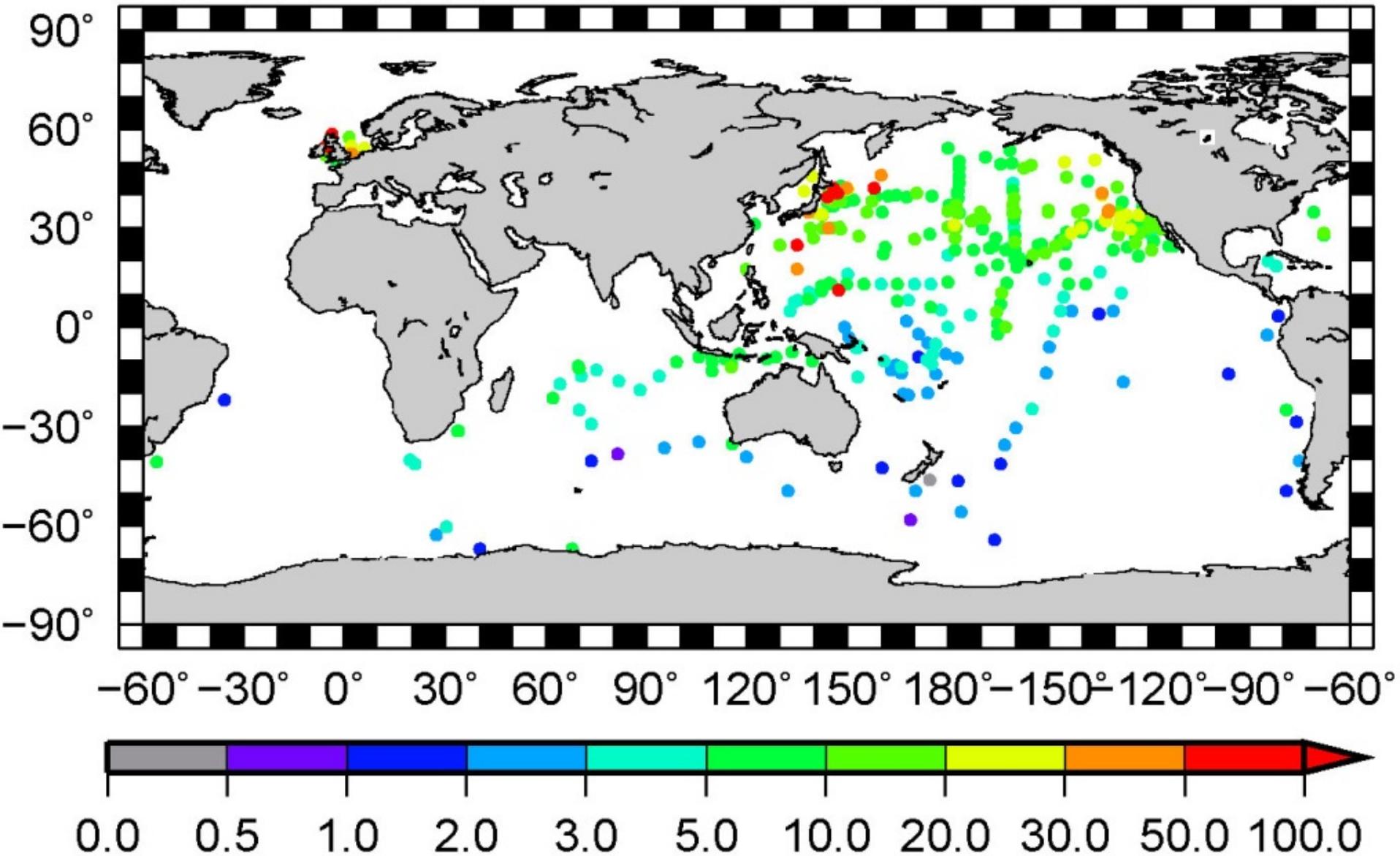
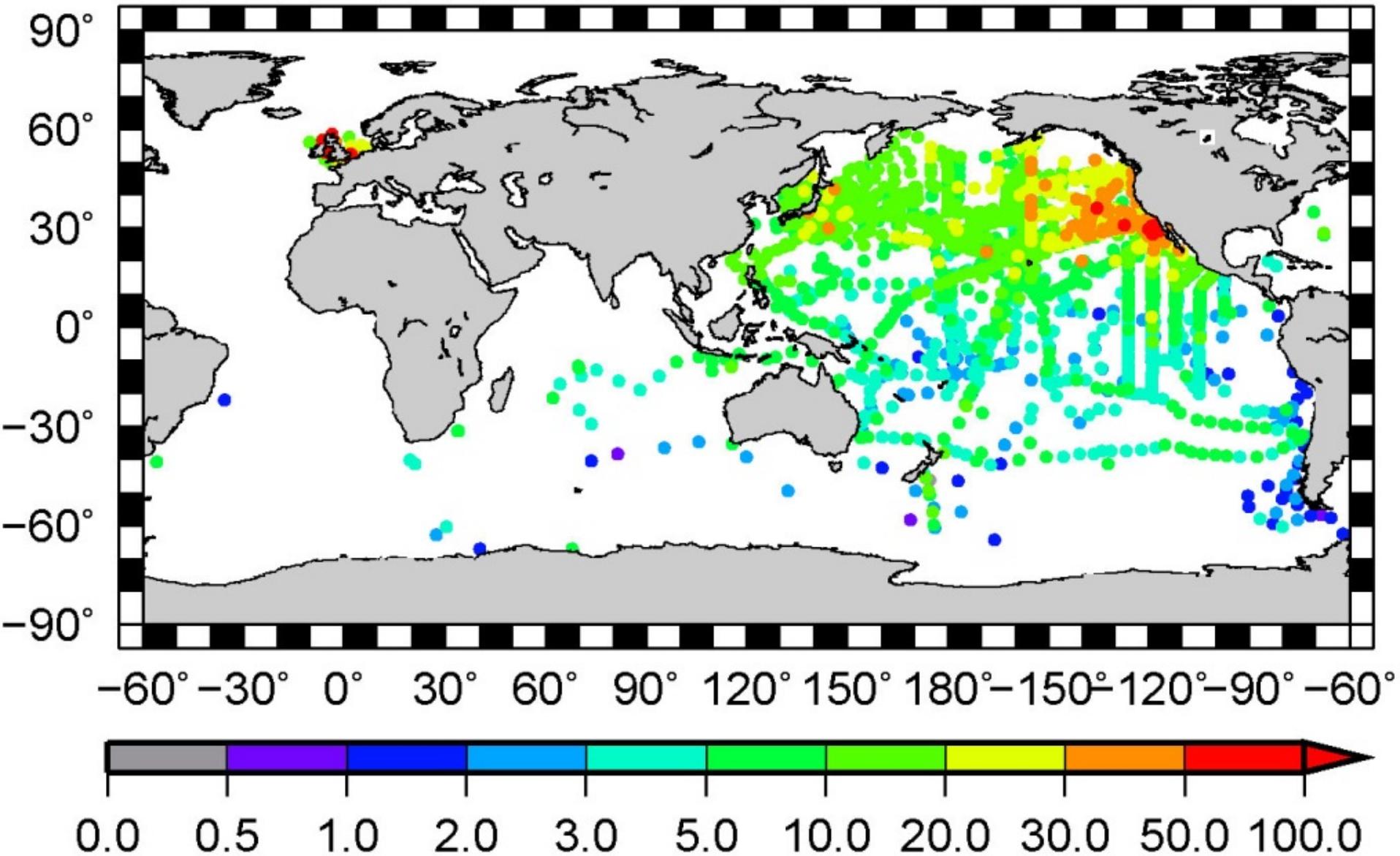


図2 海域2での $^{137}\text{Cs}$ 濃度の時系列

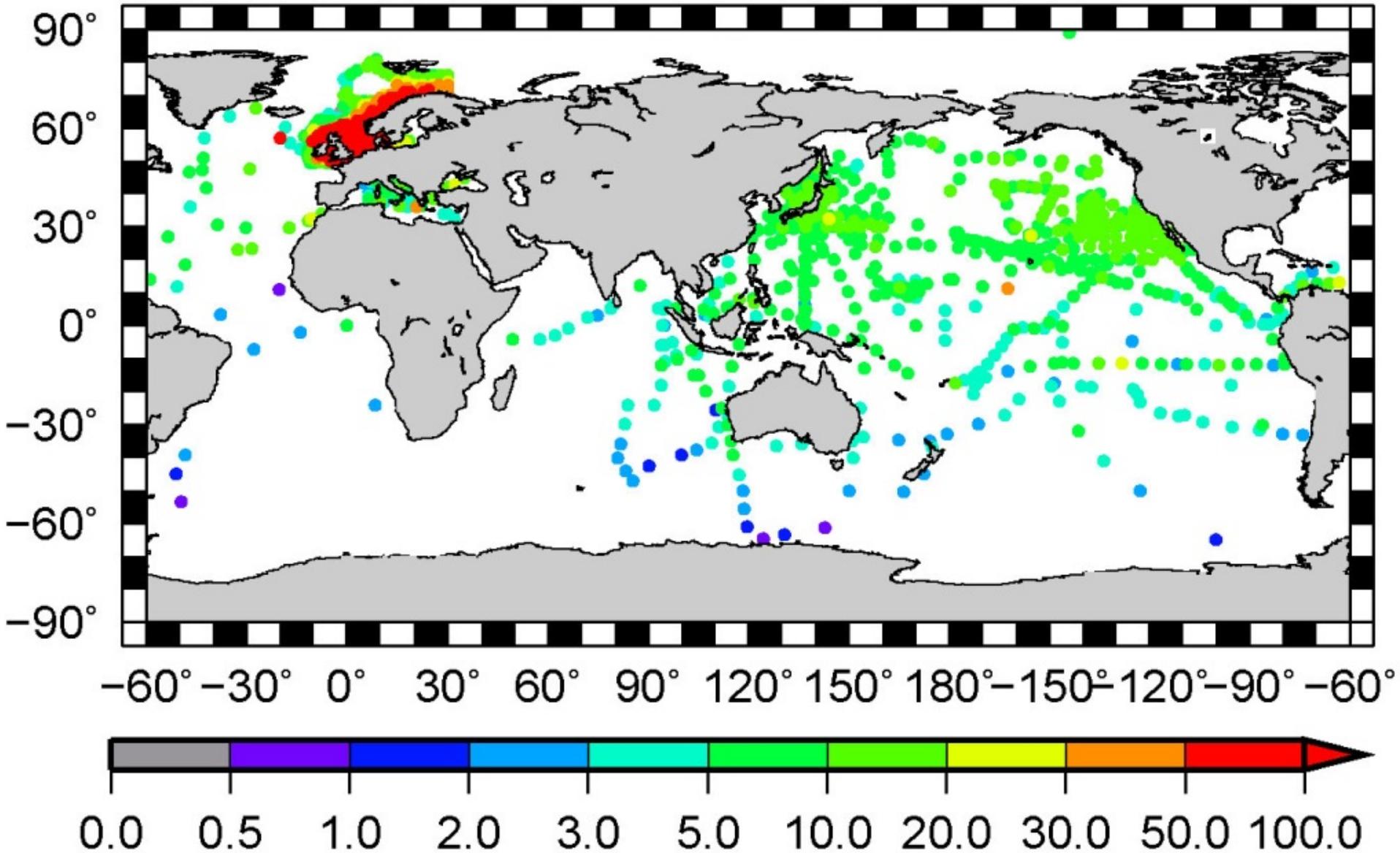
$^{137}\text{Cs}$  in surface waters of the global ocean in the period from 1957 to 1964. (Unit:  $\text{Bq m}^{-3}$ ).



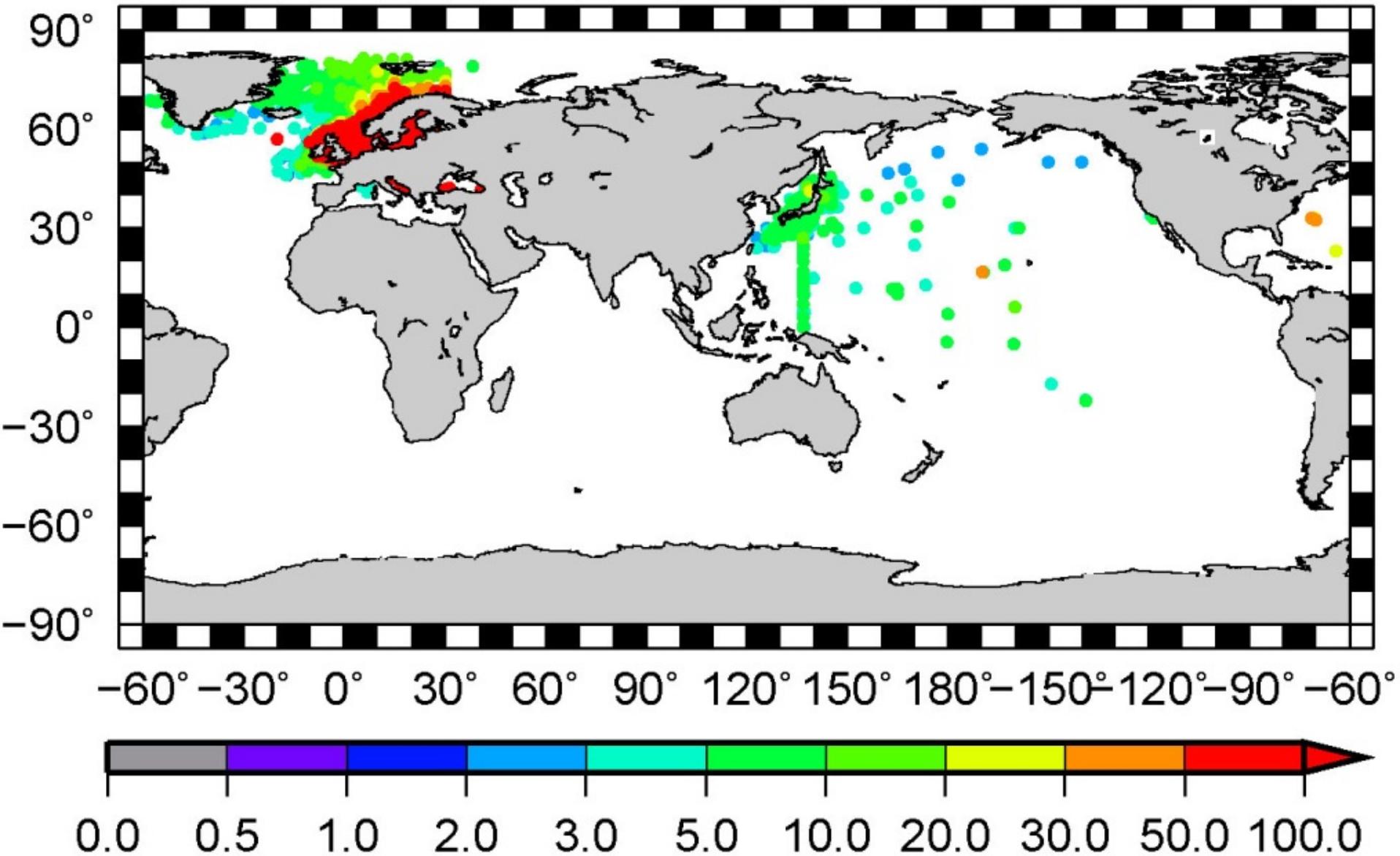
$^{137}\text{Cs}$  in surface waters of the global ocean in the period from 1960 to 1969. (Unit:  $\text{Bq m}^{-3}$ ).



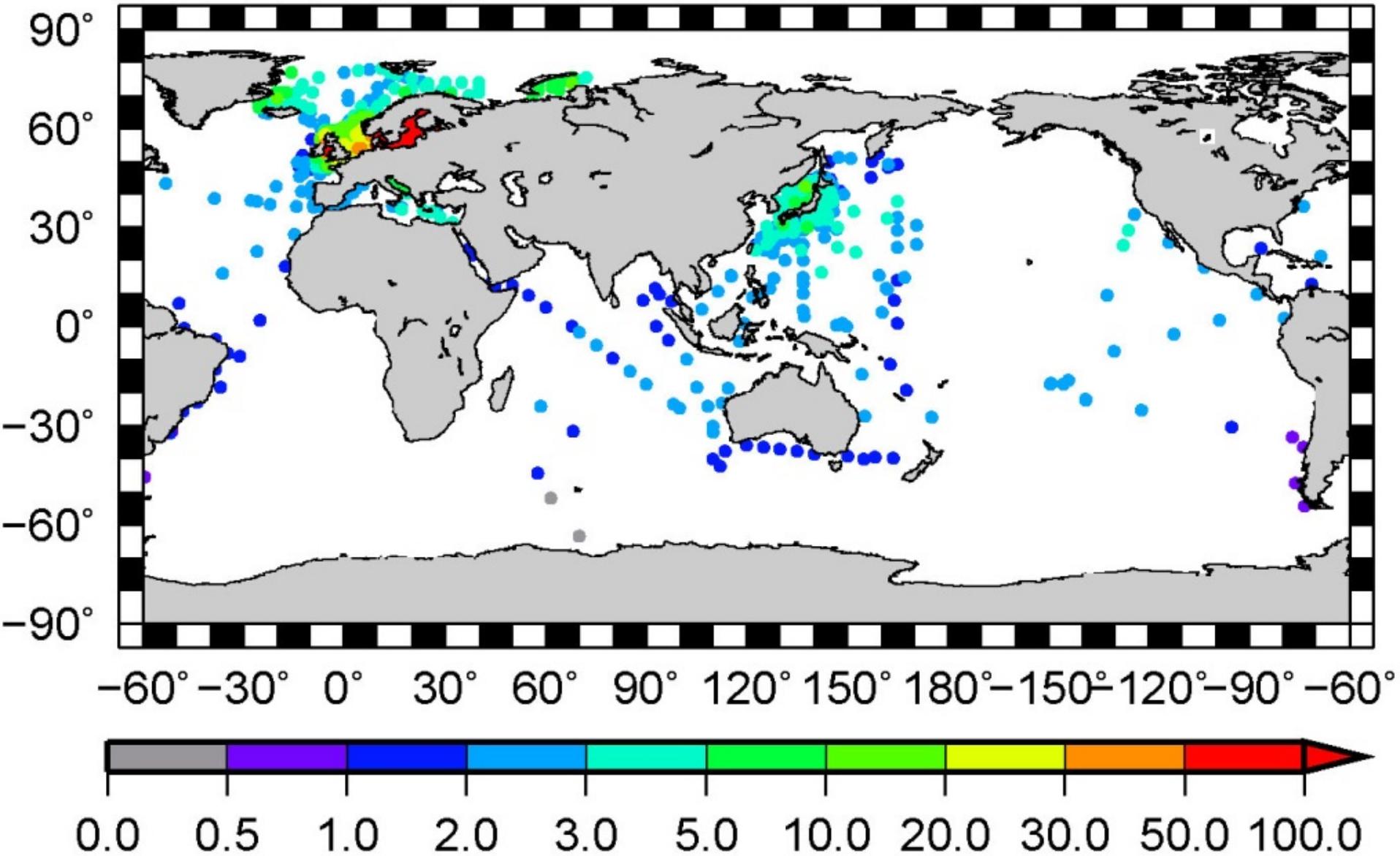
$^{137}\text{Cs}$  in surface waters of the global ocean in the period from 1970 to 1979. (Unit:  $\text{Bq m}^{-3}$ ).



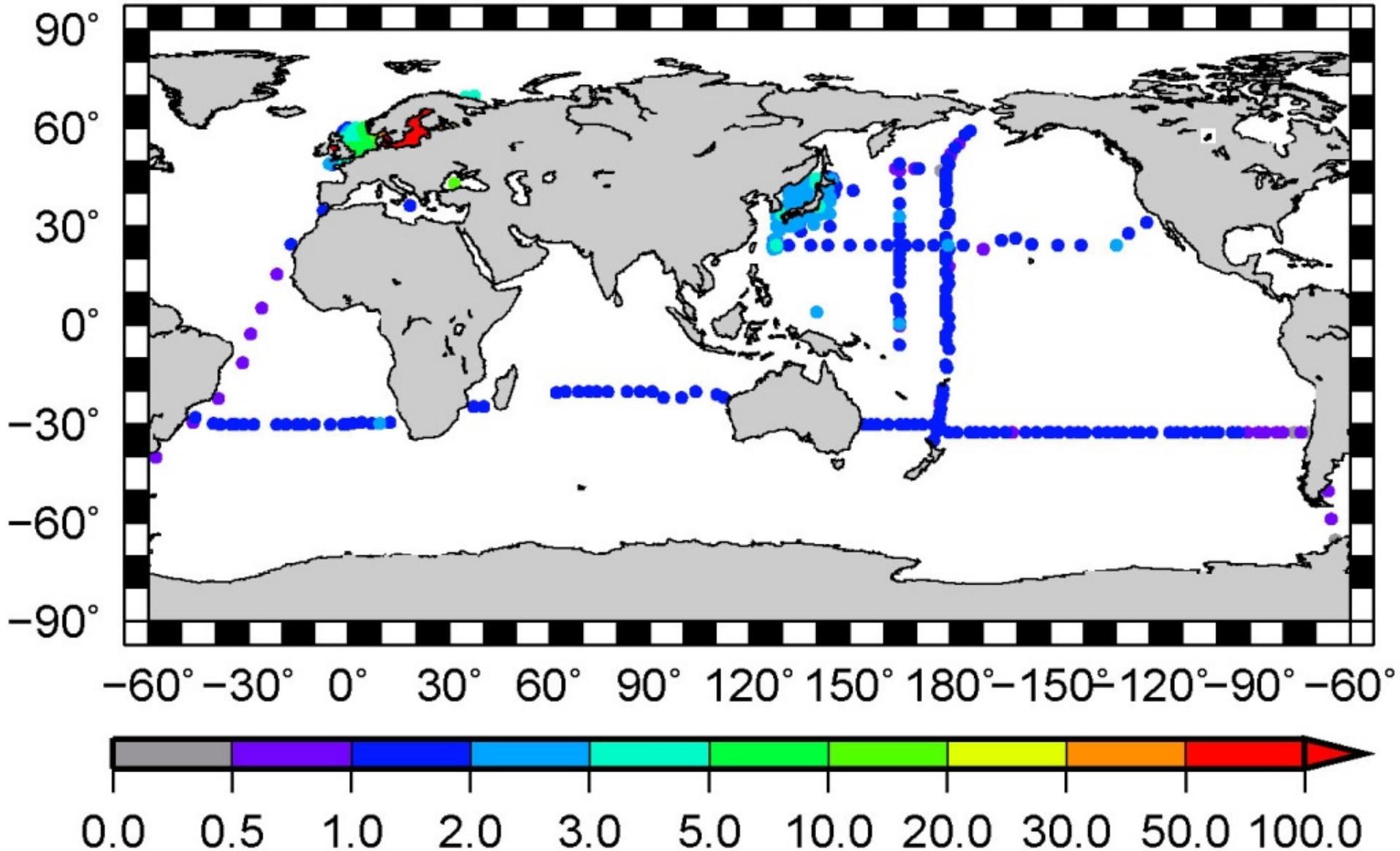
$^{137}\text{Cs}$  in surface waters of the global ocean in the period from 1980 to 1989. (Unit:  $\text{Bq m}^{-3}$ ).



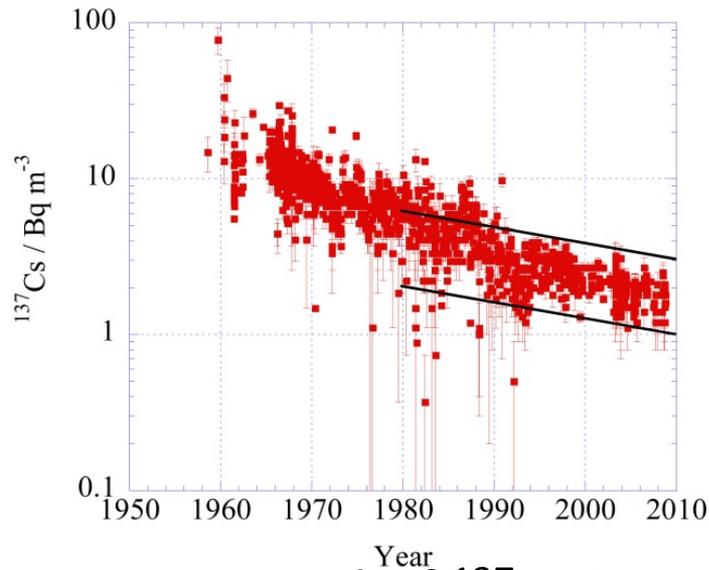
$^{137}\text{Cs}$  in surface waters of the global ocean in the period from 1990 to 1999. (Unit:  $\text{Bq m}^{-3}$ ).



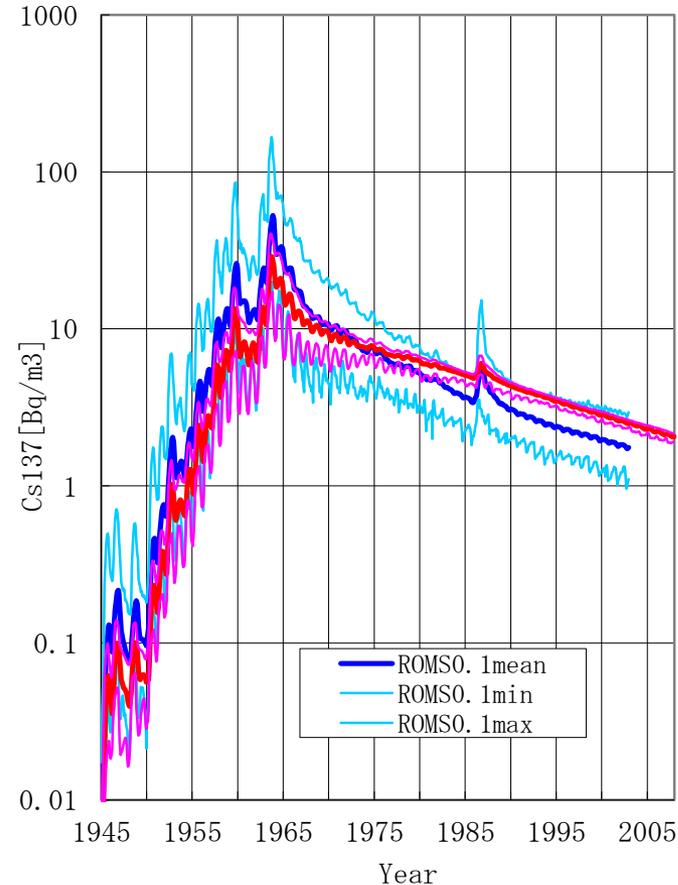
$^{137}\text{Cs}$  in surface waters of the global ocean in the period from 1999 to 2011. (Unit:  $\text{Bq m}^{-3}$ ).



# 西部北太平洋での表層海水中 $^{137}\text{Cs}$ の時系列: 観測 (左) とモデル計算結果 (右) 事故前に良く再現できるようになっていた



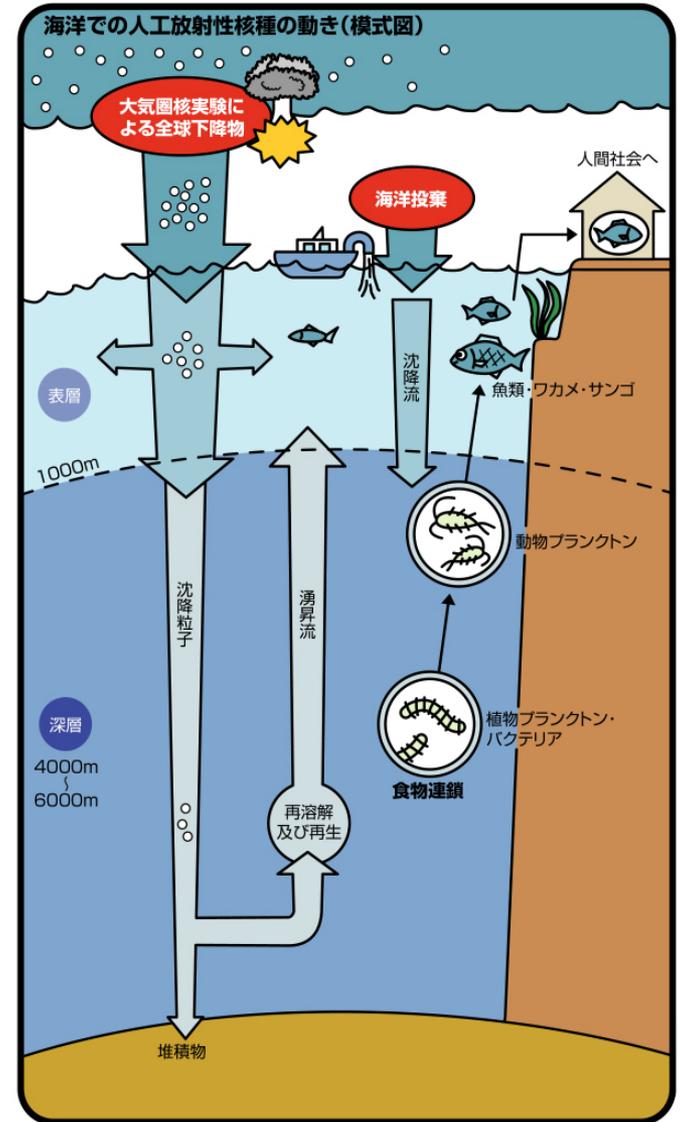
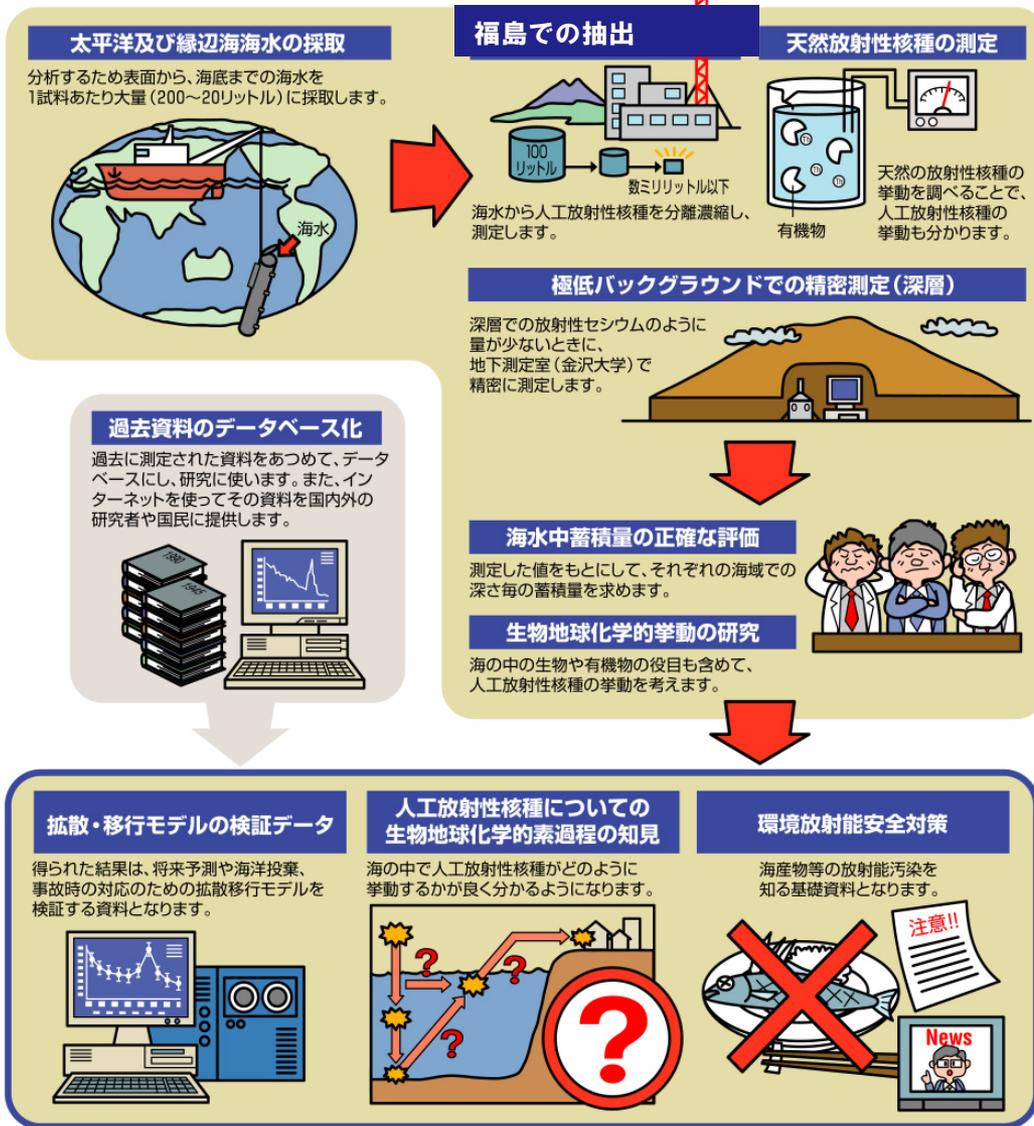
Long-term trend of  $^{137}\text{Cs}$  in  
surface water in the western  
North Pacific Ocean  
25-40 deg. N  
140-180 deg. E



Middle resolution model POP2.0

High resolution models ROMS  
with improved schemes of mixing

# 海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究



海洋環境での人工放射性核種の放出事故あるいは人為的放出時の挙動の予測モデルと継続的な監視体制の研究(2011年4月開始予定だった)

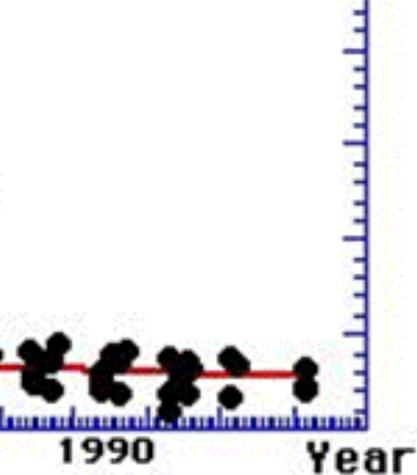
# Atmospheric nuclear test originated $^{137}\text{Cs}$ around Japan



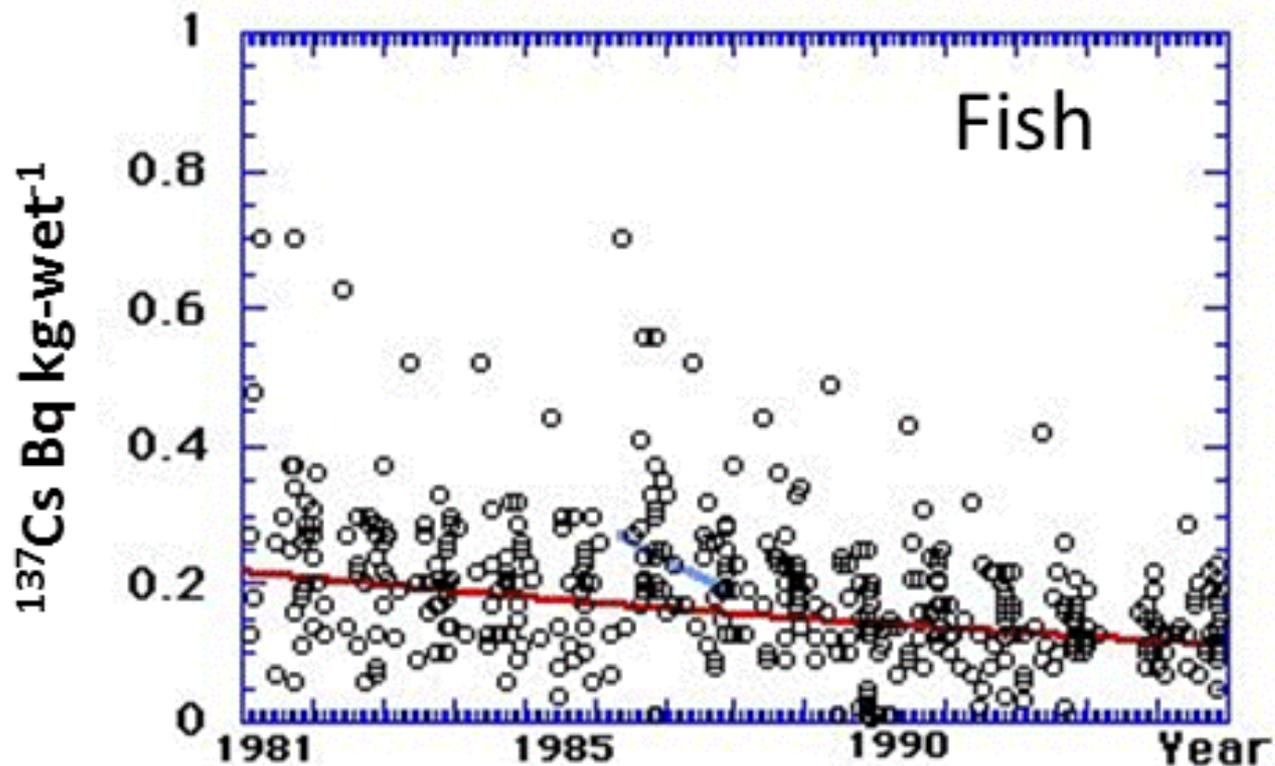
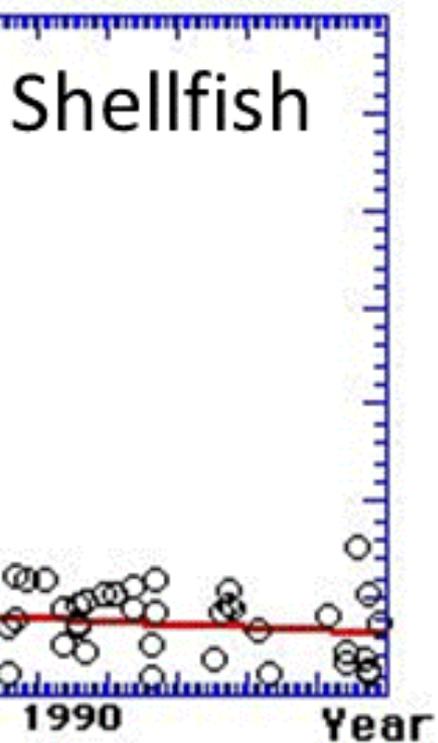
Observation



seawater  $\times$  concentration CF(CR)



福島事故前の日本周辺魚筋肉中の $^{137}\text{Cs}$ 放射能は海水中の約100倍



# 東電福島原発事故：なぜおきたか？他の原発との違いは？

- ・ ここで思い出しておくことは大事。そして忘れてはいけないこと。

始まりは地震、そして津波、電源喪失、冷却不能、、、

# 自然現象への対応における見識 最新知見の取り込みと対応策の 実施が十分ではなかった

サイト	主要建物敷地高さ	2011年津波高さ	浸水高さ
福島第一	O.P. +10m	O.P. +13.1m	O.P. +15.5m
福島第二	O.P. +10m	O.P. +7 - 8m	O.P. +14.5m
女川	O.P. +14.8m	O.P. +13.8m	-
東海第二	H.P. +8.9m	H.P. +5.5m	H.P. +6.2m

日本原子力学会 学会事故調 最終報告書 2014年 P195

- 女川原発は当初から14.8m、
- △ 東海第二は地震直前に茨城県の要請で海水ポンプについて当初4.2mから7mに防波堤かさ上げ工事をおこない、助かった
- × 福島第一は海水ポンプについて6.1mまでかさ上げ、ポンプの高台への移設などの提言があったが、何もせず



# 東電福島原発事故：なぜおきたか？

- IAEAは福島事故前から、加盟国に対し原発の安全性を評価する際、機器の故障などが大事故に至るすべての可能性を把握する確率論的安全評価(PSA)の適用を勧告。2007年の専門家による訪日調査では「日本には設計基準を超える事故について検討する法的規制がない」と指摘し、過酷事故に十分備えるよう求めていた。(私にしみじみ“あのとき言うことを聞いて実施していればよかったのに”とつぶやいていたIAEAの専門家がありました。)
- しかしIAEAの勧告や助言を受けた抜本的な対策は取られず、報告書によると、第1原発ではPSAを十分適用せず、非常用ディーゼル発電機などの浸水対策が不足。10年ごとの定期安全レビューでも地震・津波予測の再評価が義務付けられておらず、過酷事故への対応や安全文化の見直しも含めて「国際的な慣行」に十分従っていなかった。

日本では原発が技術的に堅固に設計されており、十分に防護が施されているとの思い込みが何十年にもわたり強められてきた。その結果、電力会社や規制当局、政府の予想の範囲を超え、第1原発事故につながる事態が起きた。

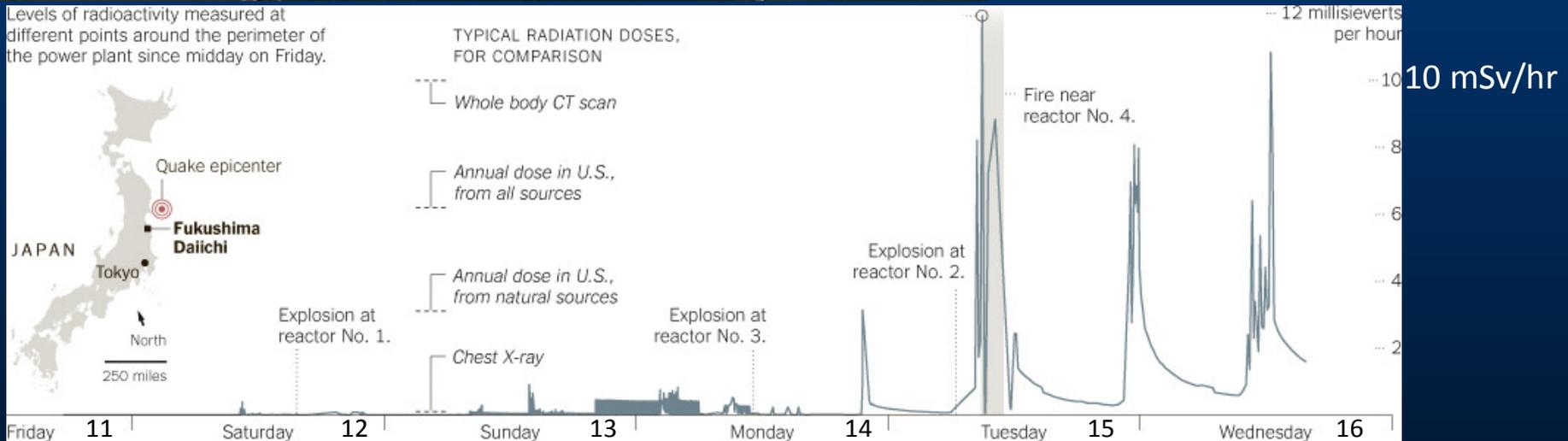
あるいはお金をけちっただけ？

ここから東電福島事故について



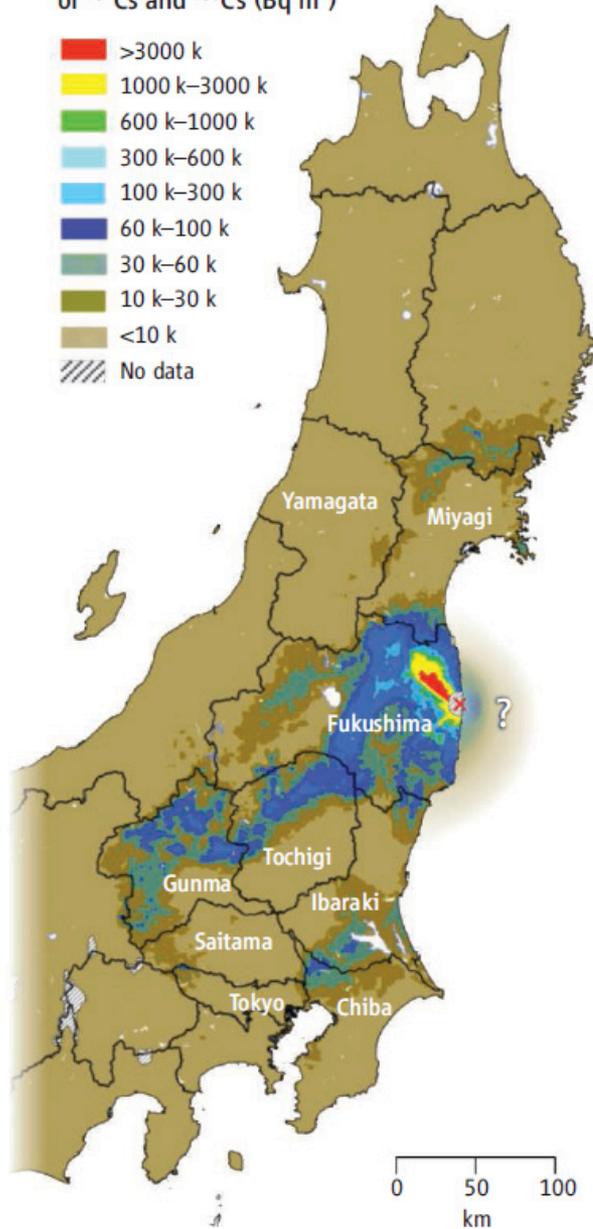
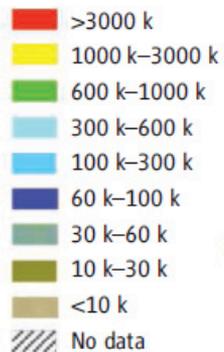
大気への放出、揮発しやすいヨウ素やセシウムがガス状、粒子状で大気へ。さらにセシウムボール(蒸気から固体へ)

Levels of radioactivity measured at different points around the perimeter of the power plant since midday on Friday.



2011年3月14と15日に最大の放出

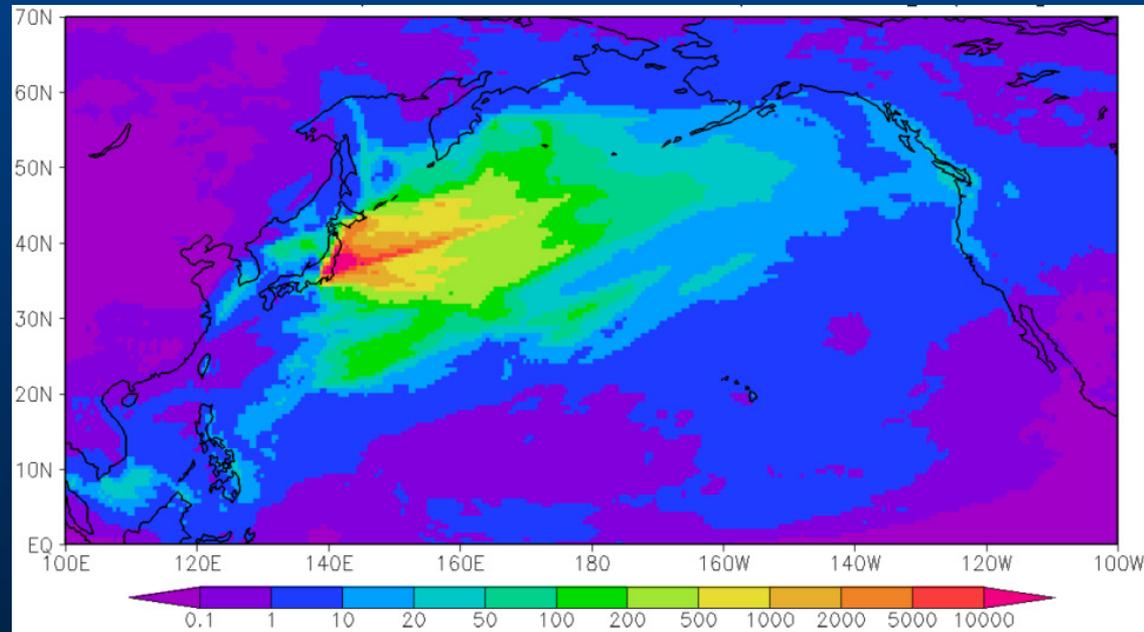
Total disposition  
of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq m}^{-2}$ )



Yodhida and Kanda, 2012

# 大気へ出たものが地上に降下

-  
- 80% は海上に降下



大気からの降下のモデル計算  
 $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) by Masingar II of MRI  
Aoyama et al., 2016

# 海洋への直接漏えい

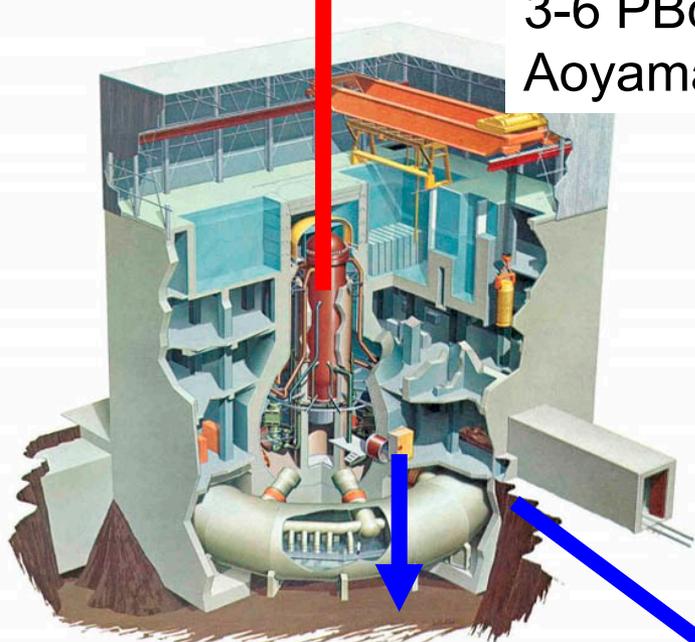


高濃度汚染水の海洋への漏えい

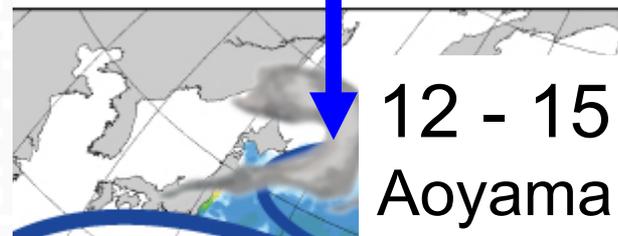
# 青山による福島事故で環境にでた $^{137}\text{Cs}$ の収支

15–20 PBq が大気へ

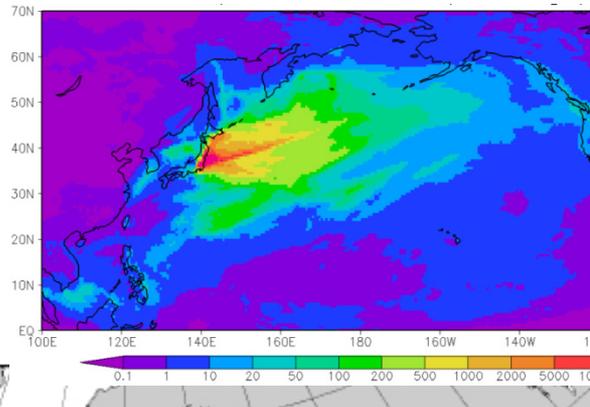
Aoyama et al., 2016



3-6 PBq が陸上へ  
Aoyama et al., 2016



12 - 15 PBq が海上へ  
Aoyama et al., 2016



海洋全体では:15-18 PBq  
Aoyama et al., 2016, Tsubono et al.,  
2016, Inomata et al., 2016

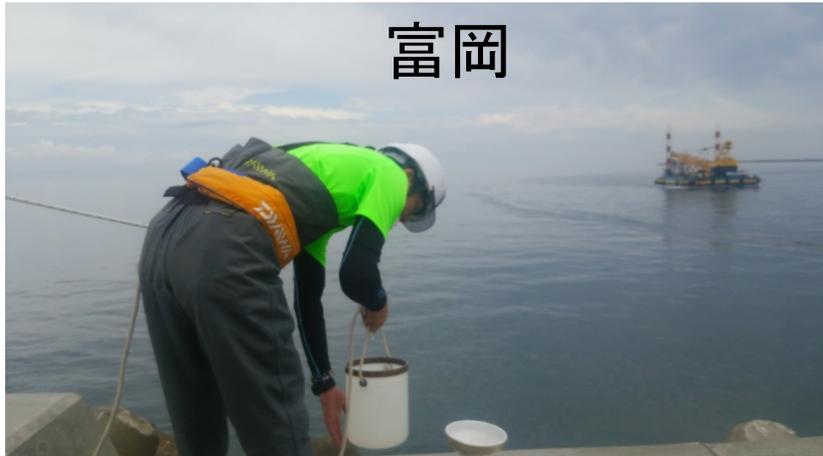
3.6 ± 0.7 PBq が海洋へ  
(Tsumune et al., 2013)

140 PBq が汚染水  
700 PBq が止まった原子炉内  
(Nishihara et al., 2011)

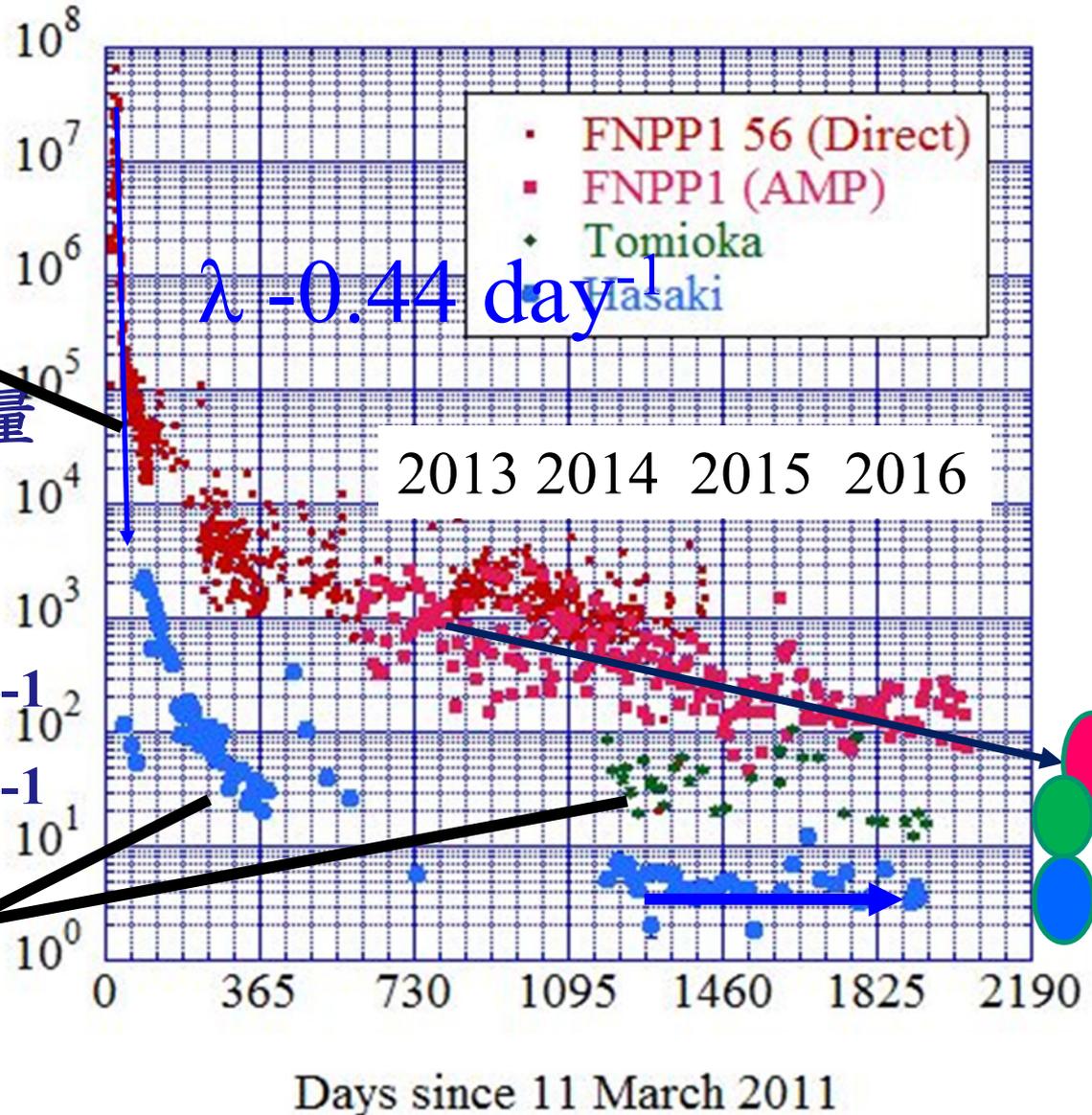
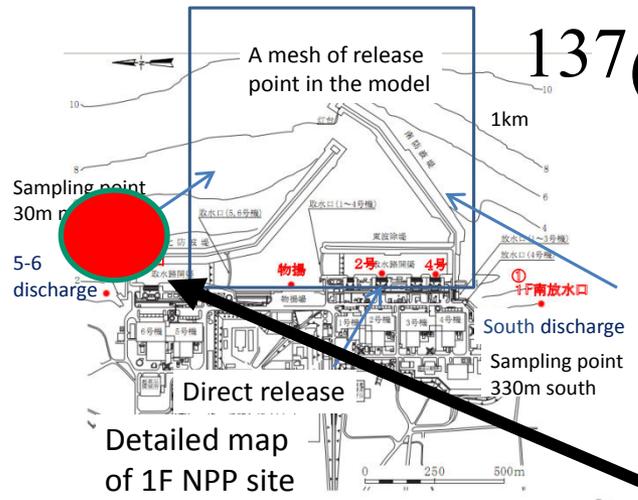
230 PBq recovered  
TEPCO unpublished data

# ここから沿岸の話

- ・福島県福島第一原子力発電所近傍、相馬、富岡、波崎での時系列: ソースはどこか? 変化の仕方の違いは?
- ・日本周辺表層海水での再循環の様相



# $^{137}\text{Cs}$ 放射能の変動と漏洩量



日当たりの $^{137}\text{Cs}$ 漏洩量

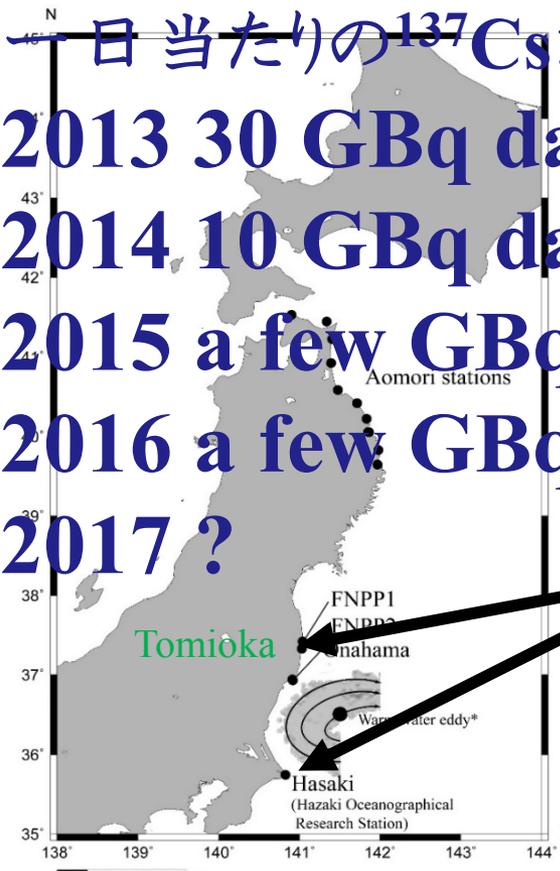
2013 30 GBq day<sup>-1</sup>

2014 10 GBq day<sup>-1</sup>

2015 a few GBq day<sup>-1</sup>

2016 a few GBq day<sup>-1</sup>

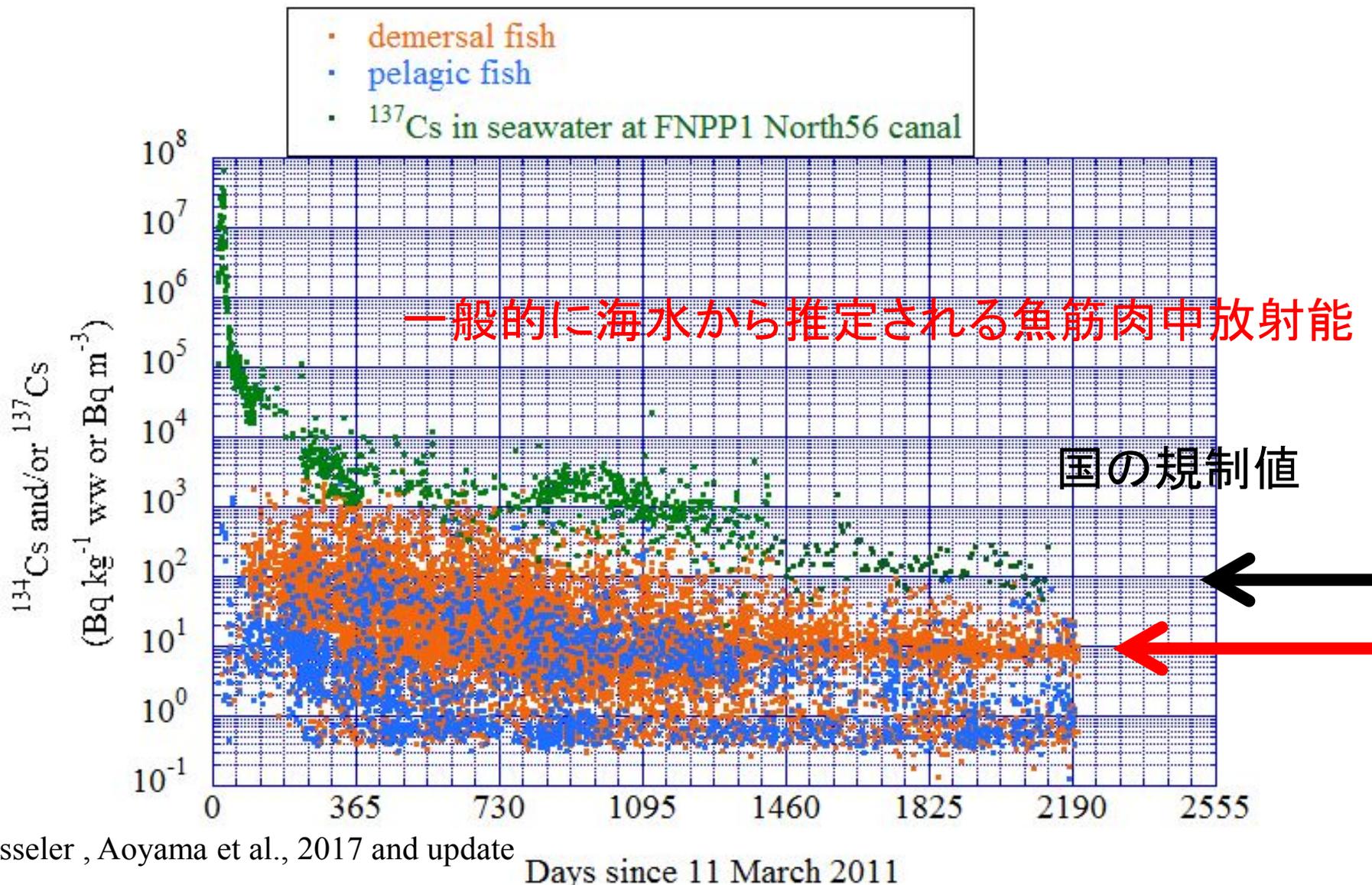
2017 ?



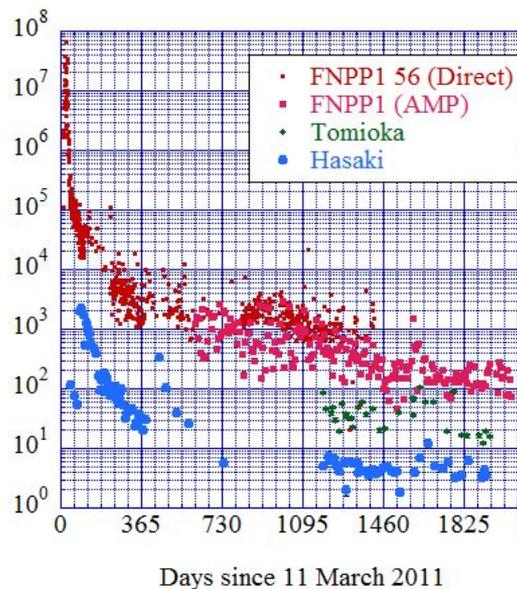
Today is 2331 days after the accident

Aoyama et al., 2016 and update

# About fish at coastal region of Fukushima, Japan until 23 March 2017



$^{137}\text{Cs} / \text{Bq m}^{-3}$

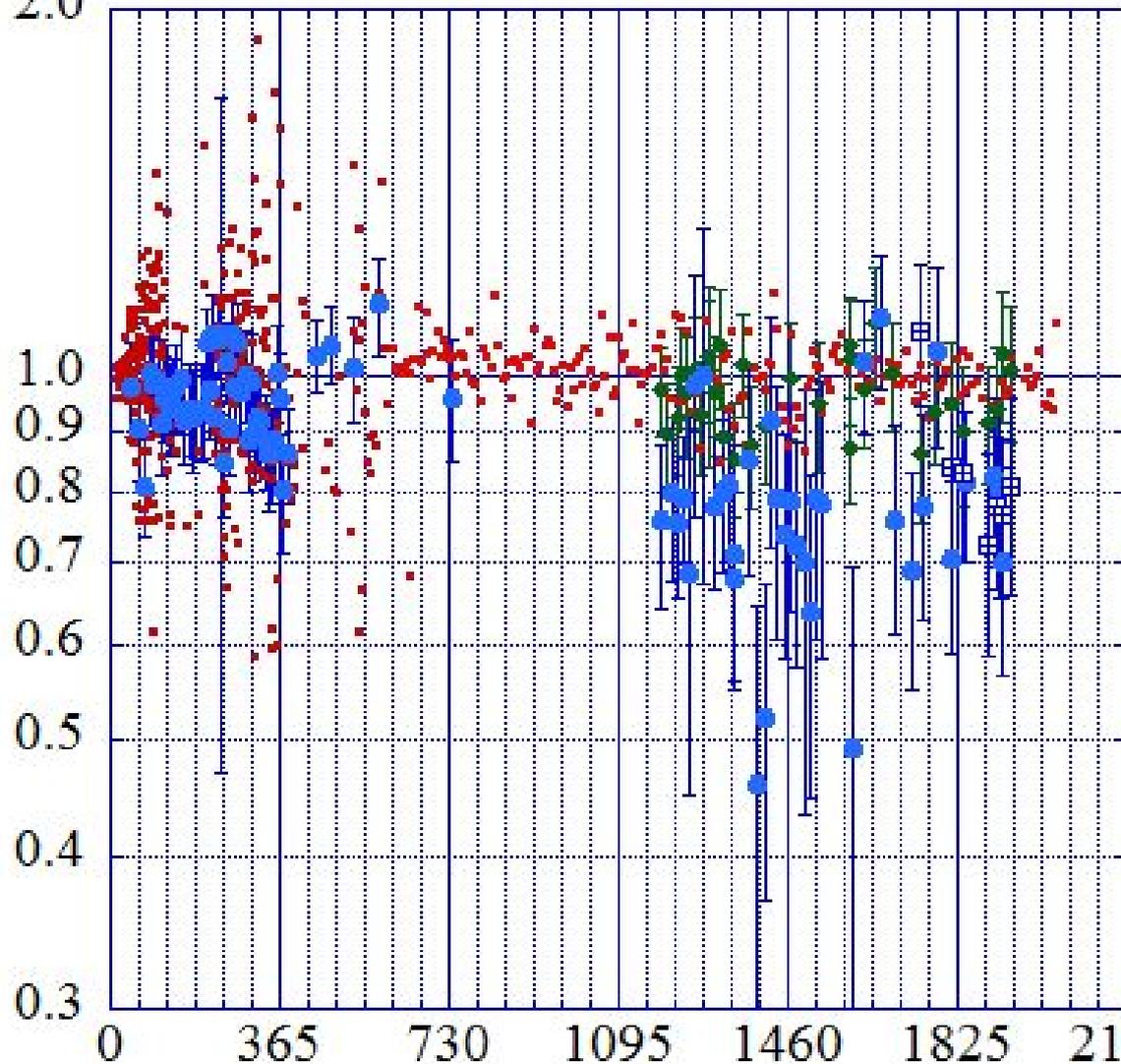


Days since 11 March 2011

2011年3月11日に  
半減期を補正した  
 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$   
放射能比

$^{134}\text{Cs}$  vs.  $^{137}\text{Cs}$  activity ratio on 11 March 2011

2.0



0 365 730 1095 1460 1825 2190

# ここから外洋の話

- 表層での輸送：モデルで良く再現できている
- 東経165度線等での観測結果：南向き輸送

# 2011年3月から2012年3月までに322 試料を商船や研究船に依頼して採取



R/V Mirai



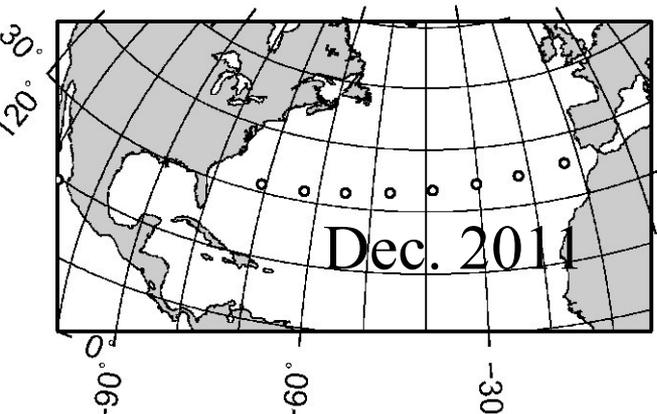
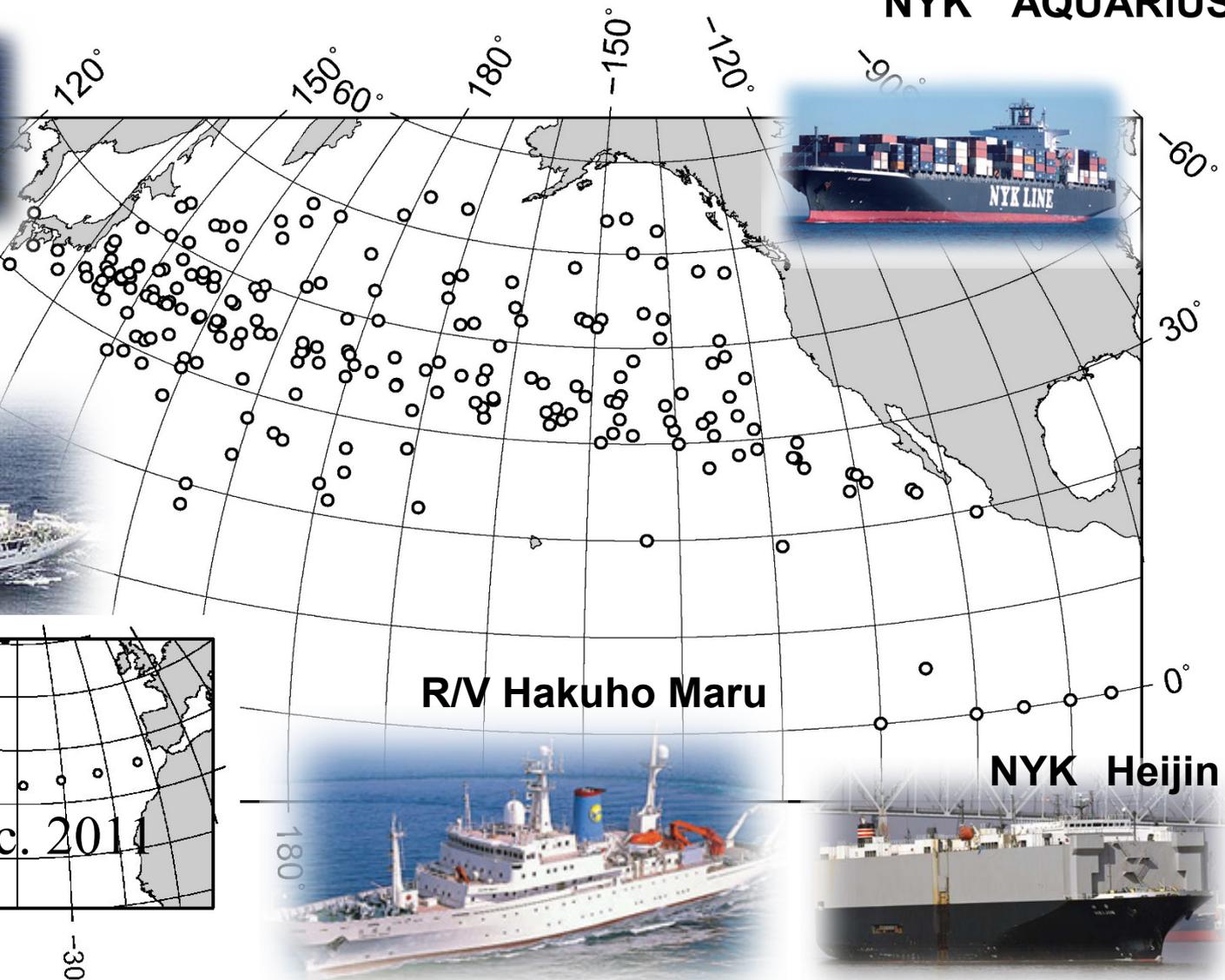
R/V Hakuho Maru



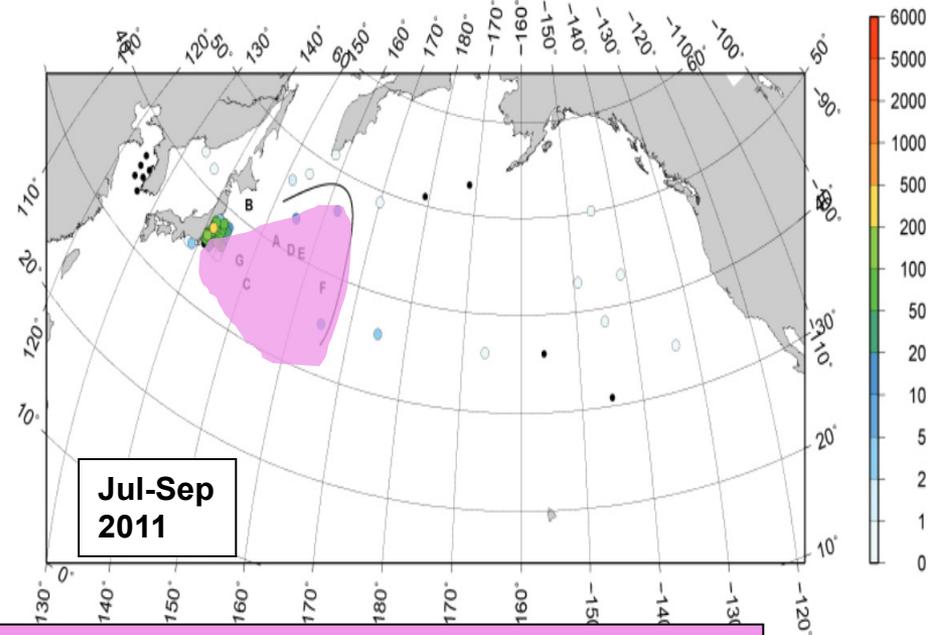
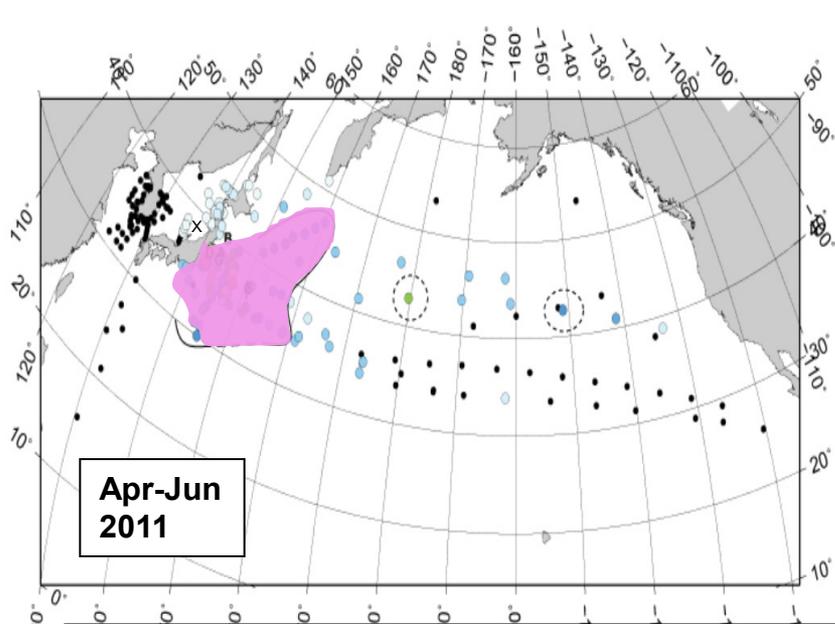
NYK AQUARIUS



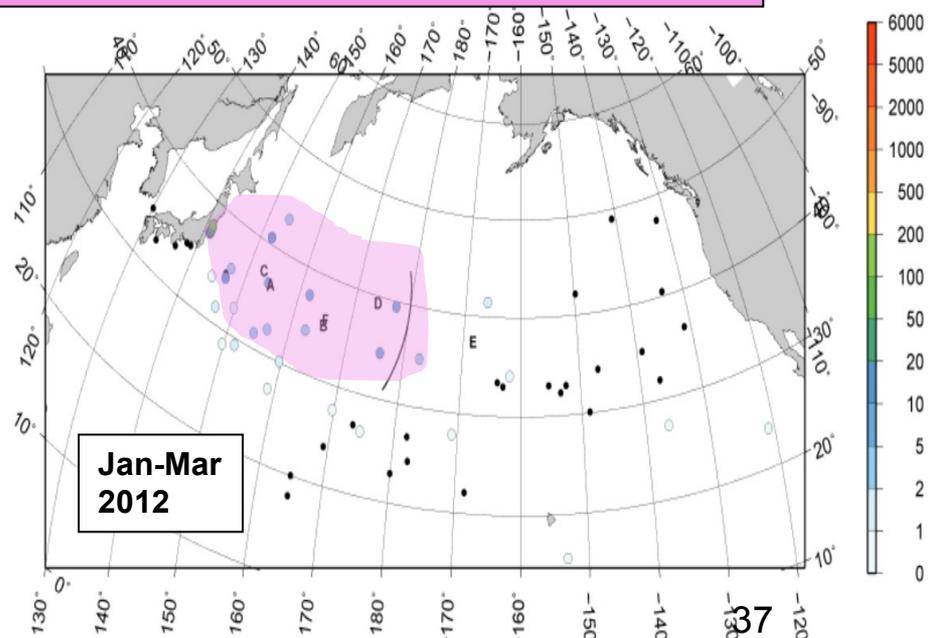
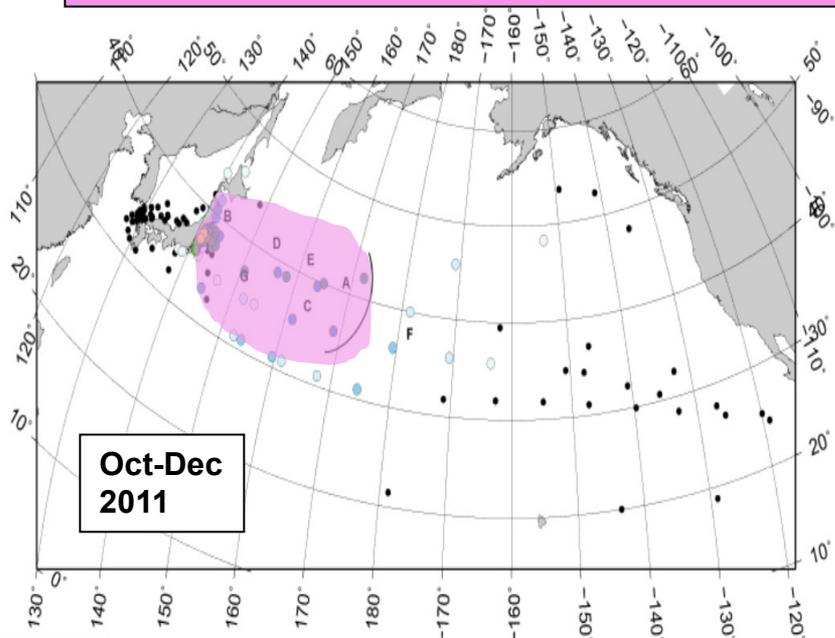
NYK Heijin



Dec. 2011

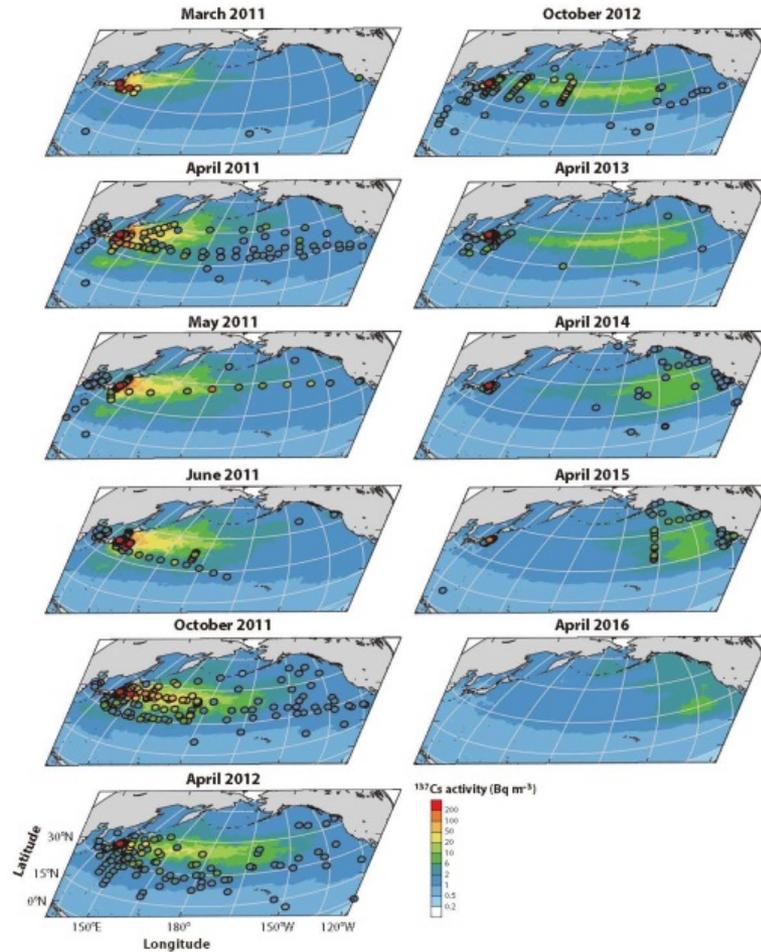


東への移動速度はおよそ一日あたり 7 km

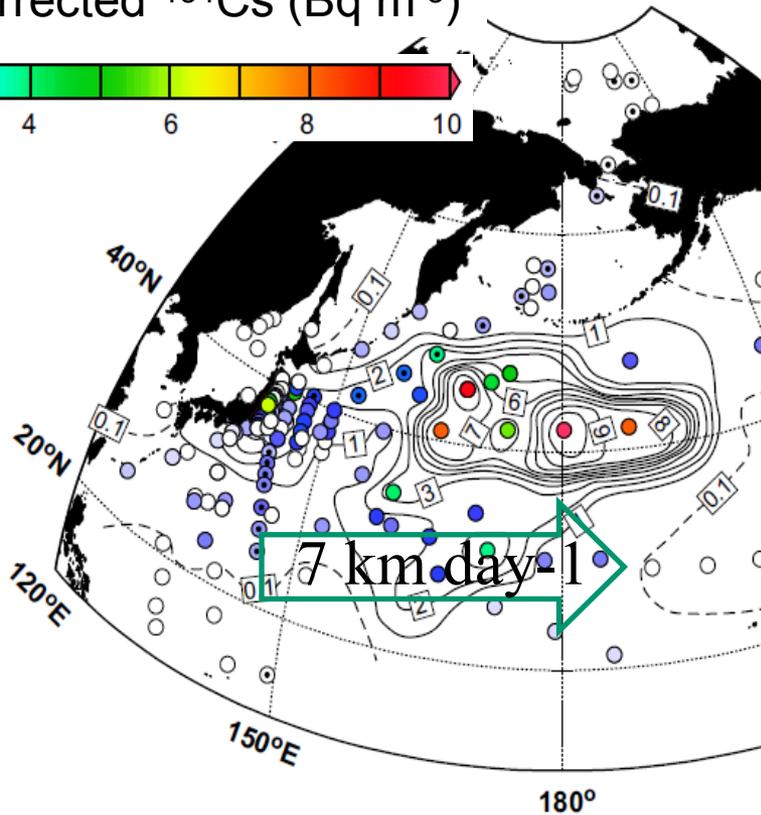


# モデル計算結果と観測の比較

Buesseler, Aoyama et al., 2017

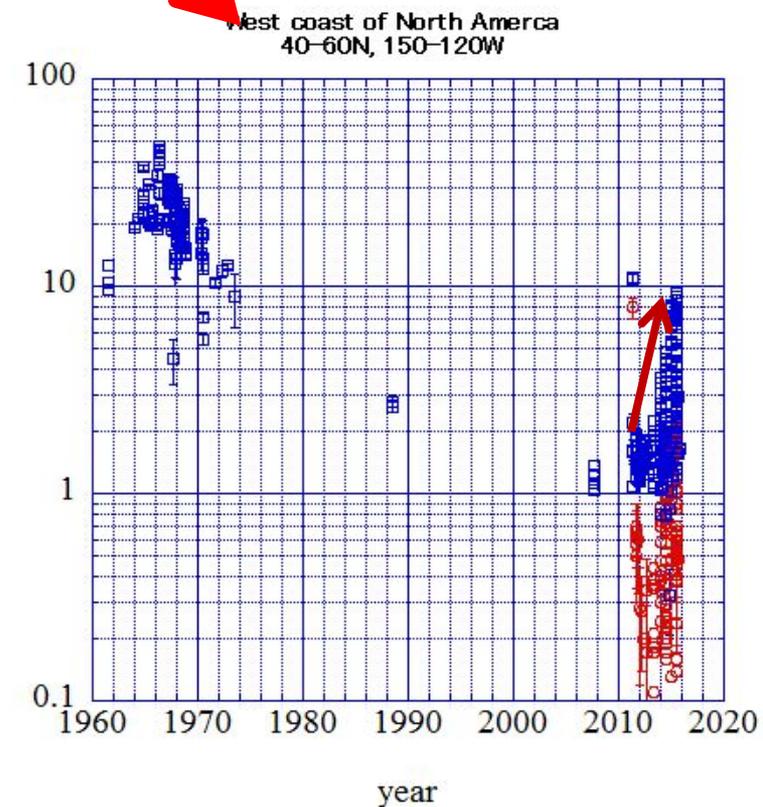


Decay-corrected  $^{134}\text{Cs}$  ( $\text{Bq m}^{-3}$ )



2012年8月から12月では  
太平洋の真ん中に移動

Top panel  
Kumamoto et al., 2014

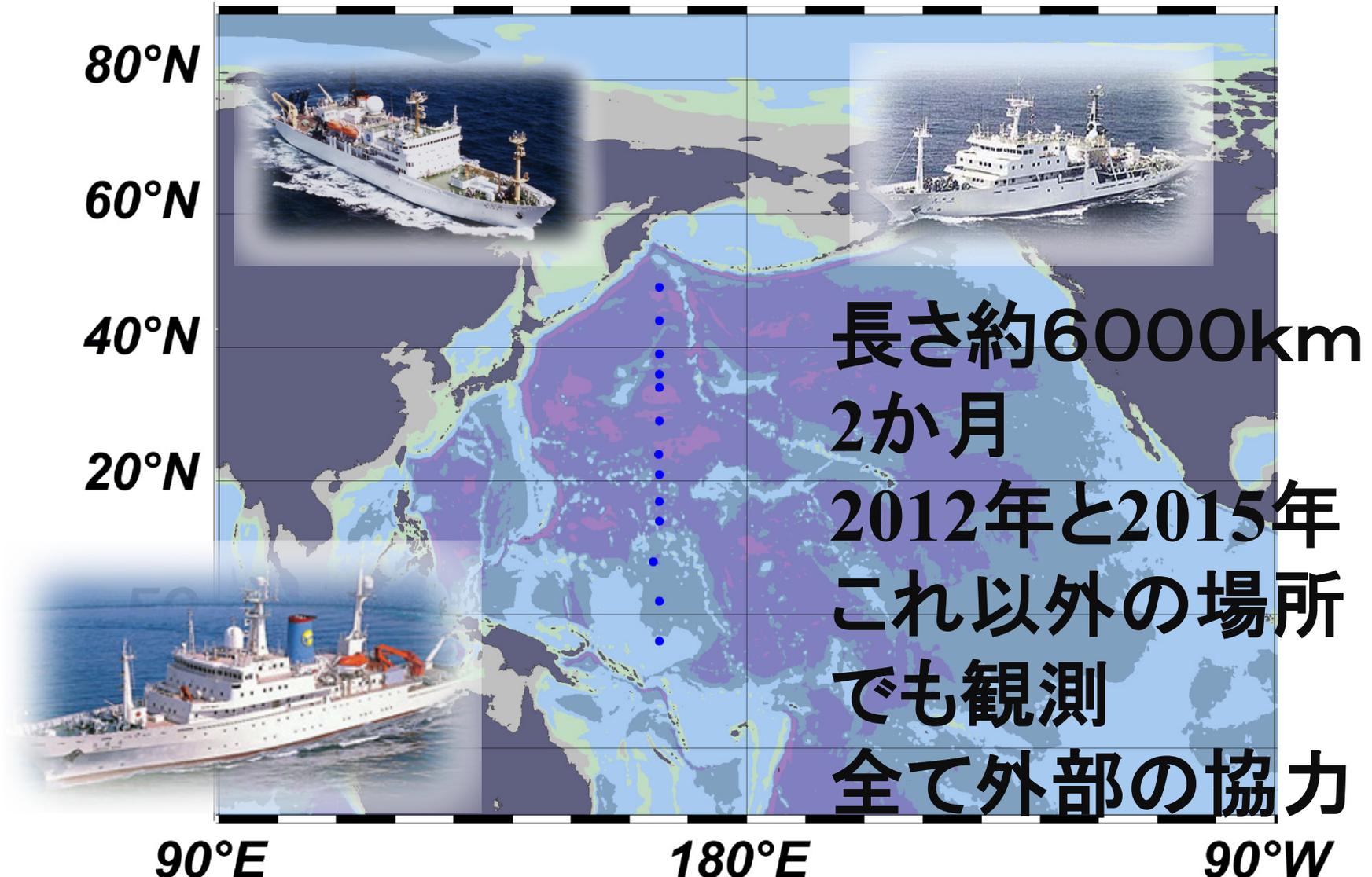


2014年くらいから北米大陸  
西海岸で順調に増加。

これは表層輸送

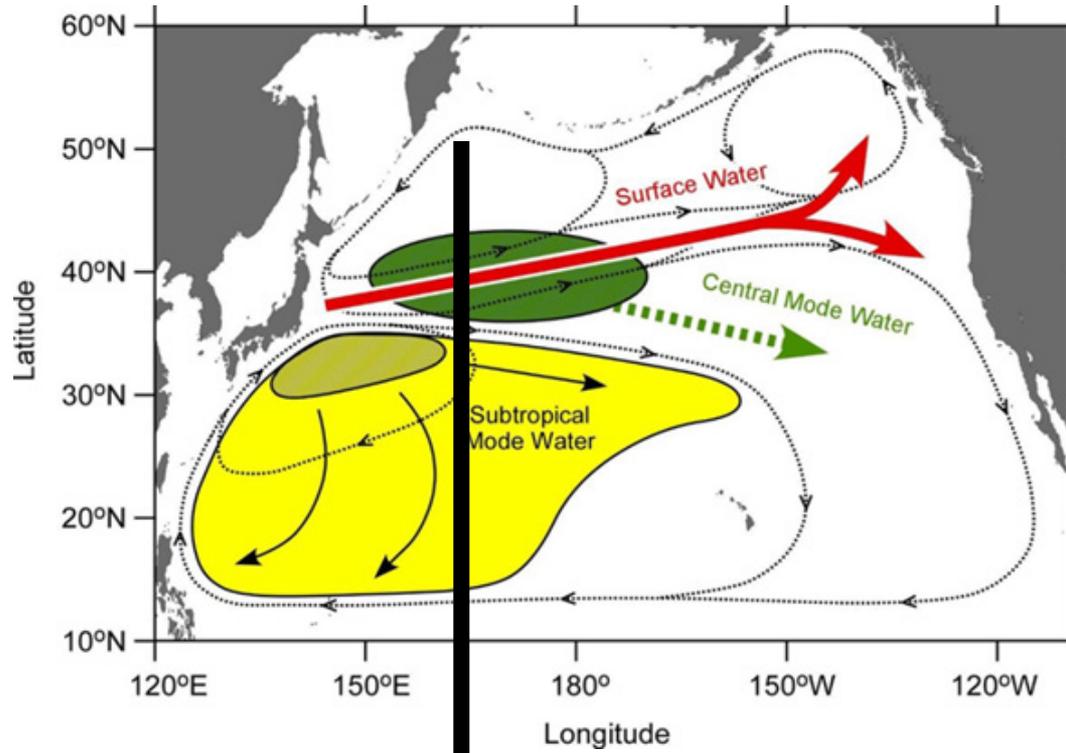
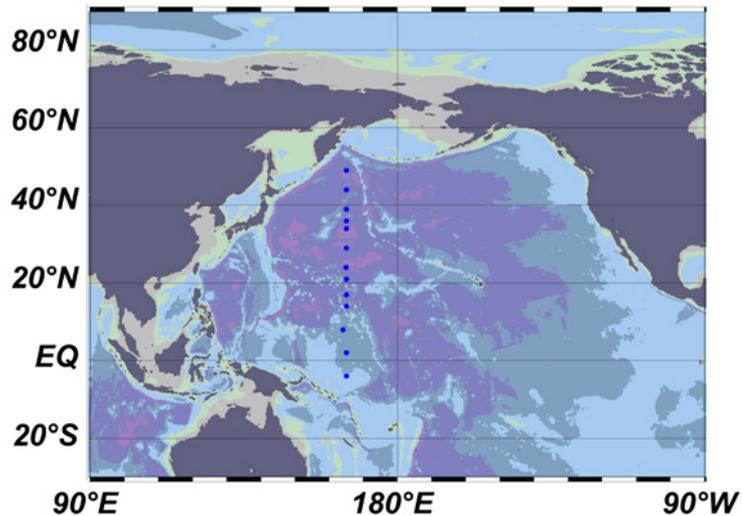
# 外洋内部での観測

重点：東経165度線、北緯50度から南緯4度



# Open water: ocean interior

- **STMW**
- **CMW**



Kumamoto et al., 2014

**Sampling station along 165 deg. E  
in 2002, 2012, 2015**



# 観測結果、研究成果はどのような役にたつか？

- ・ 海洋における人工放射能の実態が把握できる:放射性セシウムの海水中濃度の現状、海洋生物中の放射性セシウムの濃度の現状
- ・ トレーサとして海洋表層亜表層での他の物質の長期輸送の研究
- ・ 海洋大循環モデルの検証
- ・ 海洋環境中での人工放射性核種濃度の将来予測が可能となる:放射性セシウムの海水中濃度の推移の予測、魚筋肉中の放射性セシウムの濃度の推移の予測
- ・ 海洋環境中での人工放射性核種濃度の予測モデルの構築、精緻化
- ・ 海洋環境での原子力施設事故放出時等の総合的な影響評価
- ・ 気候変動、地球環境変動研究の道具の一つである海洋大循環モデルが高度化されることにより、この分野の研究の促進に寄与する
- ・ **科学の秩序ある発達の基礎を作る**

# まとめ

- 環境中の $^{137}\text{Cs}$ は長半減期であるがゆえに地球上に広がり、長期に存在する。従って、放射線防護の観点から、監視されなければならない核種である。長期途切れることのない観測は、影響評価の基礎となり、将来予測の基礎となる。また、現在の知見では予測できない現象も起きるので、観測は重要。**過去と現在を知れば予測可能。**
- 福島事故により大気環境に放出された $^{137}\text{Cs}$ の総量を明らかにした。総量は、15 - 20 PBq。福島事故により海洋環境に放出された人工放射性核種の北太平洋における分布と総量を明らかにした。総量は直接漏洩もあわせて15 - 18 PBq。これは核実験分に対し約25%の増加
- 海洋内部へ輸送された放射性セシウムの極一部は再循環で日本周辺の沿岸表面にすでに再循環している。
- 今後も、環境中の $^{137}\text{Cs}$ の観測を続けることは、放射線防護ばかりでなく地球環境変動研究の観点からも重要である。



御清聴ありがとうございました