



東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo



独立行政法人
海上技術安全研究所
National Maritime Research Institute.



国立大学法人
九州工業大学

海底土セシウム137アノマリーの発見と分布調査

水産庁

三井物産環境基金

福島県漁業協同組合連合会

福島県水産試験場

宮城県漁業協同組合

宮城県水産技術総合センター

公益財団法人海洋生物環境研究所

独立行政法人水産総合研究センター

芙蓉海洋開発株式会社

東京大学生産技術研究所

ソーントン ブレア (特任准教授)

海上技術安全研究所

小田野 直光 (海洋リスク評価系長)

大西 世紀 (主任研究員)

浦 環 (水中工学センター長)

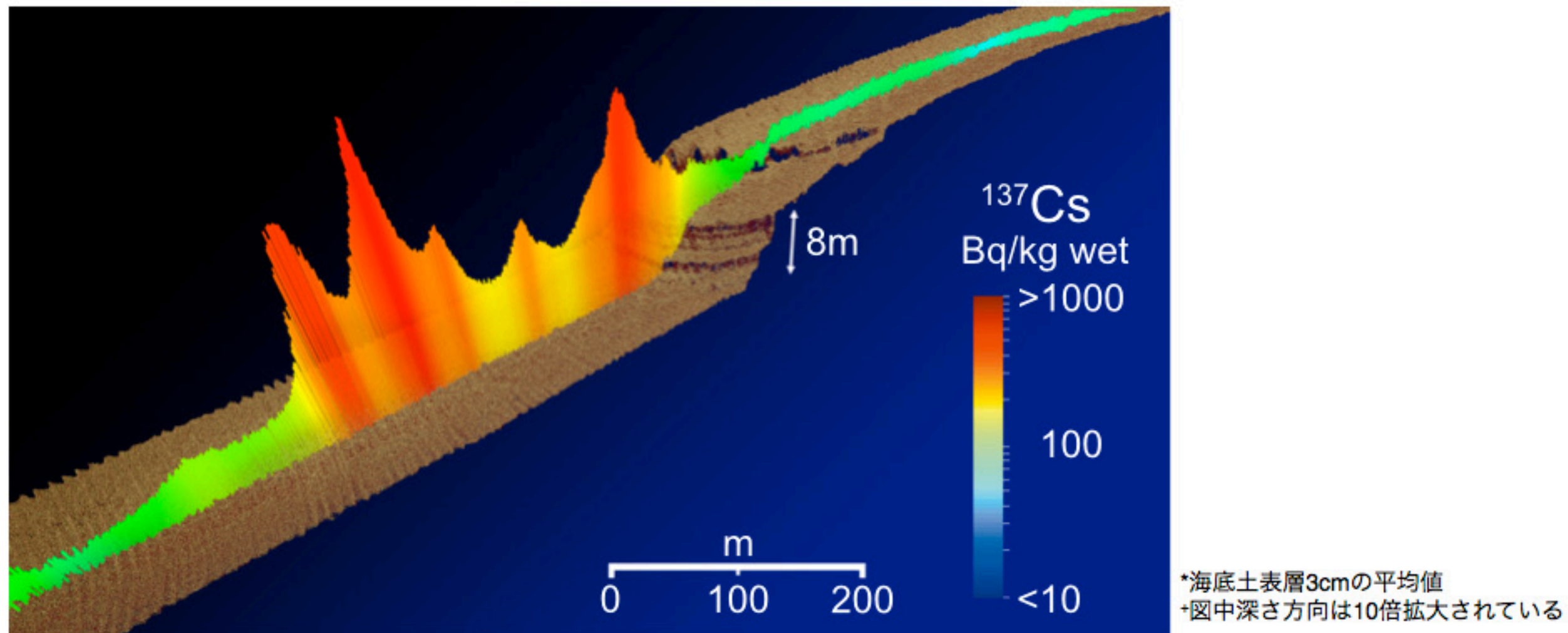
九州工業大学社会ロボット具現化センター

浦 環 (センター長・特任教授)

海底土の ^{137}Cs アノマリー



- 福島第一原子力発電所の20km圏内および阿武隈川の河口付近で海底土の ^{137}Cs アノマリーを発見し、その大きさと分布をマッピングした。

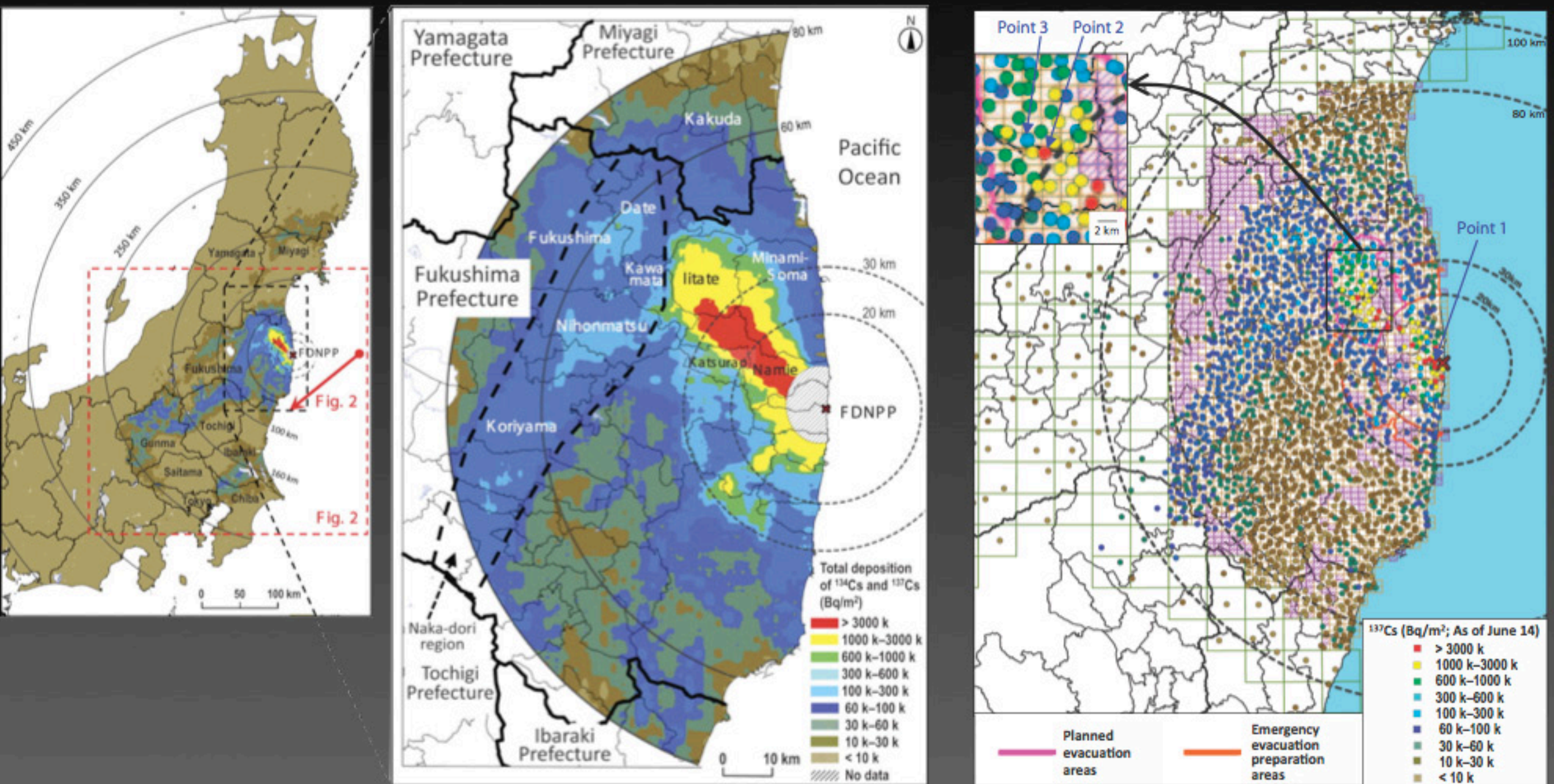


福島県第一原子力発電所から7kmの場所（水深32m）で計測された ^{137}Cs アノマリー
凹み地形の底で ^{137}Cs のレベルが320mの範囲で局所的に周辺海域より数倍高くなっている

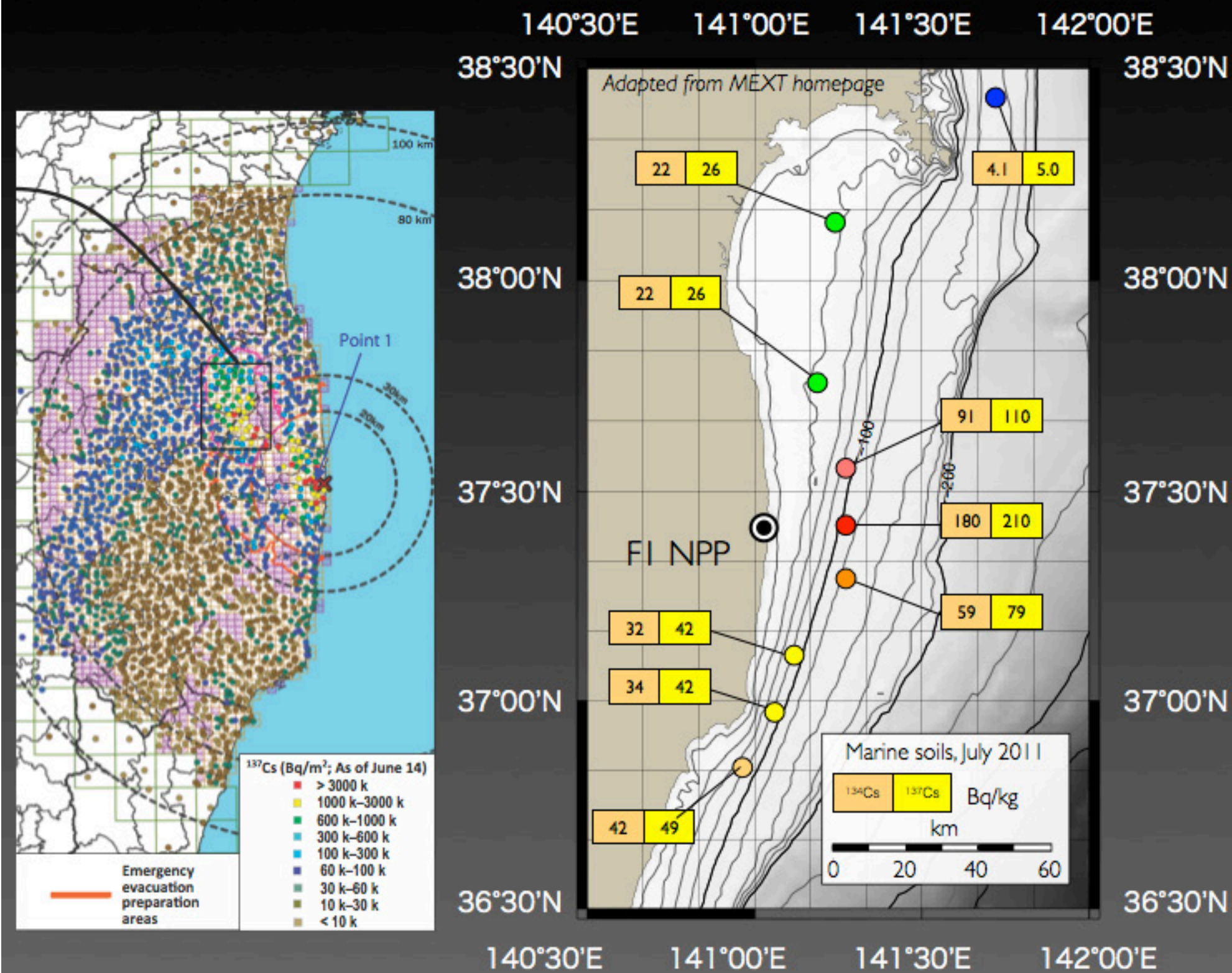
- 福島県・宮城県・茨城県において約400kmの海底土を調査した結果、特殊な地形、また河口付近において、数10ヶ所でアノマリーを発見した。
- 今後の対策を検討する上で、アノマリーの大きさ、分布を詳細に把握することが必要不可欠である。

陸上における ^{137}Cs の分布

ELEMENTS June 2012 vol. 8 no. 3 201-206 (Modified from data measured by MEXT and DOE)



- ・ 航空機を用いたマッピング・狭い間隔のサンプリングによる調査
- ・ 事故の3ヶ月以内に陸における ^{137}Cs の分布を把握

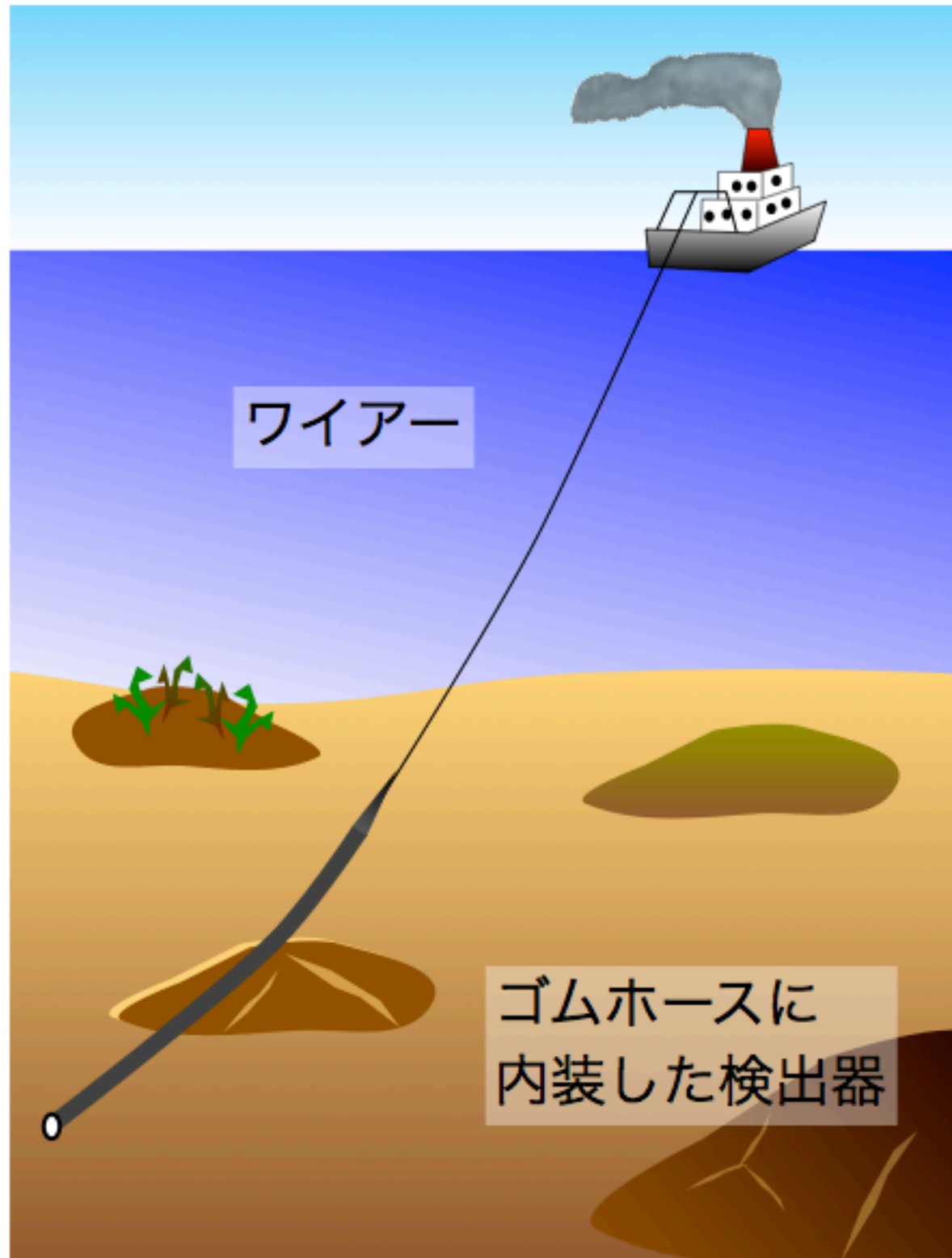


- ・ 同じ時期に海底度で計測されていた ^{137}Cs 分布
- ・ 陸上と比べ情報の量が大幅に少ない

海底

曳航式ガンマ線計測装置

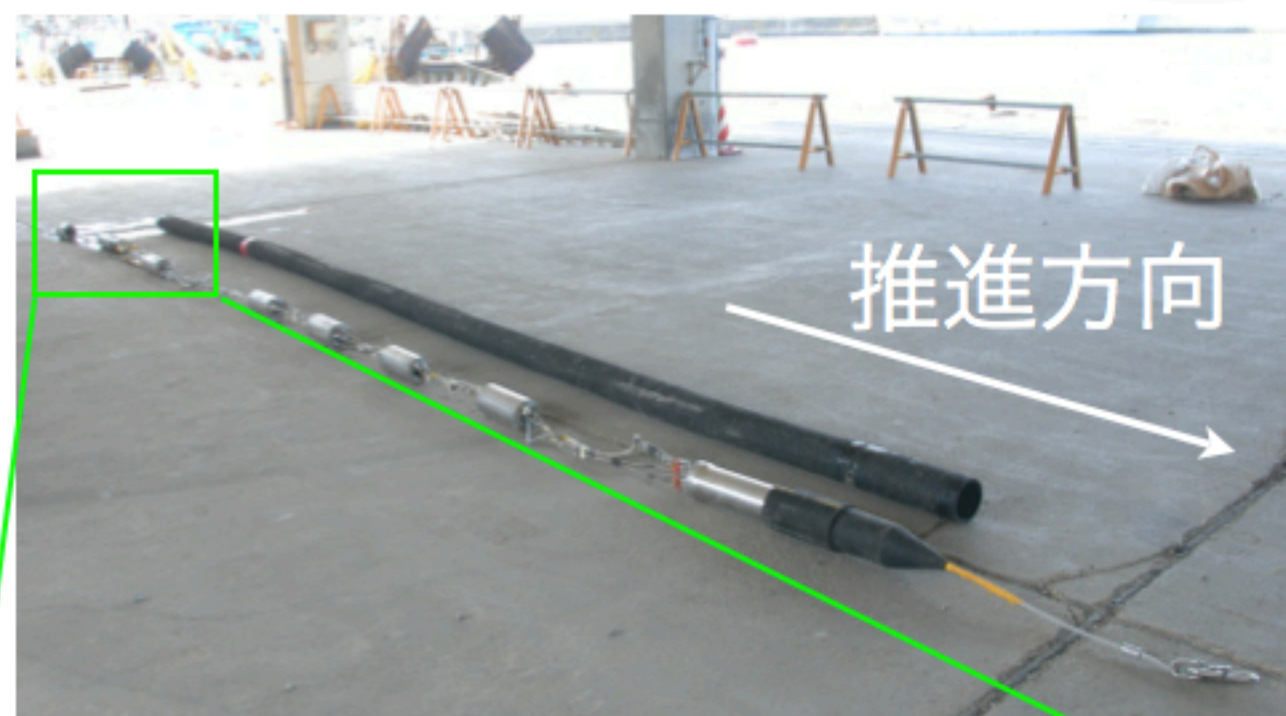
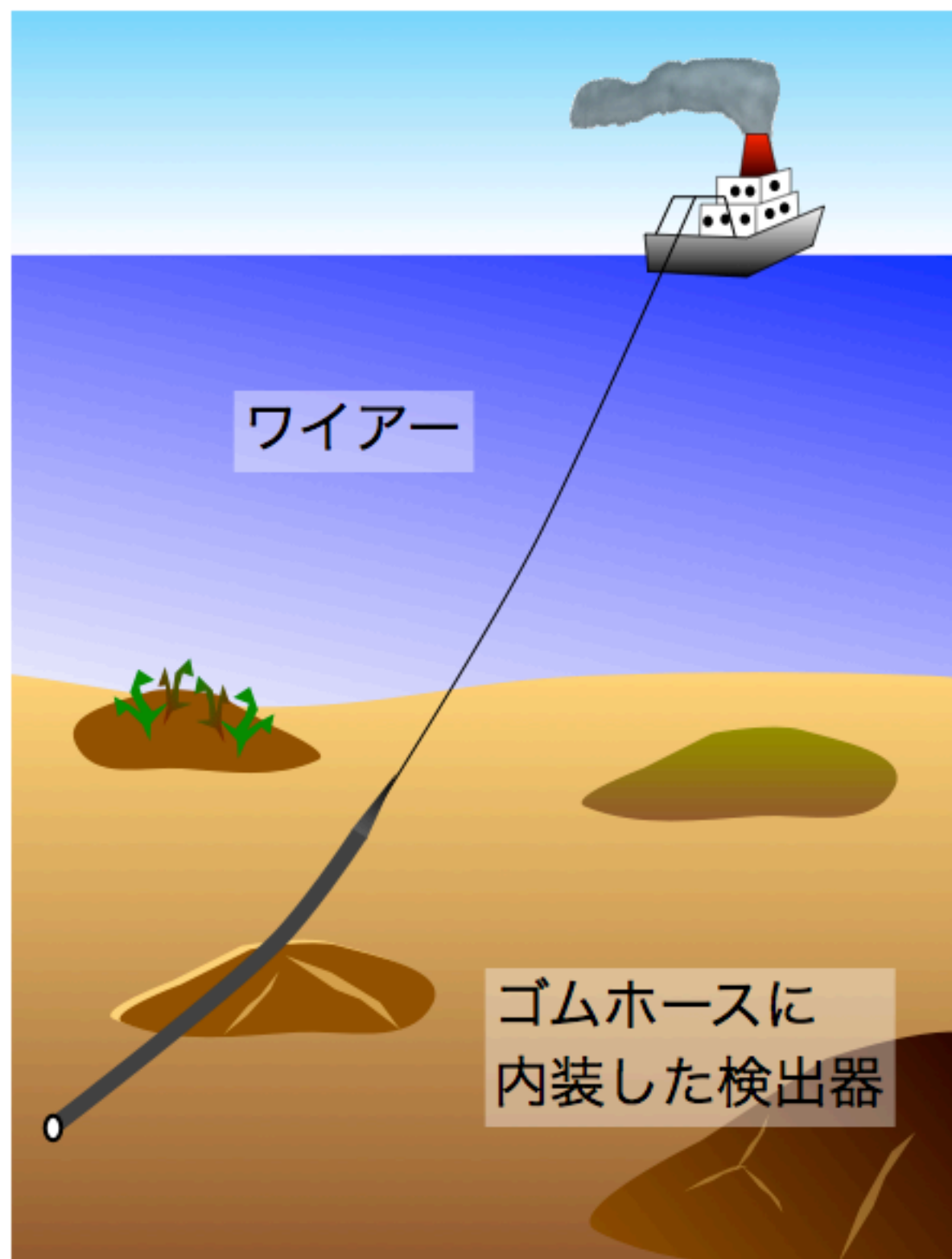
Towed gamma-ray spectrometer



寸法	φ0.15×8m
重量	空中：135kg (水中：115kg)
耐圧深度	500m
曳航速度	2knot
計測距離	40km/day
検出器	3x3inch NaIシンチレータ
計測	0.1～1.8MeV 1024ch, 1Hz
その他	スタンドアロンモード、リアルタイムデータ転送モード、深度センサ、3軸か速度計、マイク、温度計

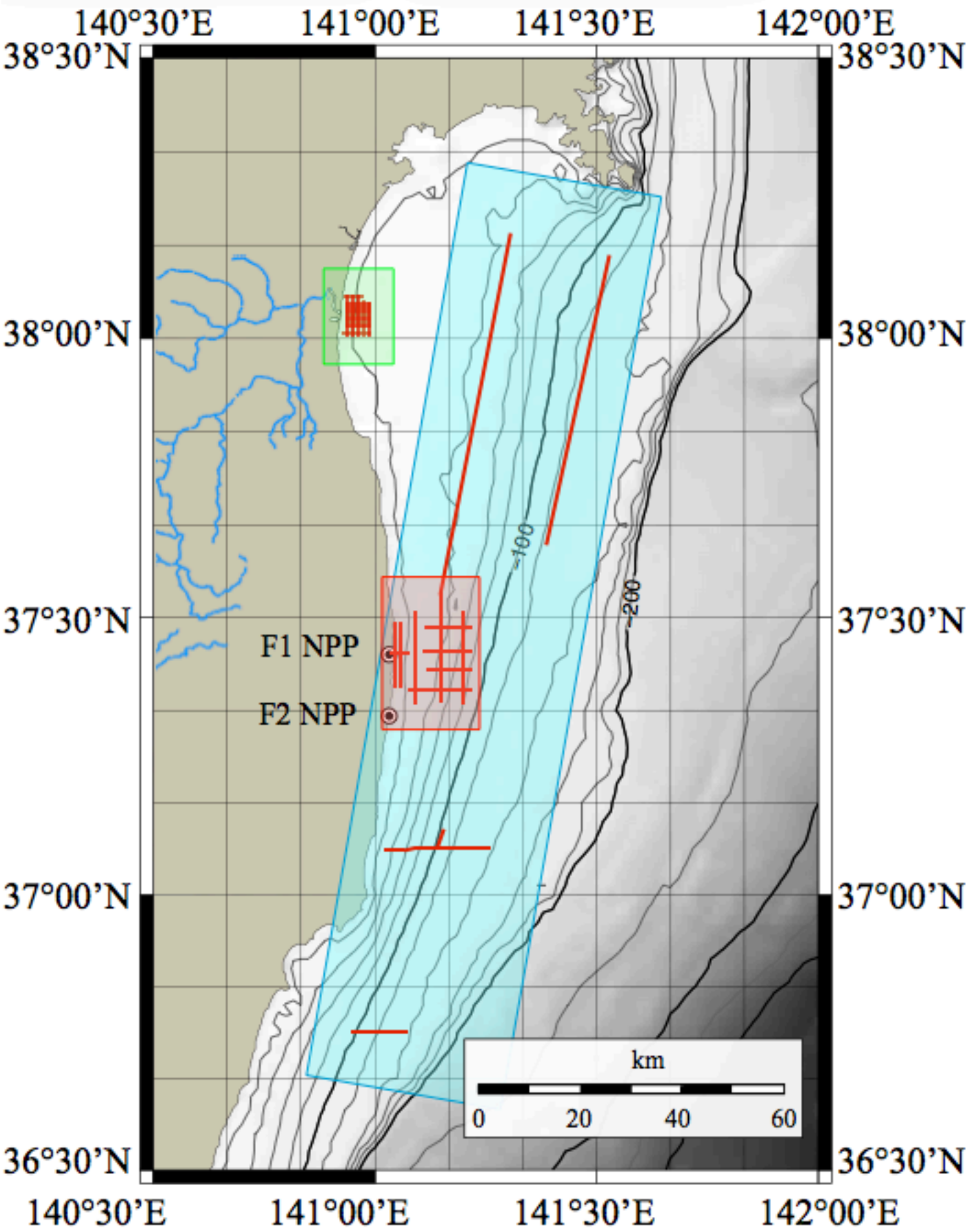
曳航式ガンマ線計測装置

Towed gamma-ray spectrometer



調査海域・利用船舶

Survey areas and ships used for deployment



時期	場所	距離
8/2012 - 11/2012	北茨城沖、いわき沖	37 km
11/2012 - 2/2013	F1NPP20km圏内	141 km
2/2013	仙台湾	144 km
3/2013 - 7/2013	阿武隈川河口付近	77 km
5/2013	伊豆沼	22 km
	総曳航距離	421 km

第八海洋丸 (404tonnes)



蒼鷹丸 (892tonnes)



第七海洋丸 (499tonnes)



こたか丸 (59tonnes)



静丸 (17tonnes)



亘理丸 (9tonnes)



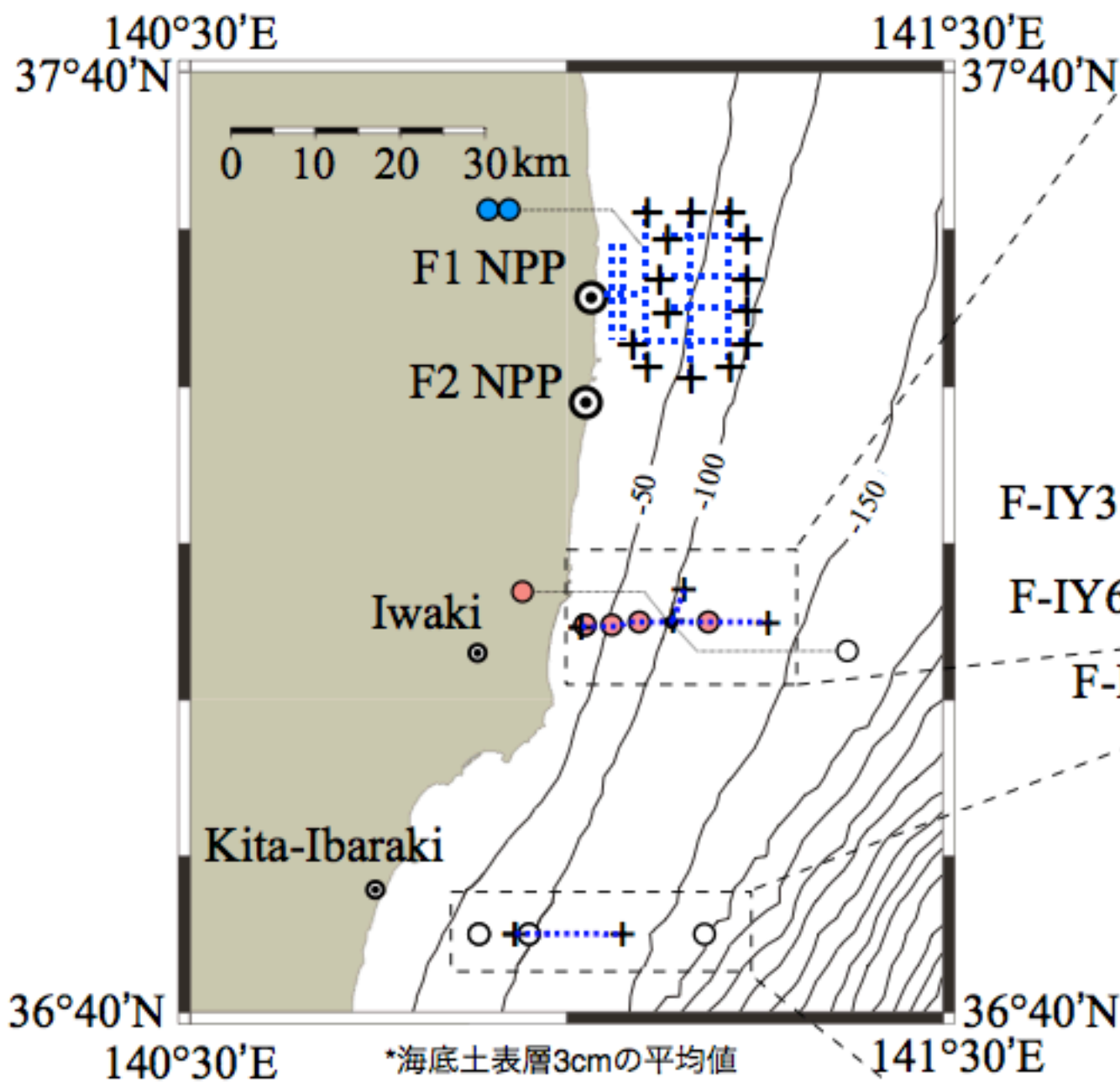


北茨城・いわき沖調査結果

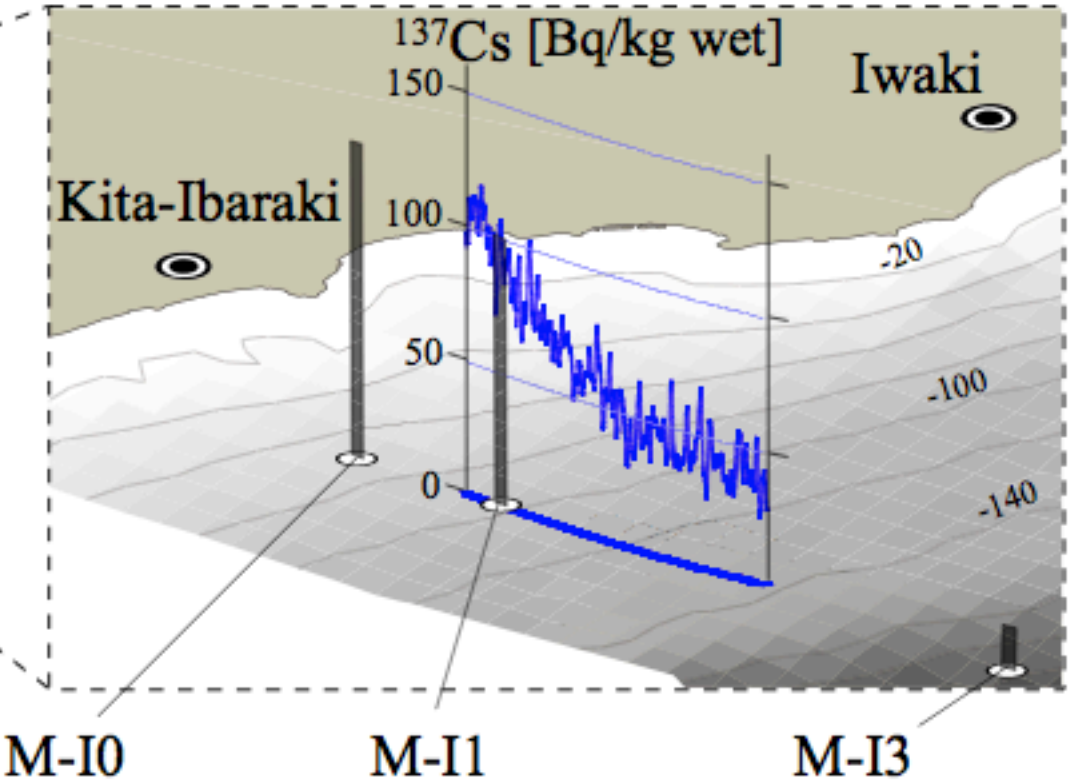
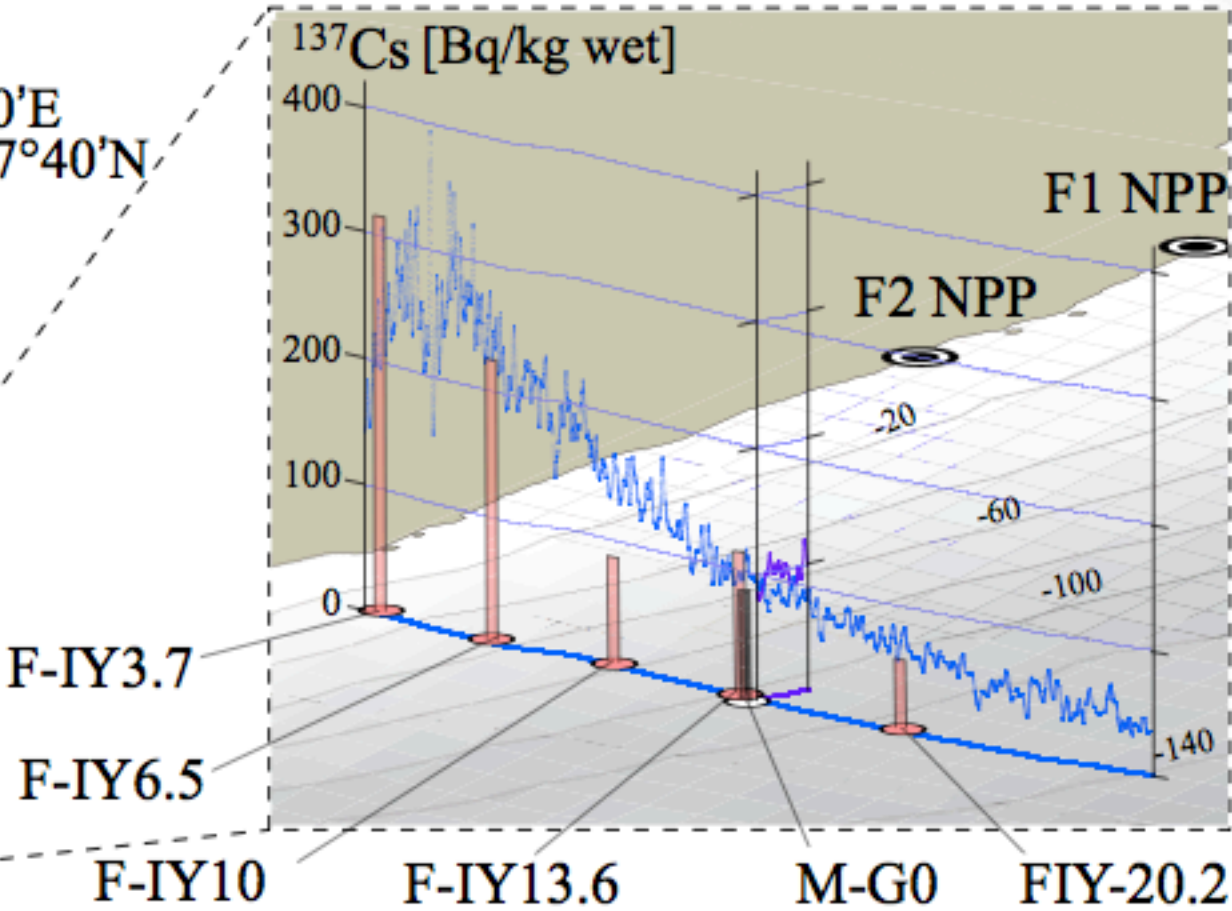
Off Kita-Ibaraki and Iwaki



Thornton et al. Deep-Sea Research I 79 (2013) 10-19

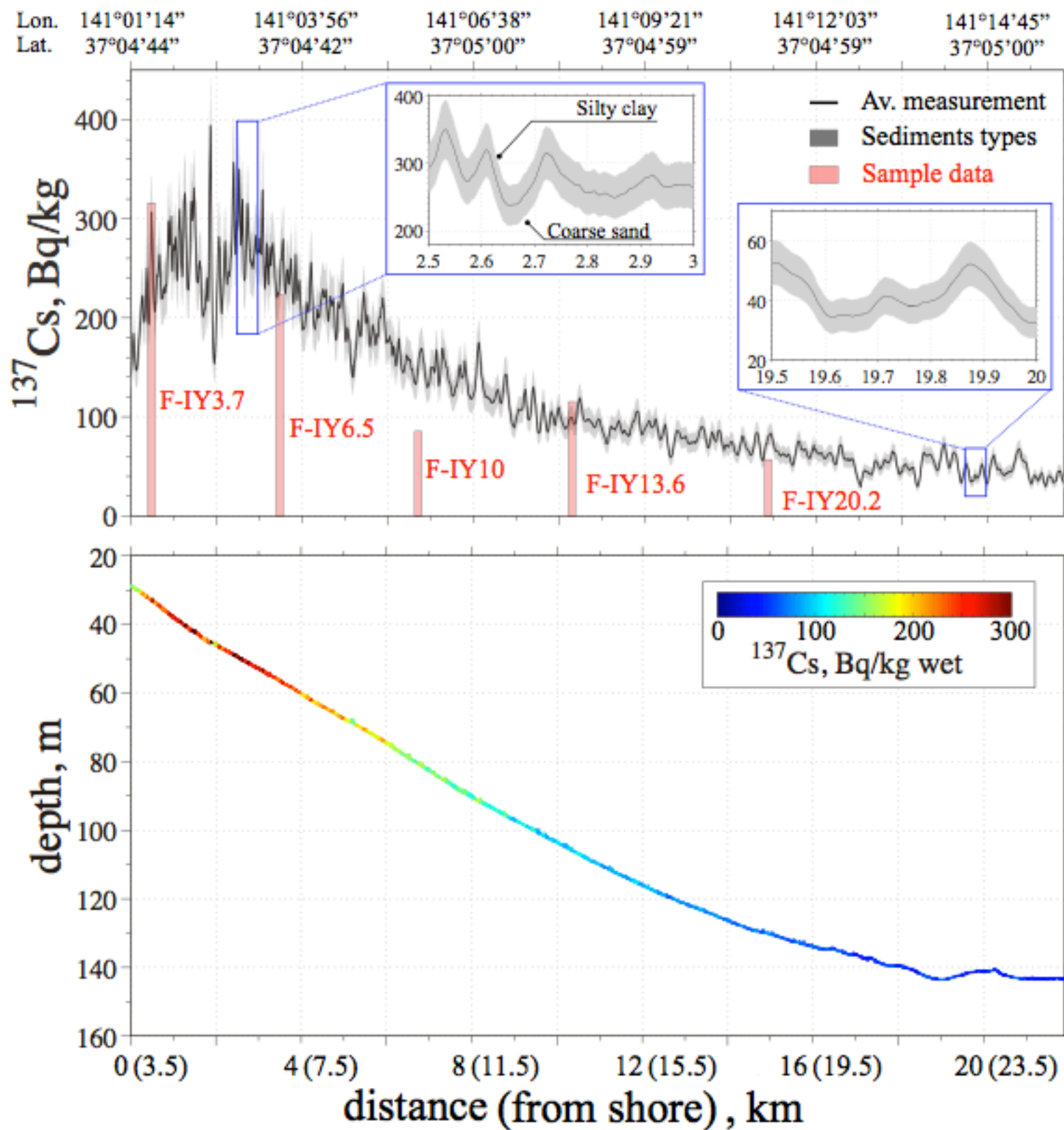


- Transect
- Sampling (MEXT)
- Sampling (Fukushima Prefecture)
- Sampling (FRA)



北茨城・いわき沖調査結果

Off Kita-Ibaraki and Iwaki



*海底土表層3cmの平均値

- ・ 2012年11月7日に曳航調査を実施
- ・ いわき四倉の海岸から3.5kmから25.5kmを調査（計測距離22km）
- ・ 翌日曳航線上で5点をサンプリング

サンプリング 曳航計測

Sample	Date	Depth m	^{137}Cs Bq/kg wet	^{137}Cs Bq/kg wet
F-IY3.7	2012/11/8	28	316	226±30
F-IY6.5	2012/11/8	54	224	256±34
F-IY10	2012/11/8	77	86	167±22
F-IY13.6	2012/11/8	102	115	98±13
F-IY20.2	2012/11/8	125	57	69±9

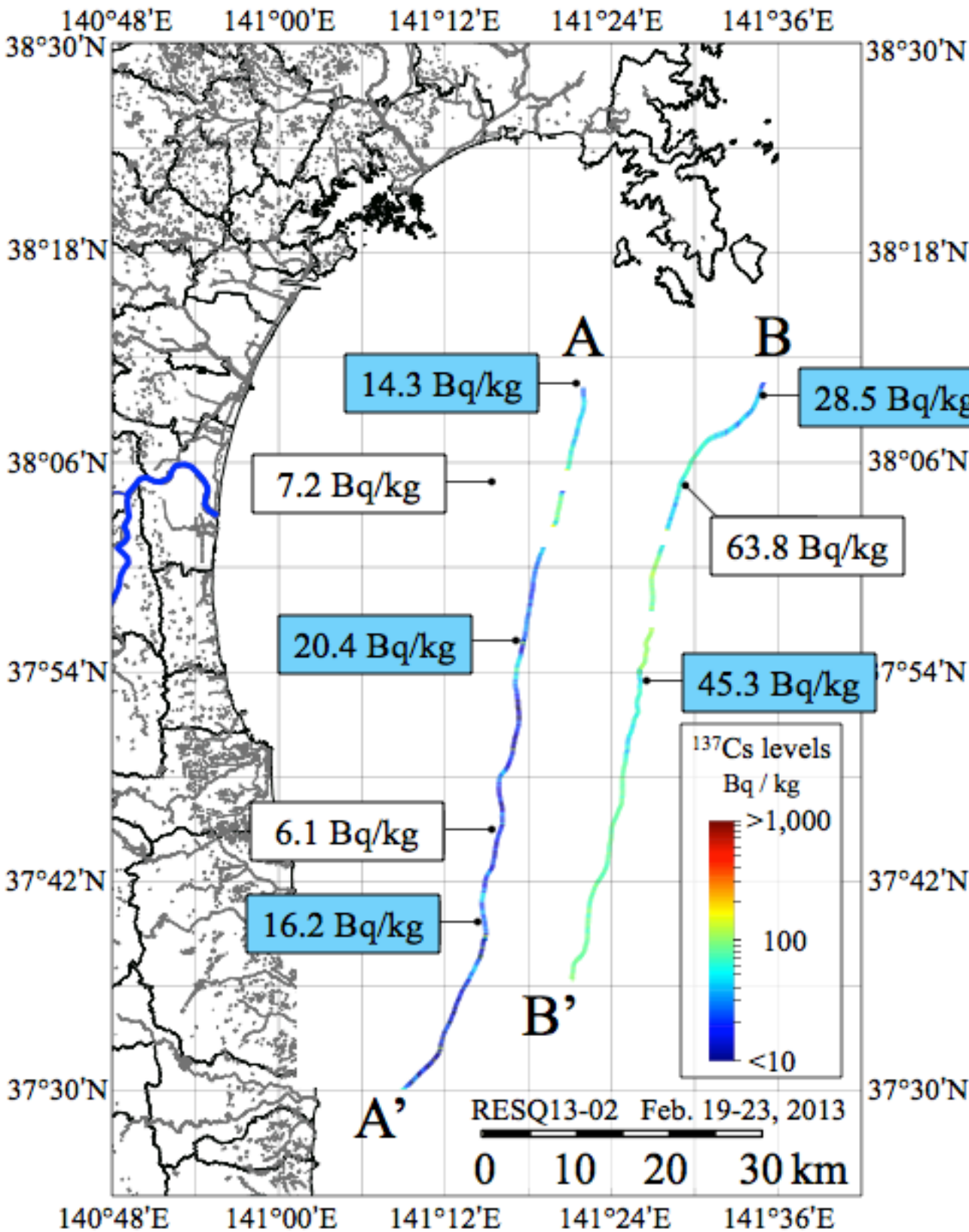
Fukushima Prefecture, 2012. Environmental Radiation Monitoring Survey Report for November 2012

*サンプルポイント
1km半径内の平均値

- ・ 沖合5.4km（深度45m）で ^{137}Cs のレベルは394 Bq/kg wet
- ・ 沖合3.5kmまで下がる傾向
- ・ 沖合25.5km水深144mで45 Bq/kg wetまで下がる傾向（最大値の1/9）
- ・ ^{137}Cs のレベルに急な変化は見られない

仙台湾調査結果

Sendai bay survey results



- ・ 2013年2月19~23日に曳航調査を実施
- ・ 総距離144kmの曳航調査
 - ⇒ 60mの等深線(AA')で77km
 - ⇒ 120mの等深線(BB')で67km
- ・ 曳航調査中に5点をサンプリング、文部科学省の調査と合わせて7点のサンプルでデータを検証

サンプリング 曳航計測

Sample	Date	Depth m	¹³⁷ Cs Bq/kg wet	¹³⁷ Cs Bq/kg wet
T-SN35	2013/2/19	57	14.3	30±5
T-SW33	2013/2/20	60	20.4	29±5
T-SM20	2013/2/20	61	16.2	16±3
T-SN55	2013/2/22	125	28.5	30±5
T-SW45	2013/2/22	120	45.3	51±7
M-B3	2013/1/16	119	63.8	61±8
M-C1	2013/1/20	55	6.1	<10

*サンプルポイント
1km半径内の平均値

*海底土表層3cmの平均値

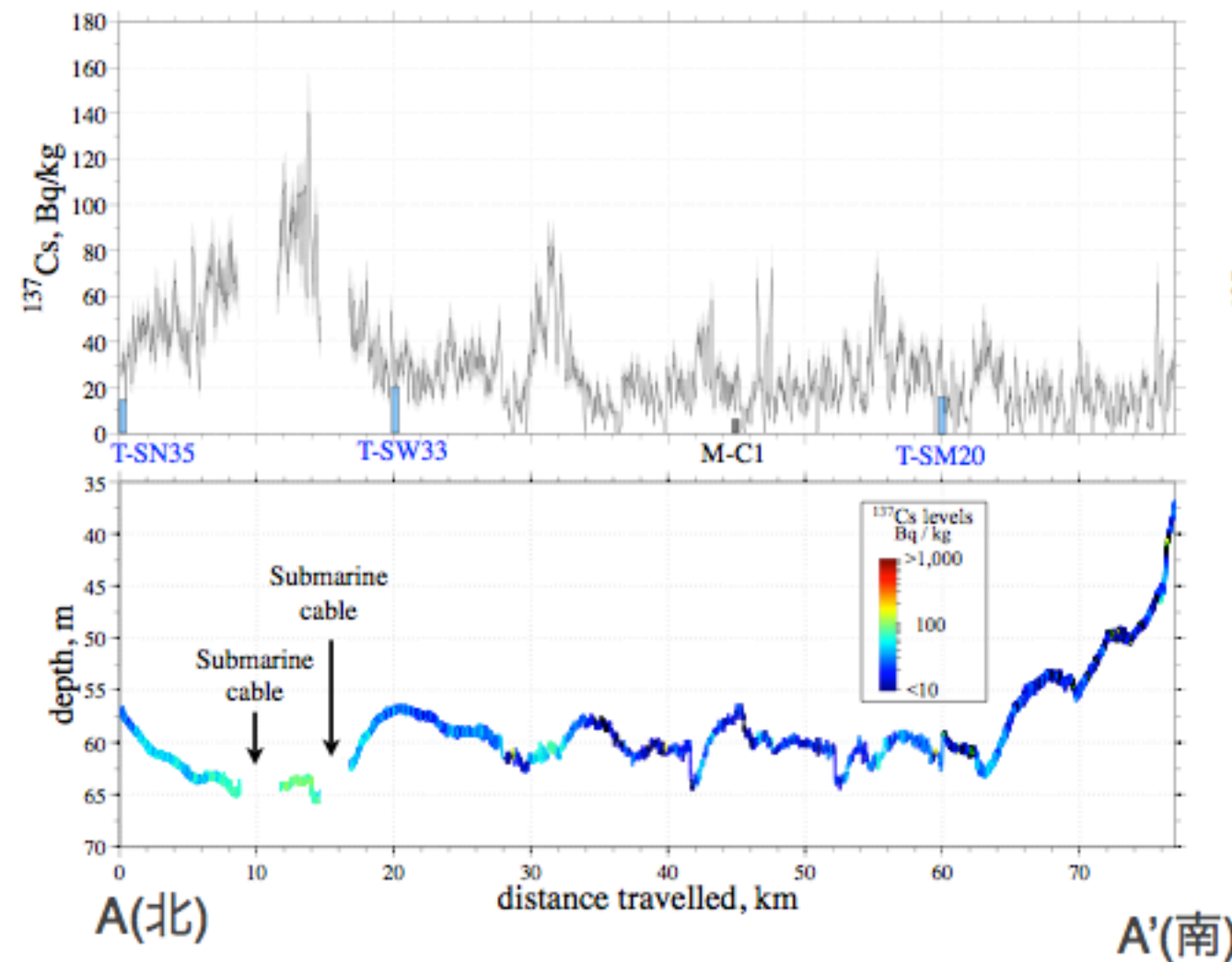
Sampling (Uni. Tokyo) Sampling (MEXT)

仙台湾調査結果

Sendai bay survey results

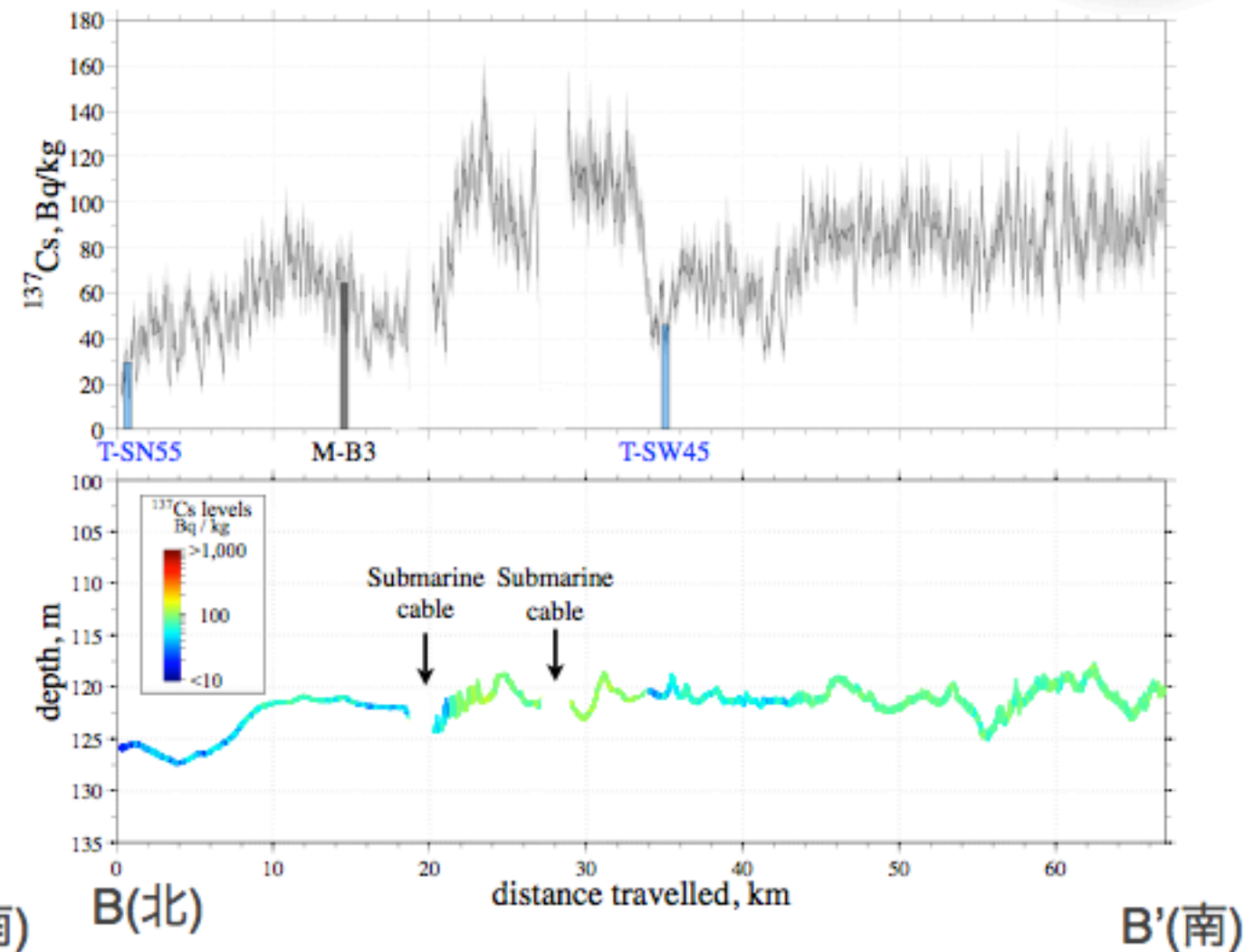


60m等深線



- 60m深度の測線の平均は 30 ± 5 Bq/kg
計測の標準偏差は 21 ± 2 Bq/kg
- $38^{\circ}03'N$ 付近で6kmより短い距離の間で ^{137}Cs のレベルは 141 ± 17 Bq/kg
- $38^{\circ}00'N$ より南の平均は 20 ± 2 Bq/kg
- ^{137}Cs のレベルに急な変化は見られない

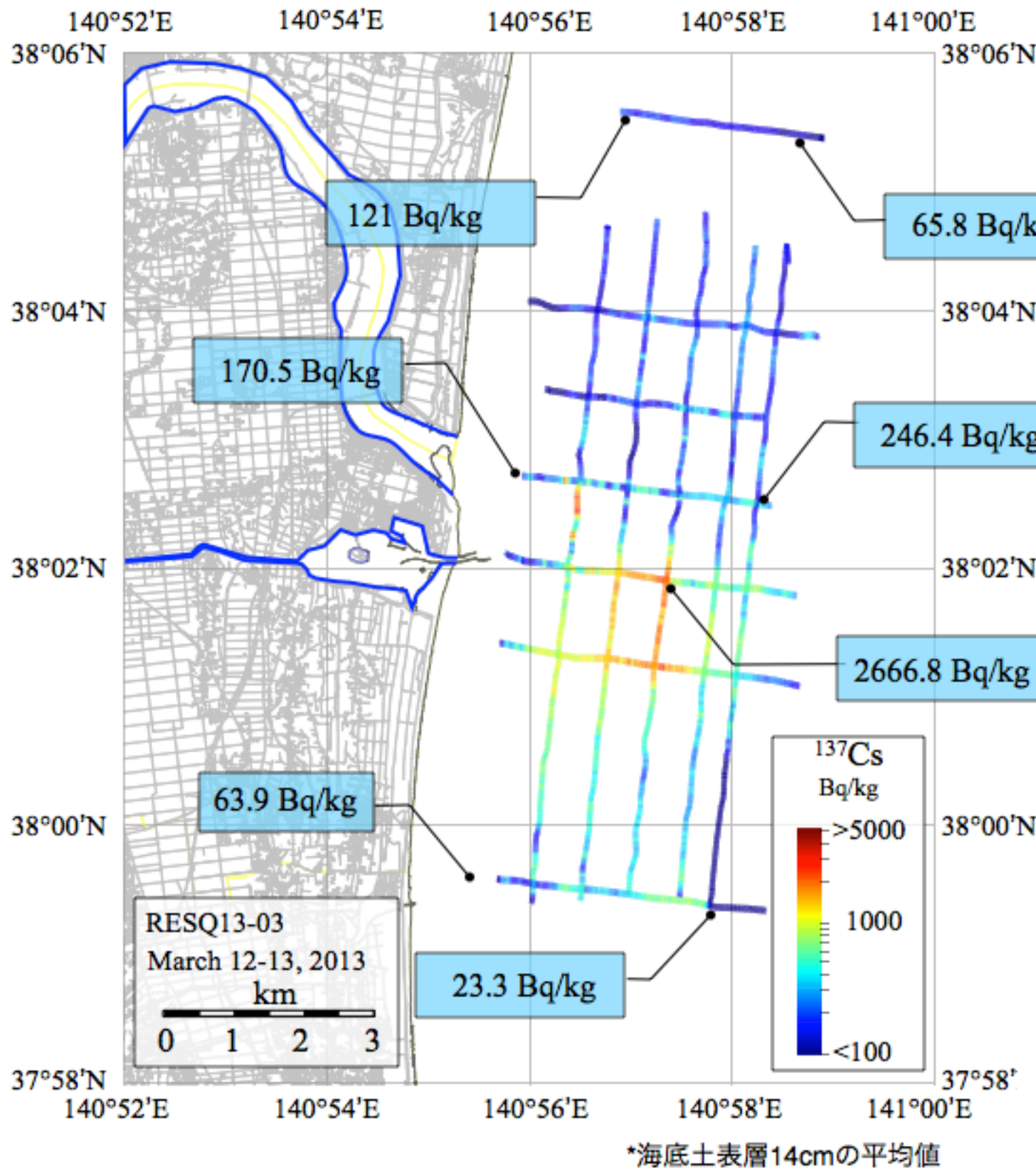
120m等深線



- 120m深度の測線の平均は 74 ± 10 Bq/kg
計測の標準偏差は 24 ± 3 Bq/kg
- $38^{\circ}00'N$ 付近で12km程度の距離の間で ^{137}Cs のレベルは 147 ± 18 Bq/kg
- $37^{\circ}49'N$ より南の平均は 80 ± 11 Bq/kg
- ^{137}Cs のレベルに急な変化は見られない

阿武隈川河口付調査結果

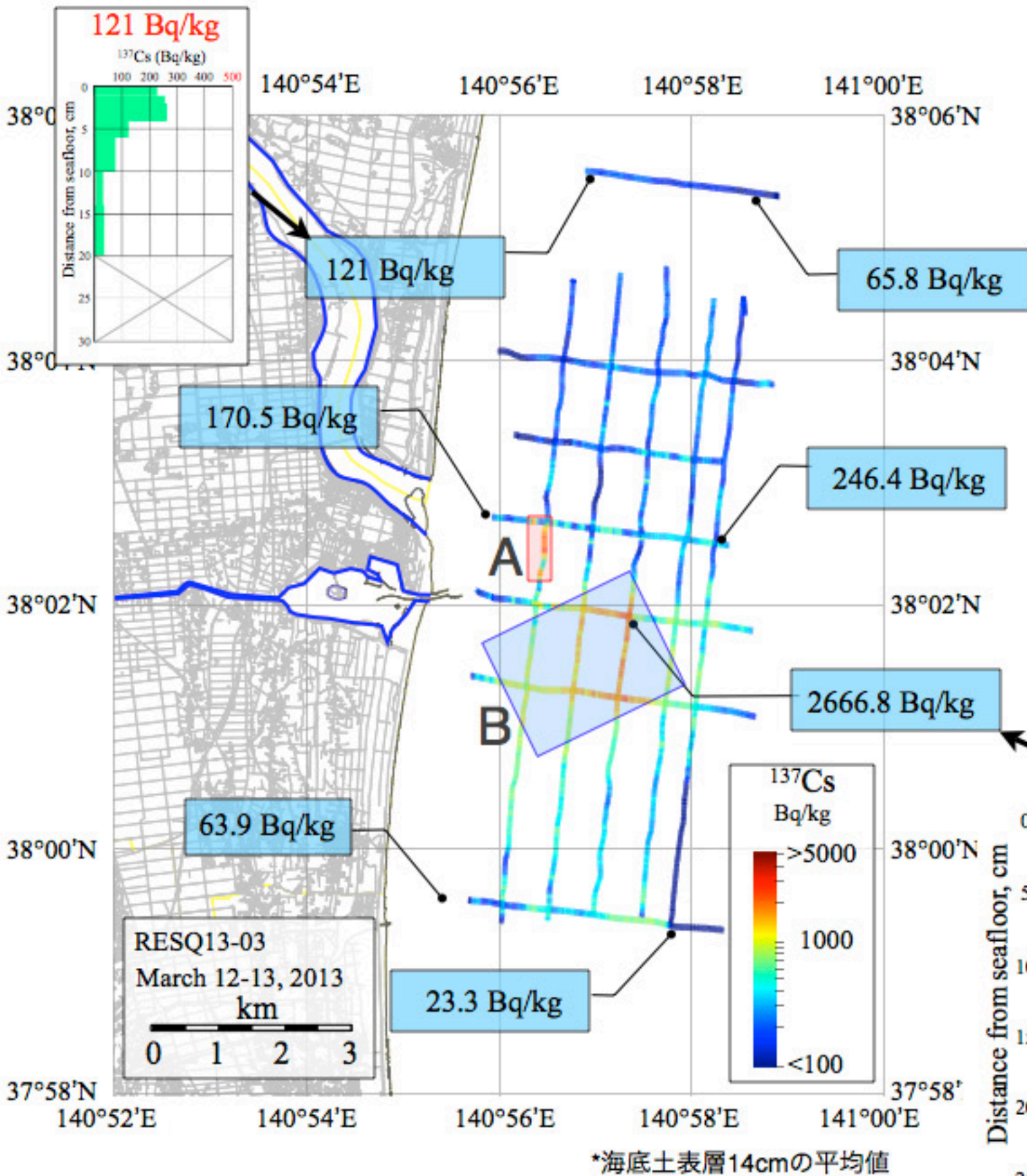
Abukuma river mouth survey results



- 2013年3月12~13日及び7月24~25日に曳航調査を実施
- 総距離77kmの曳航調査を行った
 - ⇒ 3月の調査では総距離26kmを計測
 - ⇒ 7月の調査では総距離51kmを計測
- 調査した12×5kmの範囲で表層14cmの¹³⁷Csの平均が434±41Bq/kgで、標準偏差は408±39Bq/kgと変化が多い
- 河口の北の¹³⁷Cs平均は196±19Bq/kg
標準偏差は74±7Bq/kg
- 河口の南の¹³⁷Cs平均は574±55Bq/kg
標準偏差は457±43 Bq/kg
- 河口の南で、2ヶ所において¹³⁷Cs濃度が局所的に周辺海域と比べて異なる場所が計測された

阿武隈川河口付調査結果

Abukuma river mouth survey results



アノマリーA

・河口から東1.6km、南0.5kmを中心
に900×350m以内

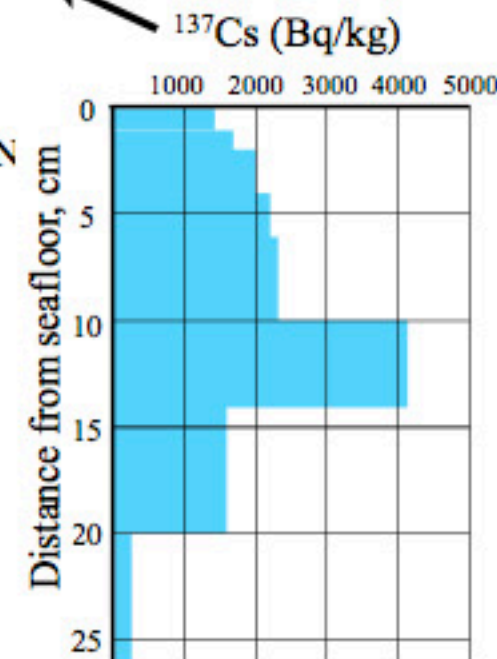
^{137}Cs (Bq/kg wet)*		
平均	標準偏差	最大値
1029±97	757±71	3447±332

アノマリーB

・河口から東2.5km、南2.3kmに
2.4×1.9km程度の範囲

^{137}Cs (Bq/kg wet)*		
平均	標準偏差	最大値
1263±120	403±38	2768±261

アノマリーBのサンプル分析結果



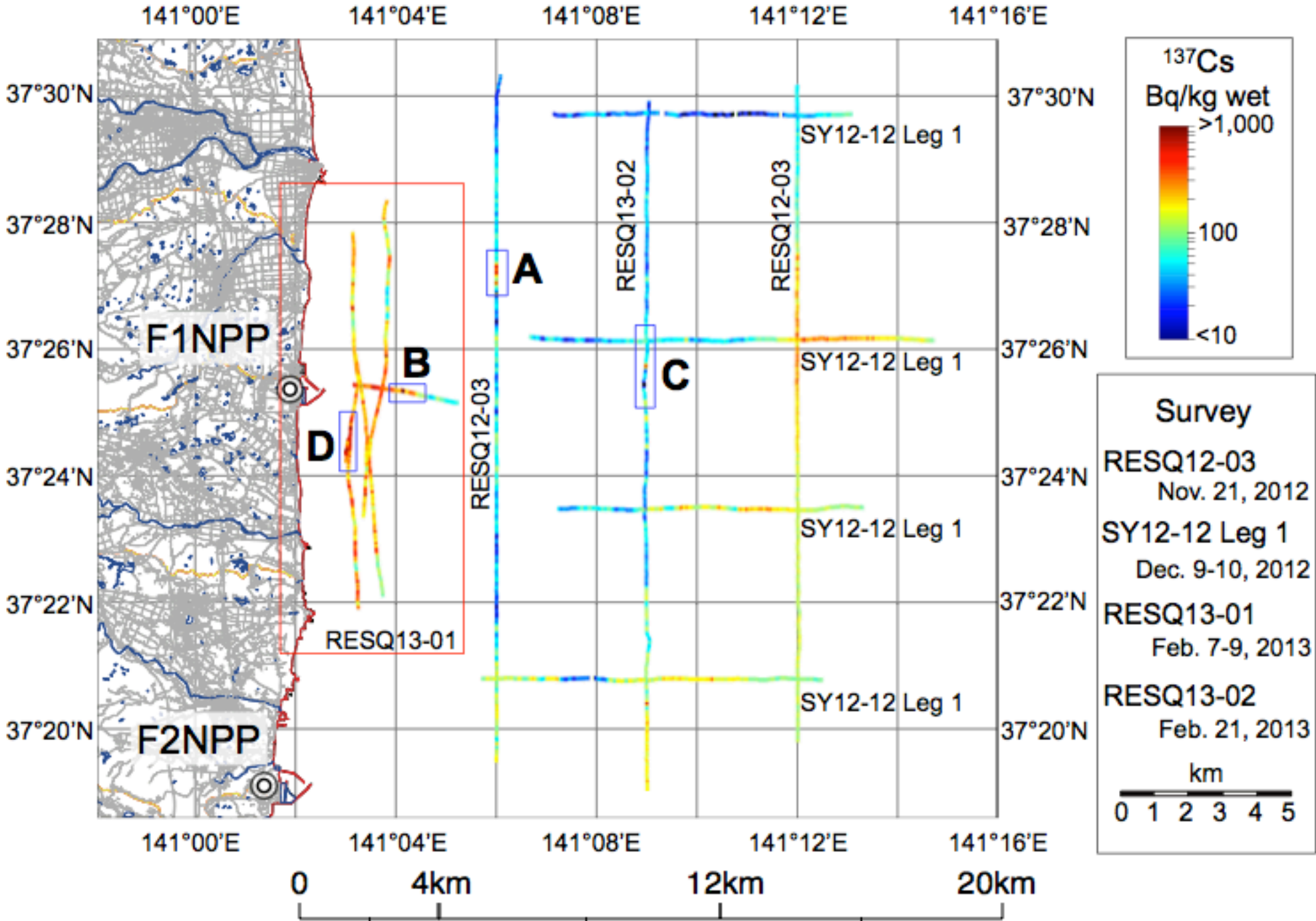
- ・表面下10cmから14cm
に ^{137}Cs のピークがある
- ・表層に向かって ^{137}Cs の
濃度は下がる傾向

福島第一原子力発電所20km圏内

FINPP 20km



Thornton et al. Marine Pollution Bulletin (In Press)



- ・ 2012年11月21~2013年2月21日に調査実施
- ・ グリッド状に総距離141kmを連続計測

Survey

RESQ12-03
Nov. 21, 2012

SY12-12 Leg 1
Dec. 9-10, 2012

RESQ13-01
Feb. 7-9, 2013

RESQ13-02
Feb. 21, 2013

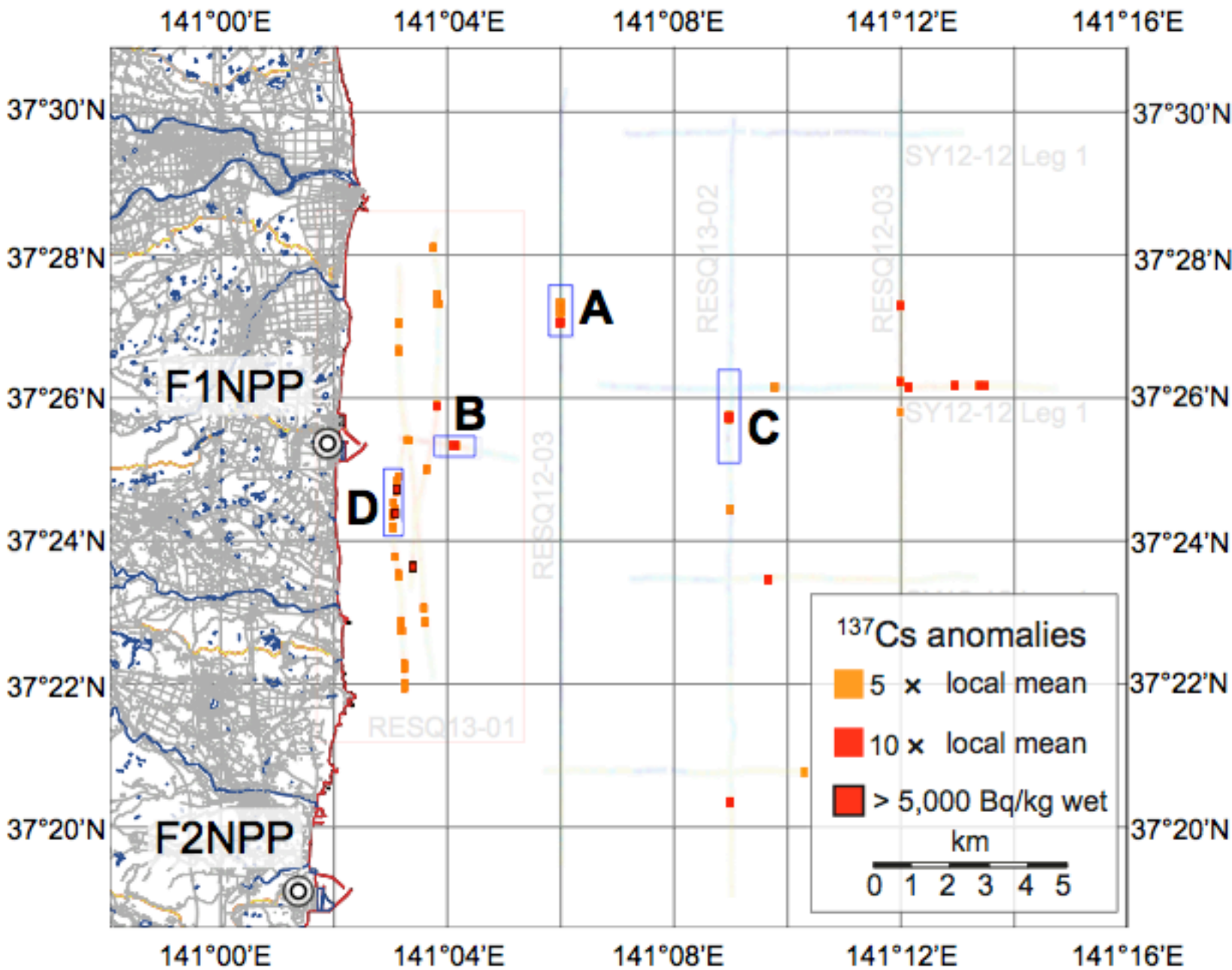
km
0 1 2 3 4 5

137Cs (Bq/kg wet)*		137Cs (Bq/kg wet)*		137Cs (Bq/kg wet)*	
0~4kmの平均	標準偏差	4~12kmの平均	標準偏差	12~20kmの平均	標準偏差
292±35	351±42	69±8	73±9	144±20	163±23

*海底土表層3cmの平均値

福島第一原子力発電所20km圏内

FINPP 20km

*Thornton et al. Marine Pollution Bulletin (In Press)*

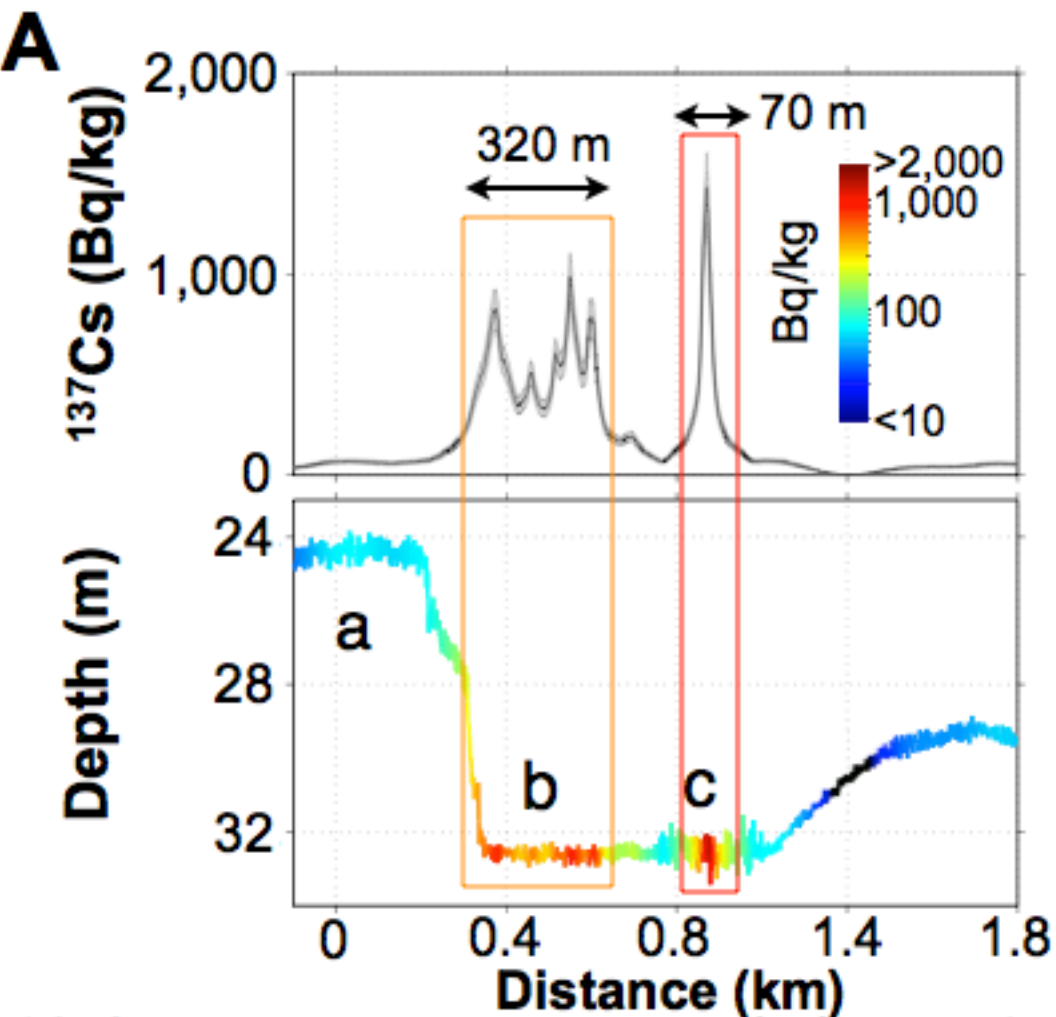
- ・ 周辺海域と比べて ^{137}Cs 濃度が局所的に高くなっているアノマリーが複数計測された
- ・ アノマリーの多くは、海底の凹み地形に一致している
- ・ 凹み地形のアノマリーの大きさは、狭い場所では数10m、広い場所では数100m程である

福島第一原子力発電所20km圏内

FINPP 20km

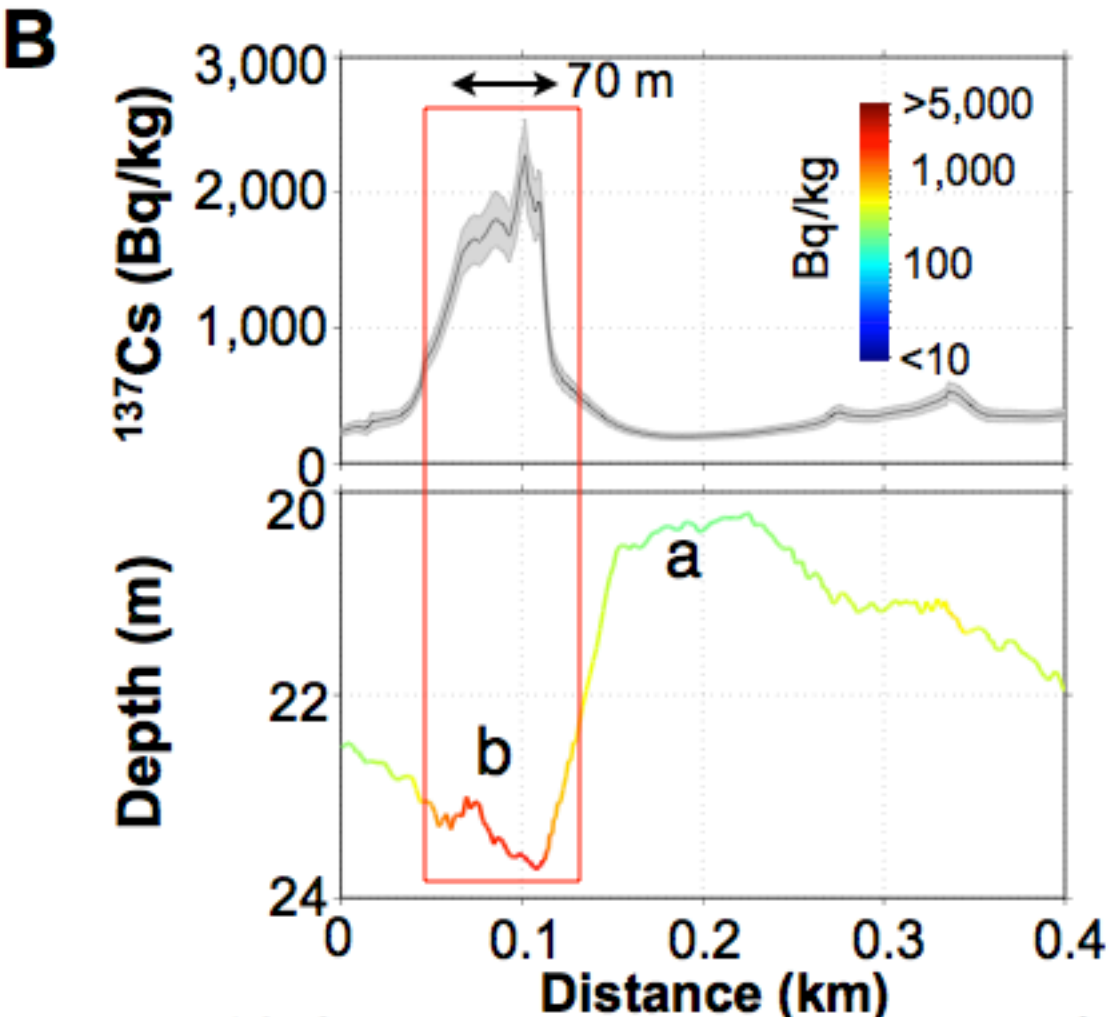


Thornton et al. Marine Pollution Bulletin (In Press)



・ 沖合5.9kmにおいて8mの南向きの段差の底で ^{137}Cs の濃度が数100mにおいて高くなっている

		^{137}Cs (Bq/kg wet)*	
		平均	最大値
a	段差の上	65±9	
b	底 (320m)	524±63	985±118
c	底 (70m)	651±77	1432±173



・ 沖合3.2kmにおいて3.5mの西向きの段差の底で ^{137}Cs の濃度が数10mにおいて高くなっている

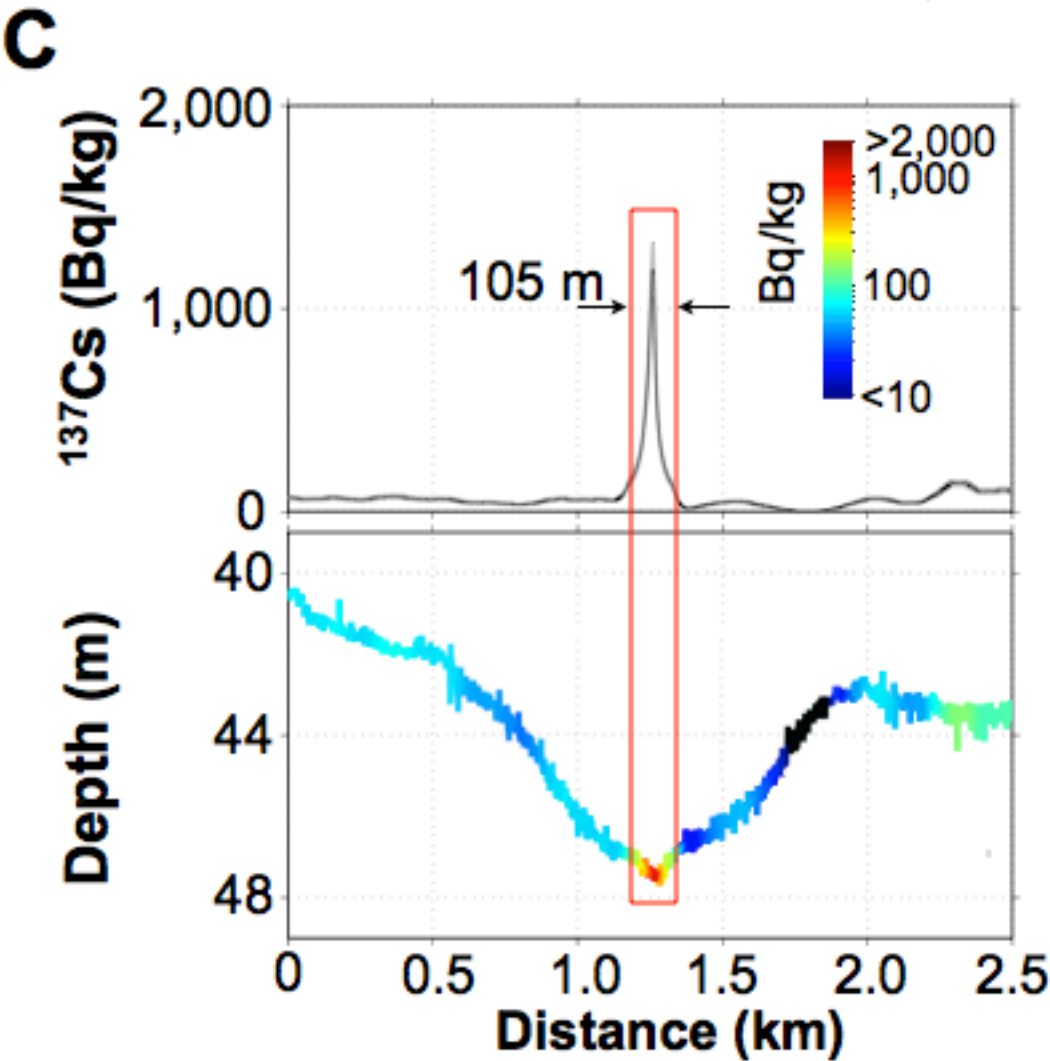
		^{137}Cs (Bq/kg wet)*	
		平均	最大値
a	段差の上	133±17	
b	底 (70m)	1524±175	2276±266

福島第一原子力発電所20km圏内

FINPP 20km

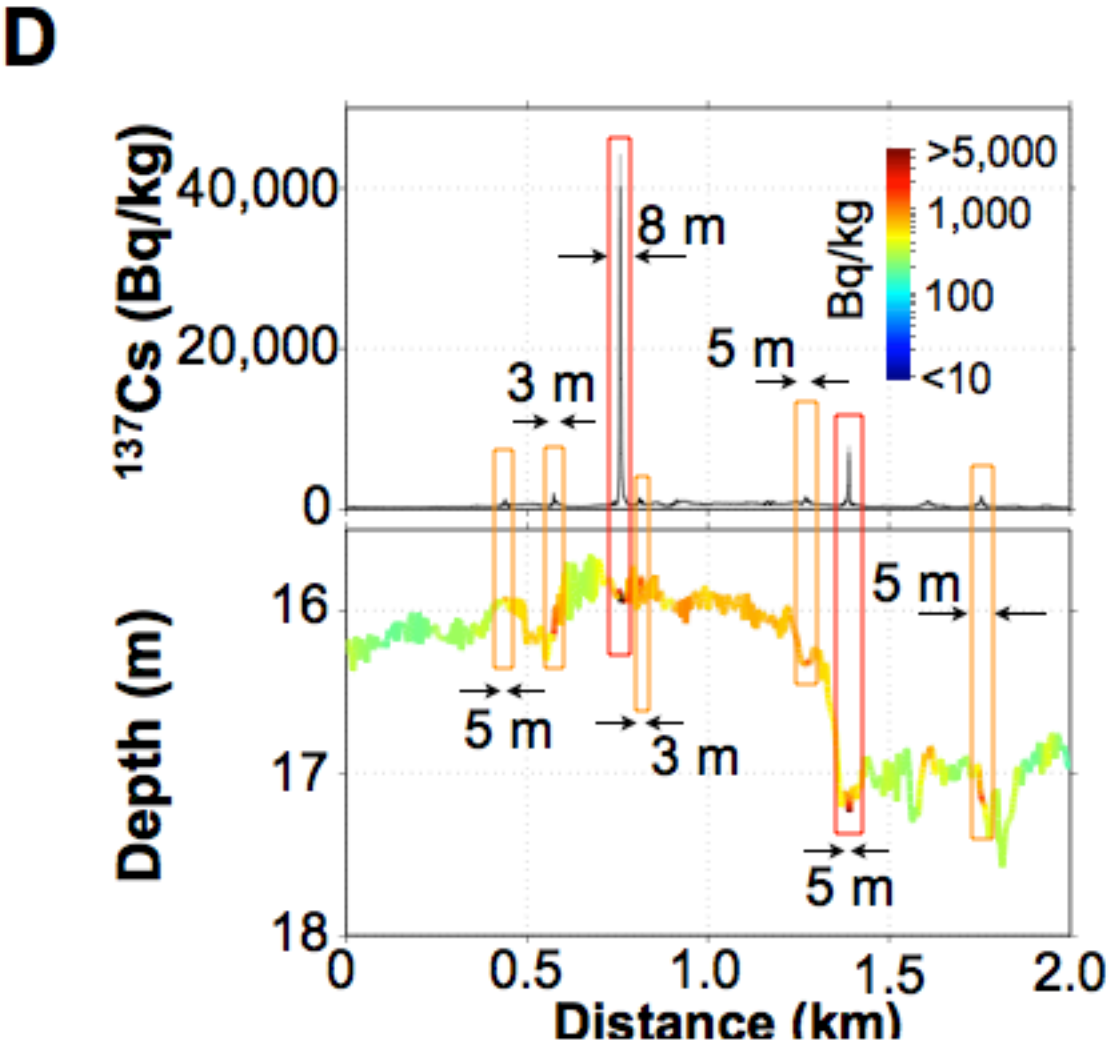


Thornton et al. Marine Pollution Bulletin (In Press)



- ・ 沖合10.3kmにおいて緩やかな凹み
地形で105mにおいて¹³⁷Cs濃度が上昇

	137Cs (Bq/kg wet)*	
	平均	最大値
周囲の平均	60±8	
底 (105m)	508±58	1190±136



- ・ 沖合1.6kmにおいては、地形には特徴は見られないが、数mの狭い範囲で¹³⁷Csの濃度が局所的に高くなっている

	137Cs (Bq/kg wet)*	
	平均	最大値
表示される 2kmの範囲	528±67	40,152±3998

まとめ

Summary



- ・ 400km以上の曳航調査を行った結果、今までのサンプリングによる点的な調査では分からなかった、 ^{137}Cs の分布状況に関する知見が得られた。
- ・ F1NPP20km圏内・阿武隈川の河口付近においては、海底土の ^{137}Cs の濃度が周囲より高い状態になっているアノマリーが計測され、それぞれの大きさと分布状況をマッピングした。
- ・ アノマリーの分布は、極めて特徴的であり、場所によって状況が大きく異なる。以下の3種類のアノマリーが確認されている：
 - ①阿武隈川河口付近では、1~2km程度の範囲で海底土の ^{137}Cs 濃度が周囲の海底土より2倍程高い状態になっている場所が2カ所で確認された。アノマリーのサンプリングの結果より、表層付近の ^{137}Cs 濃度が減少している傾向が確認されている。
 - ②F1NPPの20km圏内では、崖・凹み地形の底で、数10~数100m程度の範囲で海底土の ^{137}Cs 濃度が周囲の海底土より5~10倍程高い状態になっている場所が20ヶ所以上で確認された。
 - ③F1NPPの3km圏内では、地形に特徴がない場所で数mの狭い範囲で、 ^{137}Cs 濃度が局所的に高い状態になっているアノマリーが10ヶ所程で計測された。
- ・ 曳航式放射線計測装置で計測された①と②の結果を基に、海底土のサンプリングを行ってアノマリーの存在が確認されている。

今後の展開

Future direction



- ・ 対策を検討する上で、アノマリーの分布状況、濃度変化、移動を理解するための学術的な知見が必要不可欠である。
- ・ より広範囲で200m程度の深さの海域まで調査範囲を広げる予定である。
- ・ F1NPPの20km圏内及び阿武隈川の河口付近を継続的に調査する予定である。
- ・ 底質・地形調査と合わせて曳航調査を実施することによって沿岸域での ^{137}Cs の詳細な面的な分布を調べ、さらに連続的データを基にサンプリングする戦略的な調査を実施する予定である。
- ・ 海底土の調査を継続し、上記の面的調査に加え、海底付近の流の長期観測データと合わせて、汚染メカニズムを詳細に調べ、 ^{137}Cs の移動の予測に役立つデータを取得することが期待される。
- ・ アノマリーの大きさ、分布、濃度変化や移動状況を知ったうえで、それぞれの場所の利用ニーズに合わせた対策を検討する必要がある。