

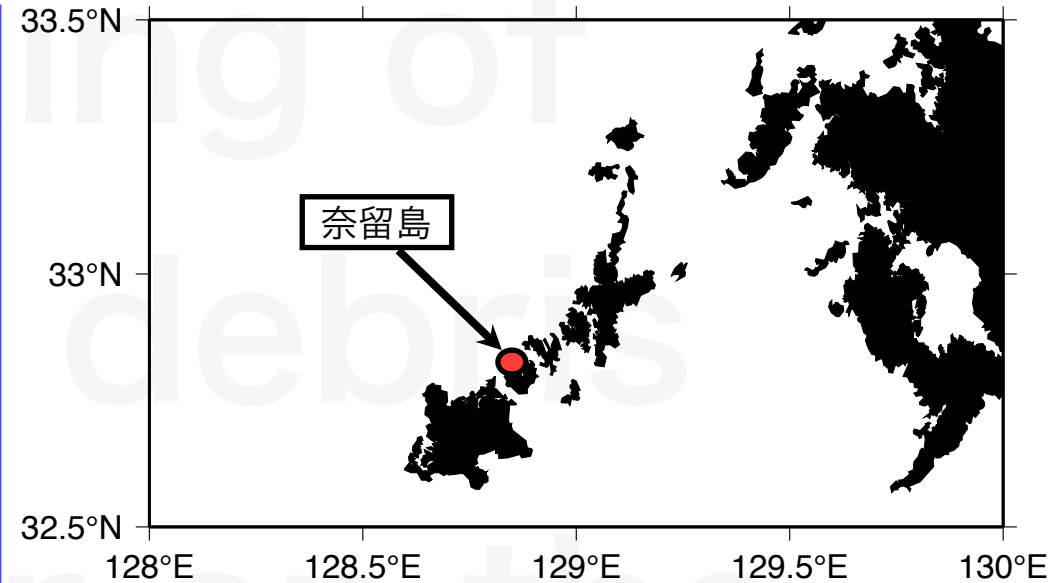
東アジア縁辺海における 海ゴミ輸送の実態

加古真一郎¹・磯辺篤彦²・片岡智哉³・日向博文³

1:鹿児島大学理工学研究科

2: 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

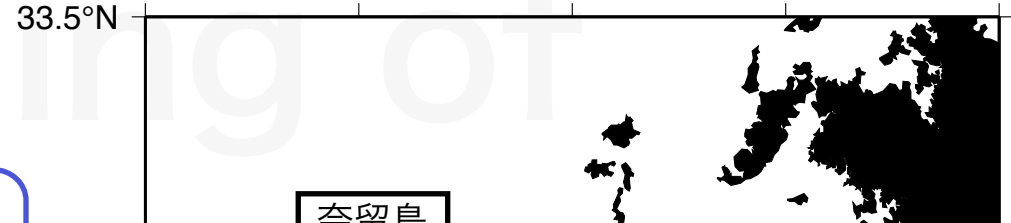
3:国土交通省技術政策総合研究所



日本海・東シナ海沿岸には、多くのゴミが漂着しており、大きな環境問題となっている。

どの程度の環境リスクがあるのか？

現状が**250年**続いた場合（あるいは、ゴミ漂着量が現状の**250倍**となった場合）、海岸砂に含有する鉛濃度は、アメリカ環境保護庁が定めた鉛の土壤汚染基準値（250 mg/kg）を超える（Nakashima et al., 2012）。



環境リスクを低減するには？

- ・ 効率的なゴミ回収作業

➡ Webカメラによる遠隔監視

- ・ 何時どこから、どの程度のゴミが流出していたのか把握する必要がある (ゴミの流出量を減らせなければ、漂着ゴミの絶対量は減らない).

➡ 数値モデルとWebカメラから得られたゴミ漂着量から、ゴミ発生源と流出量を推定

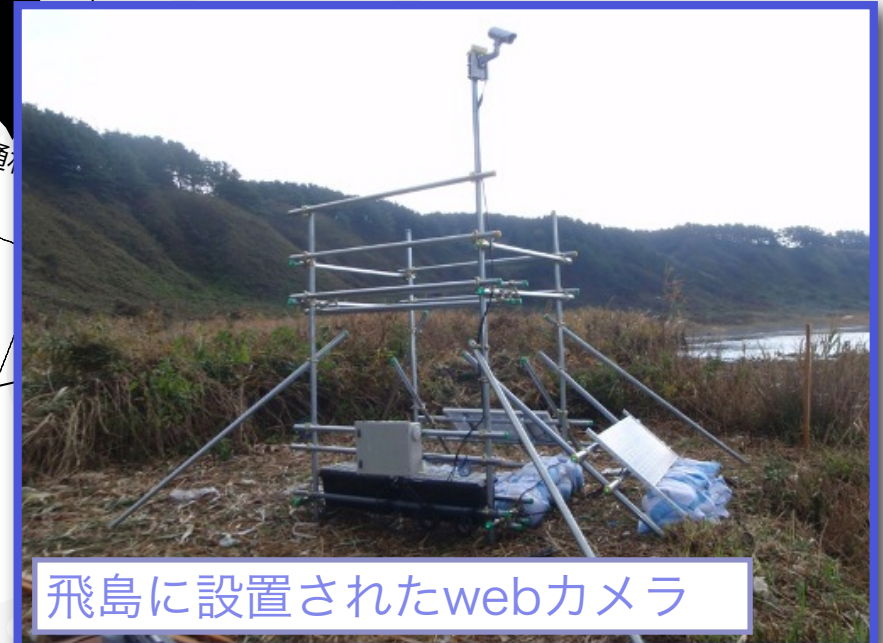
この程度の環境リスクがあるのか？

現状が**250年**続いた場合 (あるいは、ゴミ漂着量が現状の**250倍**となった場合), 海岸砂に含有する鉛濃度は, アメリカ環境保護庁が定めた鉛の土壤汚染基準値 (250 mg/kg)を超える (Nakashima et al., 2012).

Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)

Table. Webカメラの設置日

稚内	2010/10/19
飛島	2010/11/05
輪島	2010/12/05
対馬	2010/11/22
奈留	2008/05/15
石垣島	2010/11/17
西之表	2011/09/07
室戸	2011/08/07
新島	2011/08/23
東通村	2011/07/21



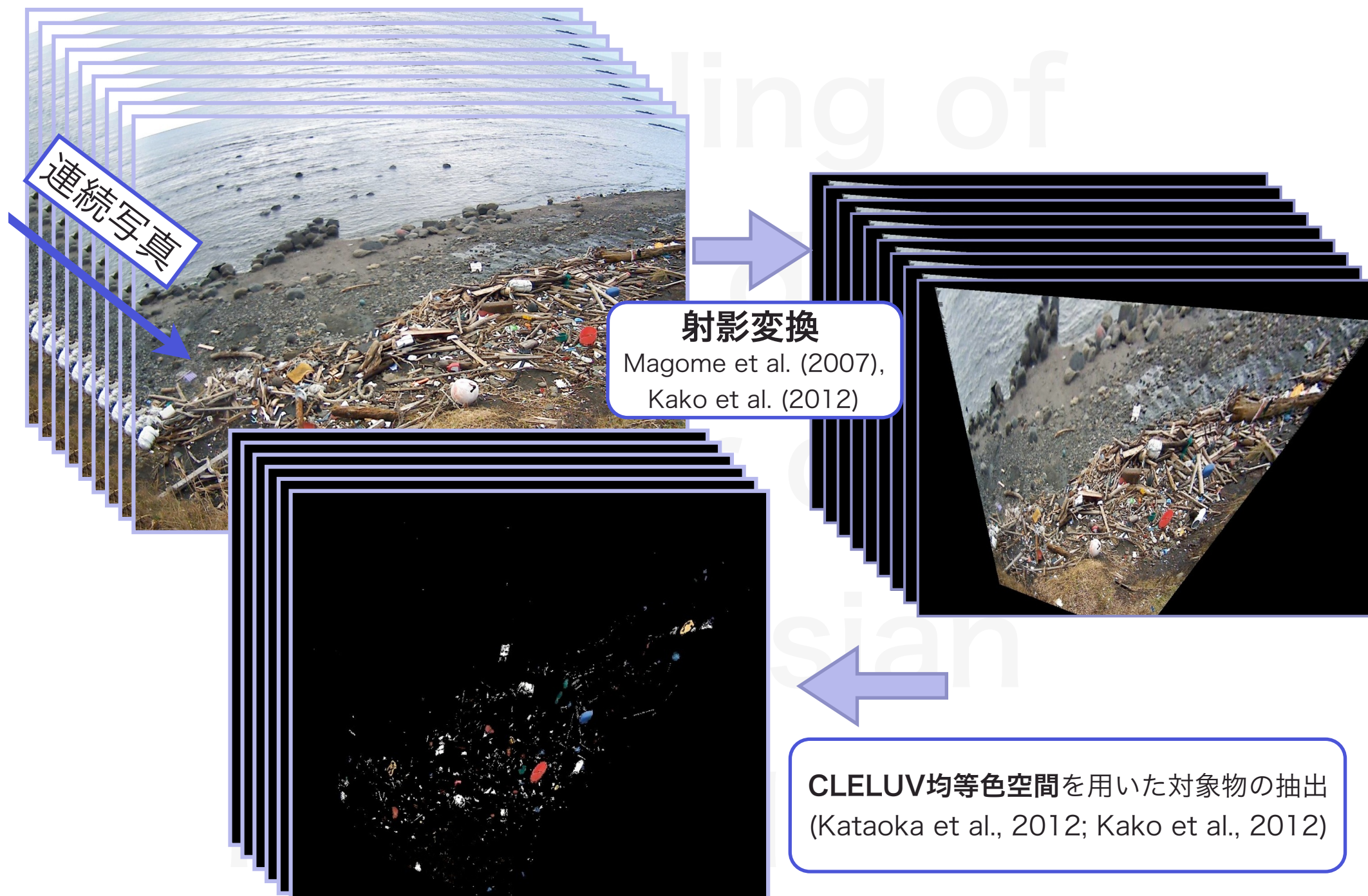
7:00 から 15:00まで2時間毎に海岸を撮影

Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)

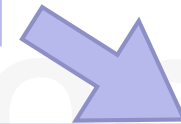
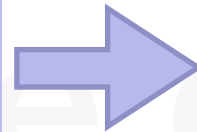


漁業用ブイ・浮きなどのプラスチック系
ゴミが多く漂着している。

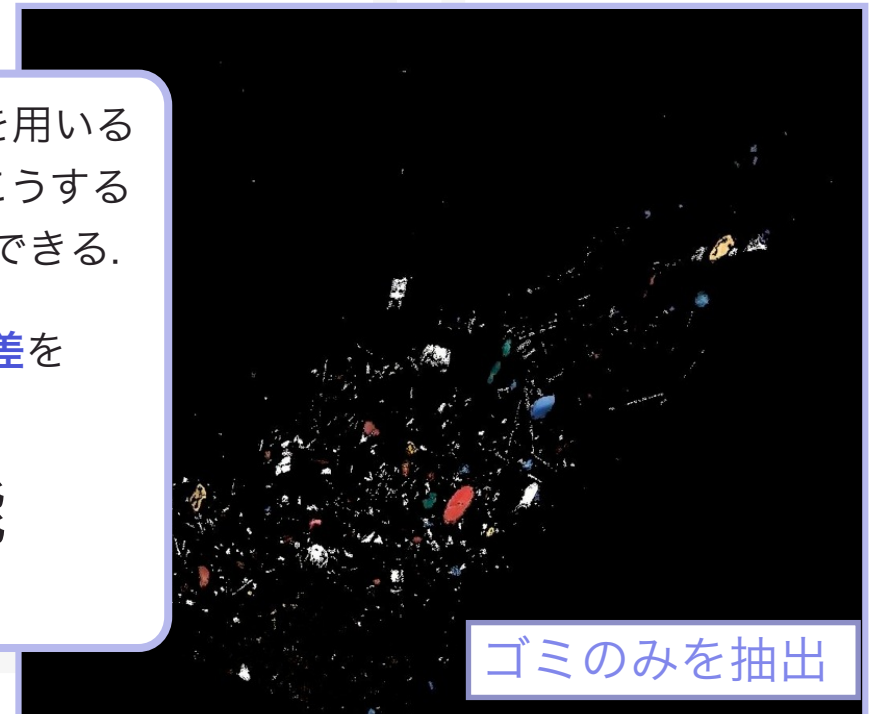
Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)



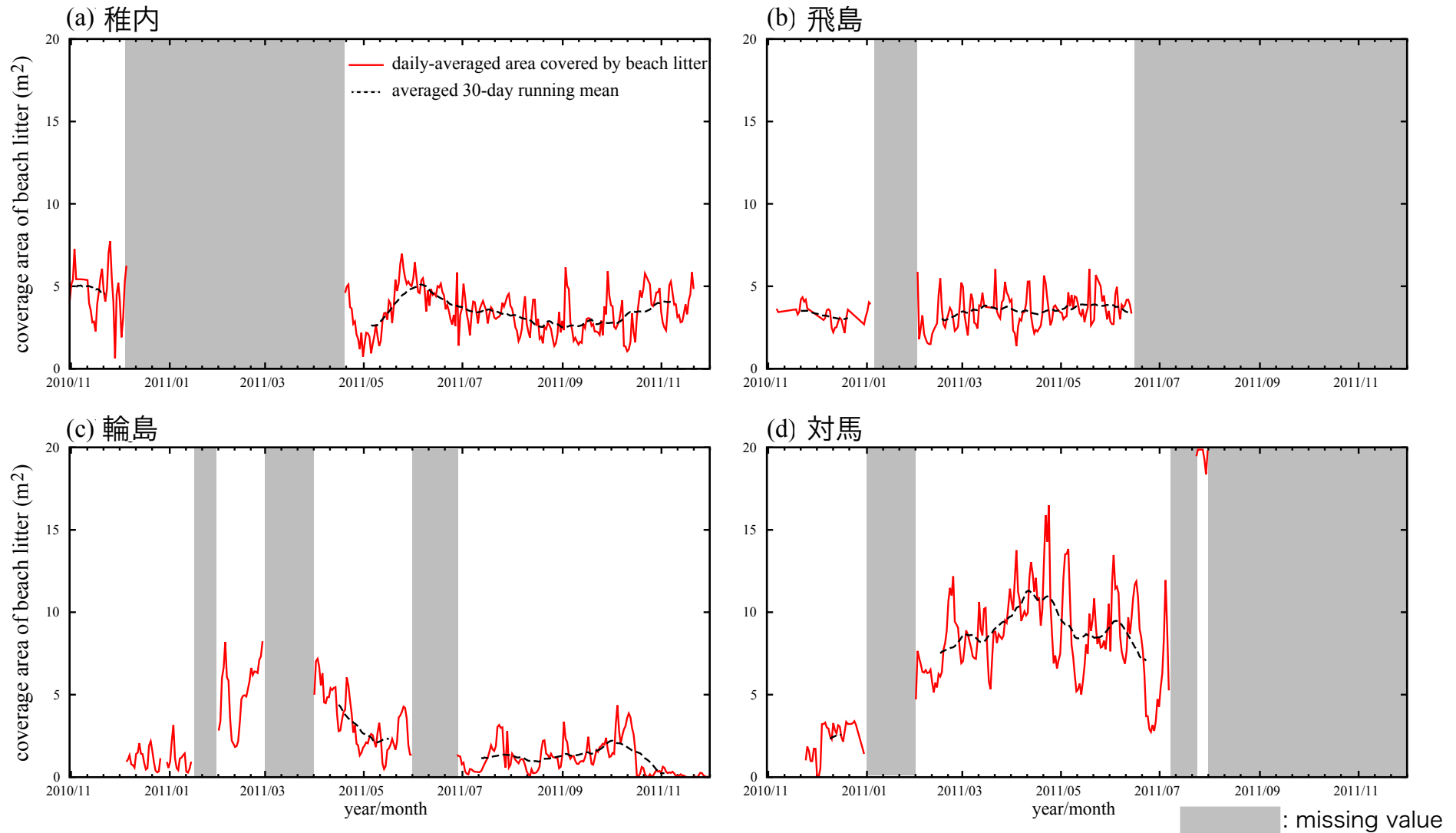
Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)



- 射影変換 (Magome et al., 2007; Kako et al., 2012) を用いることで、斜めから撮影した画像を真上画像に変換可能。こうすることで、対象物の正確な位置や大きさを見積もることができる。
- 撮影された対象物を均等色空間上に配置することで、色差を使った対象物の抽出が可能 (Kako et al., 2012)。
- 対象物の被覆面積の推定が可能
(解像度×対象物のピクセル数)。



Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)

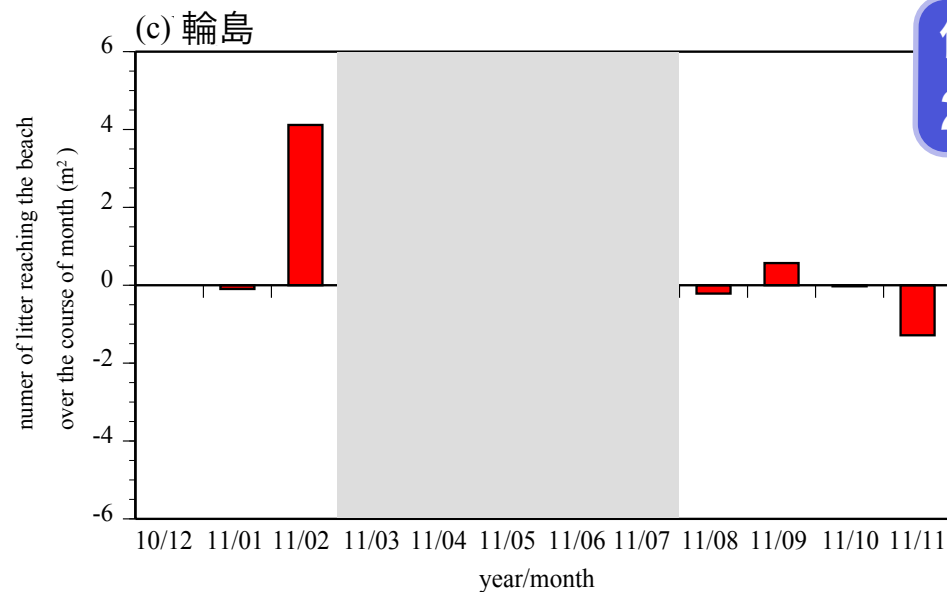
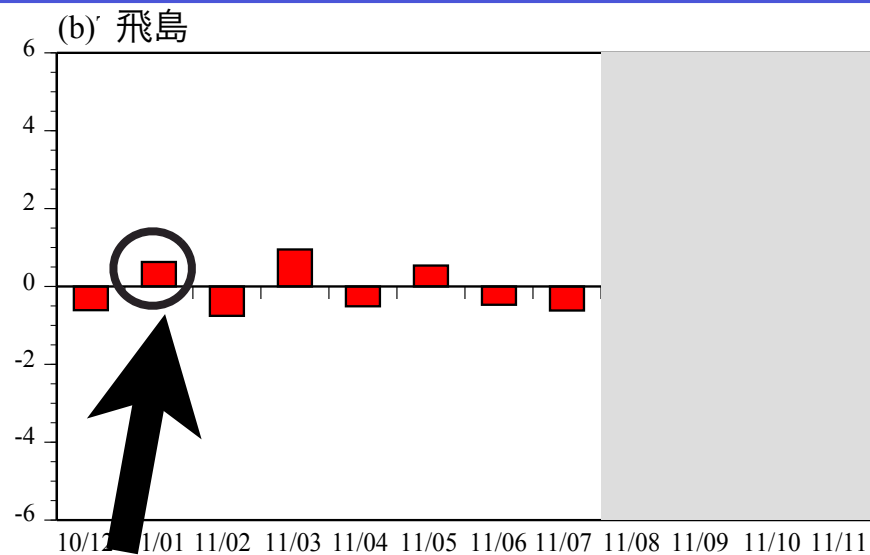
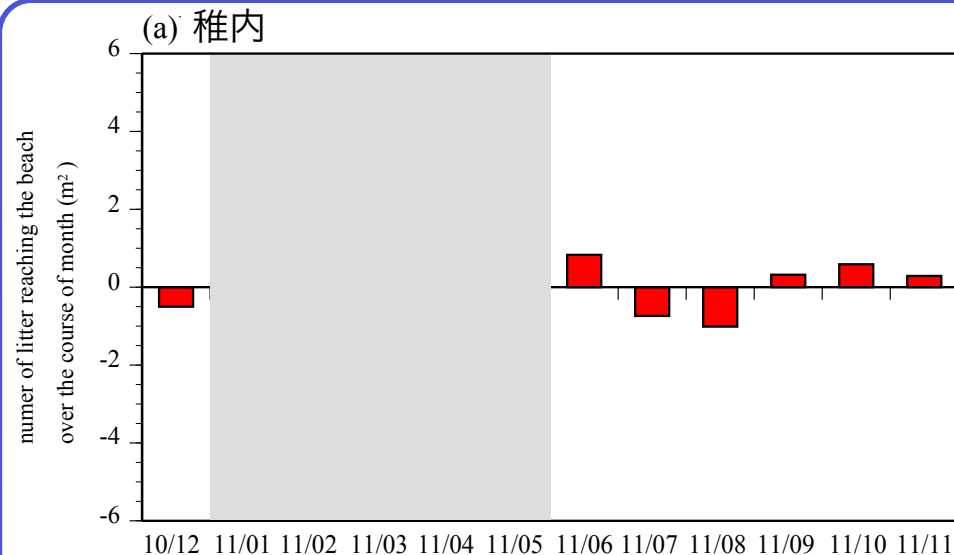


飛島と同様に長期間 海岸を連続撮影している「稚内」「輪島」「対馬」のデータに関しても、同じ処理を施す。

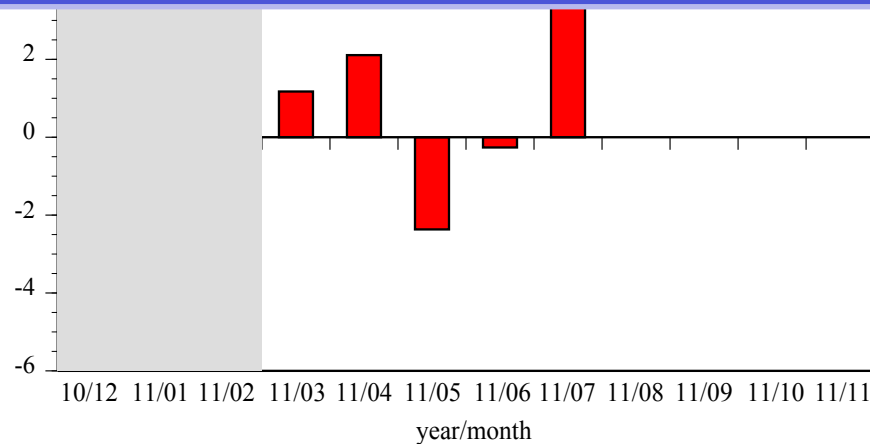


連続写真を撮ることで、漂着ゴミ量の時間変化を知ることが可能になる。

Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)



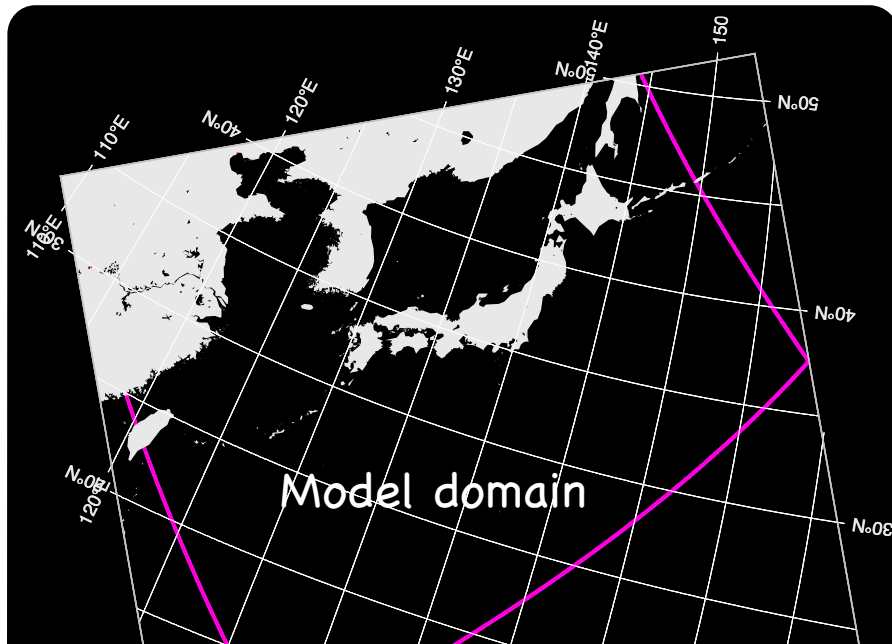
何時どこから、どの程度ゴミが流出すれば、
2011/01に漂着ゴミ量が増加するのか？



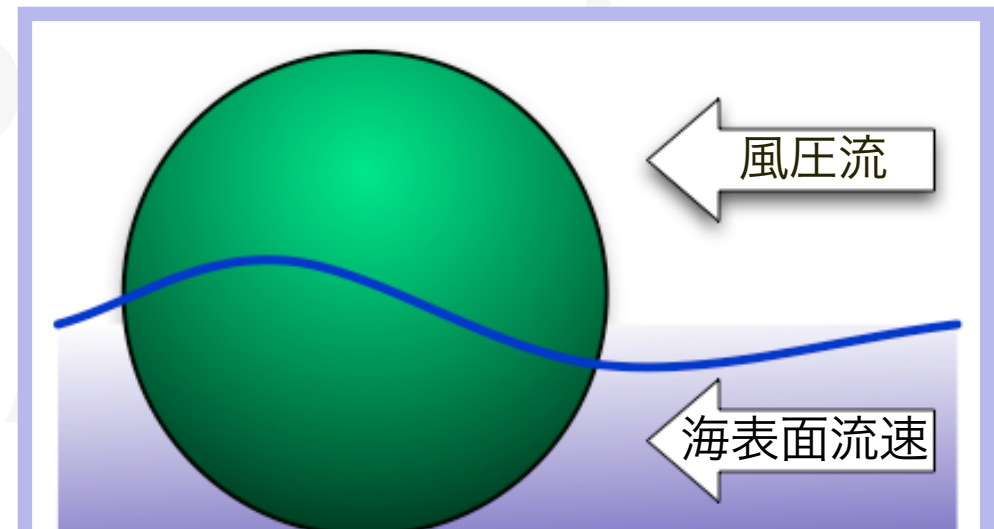
粒子追跡モデル (Isobe et al., 2009)

$$\underset{\substack{\uparrow \\ t+\Delta t \text{における粒子の位置}}}{\mathbf{X}^{t+\Delta t}} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{流速ベクトル}}}{\mathbf{U}} \Delta t + \frac{1}{2} \left(\mathbf{U} \cdot \nabla_H \mathbf{U} + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} \right) \Delta t^2 + \underset{\substack{\uparrow \\ \text{平均0, 標準偏差1の乱数}}}{R} \sqrt{\underset{\substack{\uparrow \\ \text{拡散係数}}}{2K_h \Delta t}} (i, j)$$

時間ステップ (360s)



海表面流速だけでなく、風圧流も考慮する



Isobe et al. (2009)と本研究で用いたモデルとの違いは、粒子の再漂流を許可していることにある。

使用データ

海表面流速データ

Data assimilation research of the East Asian marine system (**DREAMS**; Hirose, et al., 2013)

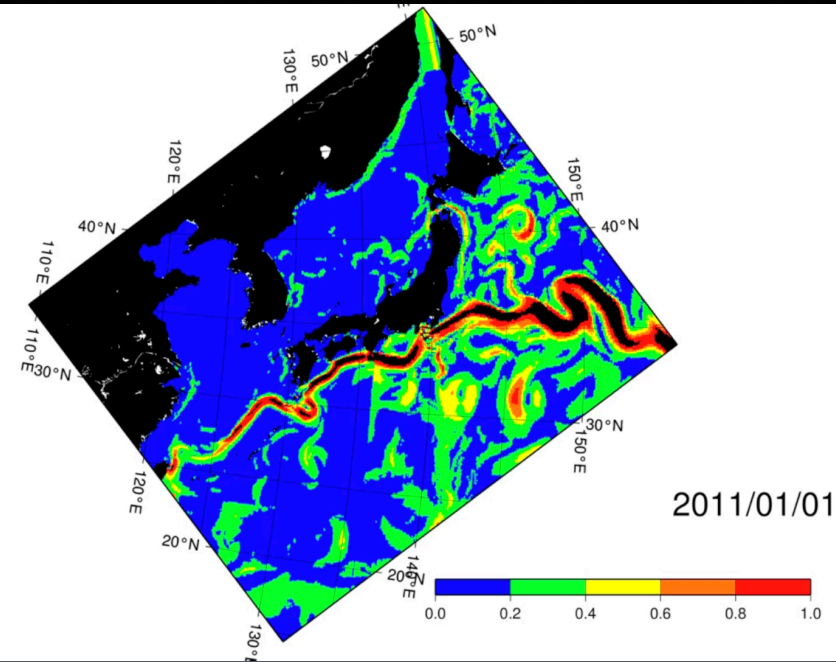
空間解像度: $1/12^\circ$ (lon.) $\times$ $1/15^\circ$ (lat.)

時間解像度: 日平均

Japan Coastal Ocean Predictability Experiment (**JCOPE**; Miyazawa, 2008)

空間解像度: $1/12^\circ \times 1/12^\circ$

時間解像度: 日平均



ASCAT海上風データセット (kako et al., 2011)

空間解像度: $0.25^\circ \times 0.25^\circ$

時間解像度: 日平均

(<http://mepl1.cmes.ehime-u.ac.jp/~kako/ASCAT>)

からダウンロード可能

風圧流 (Richardson, 1977)

$$V = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w} \frac{Cd_a}{Cd_w} \frac{A_a}{A_w} W}$$

密度比 = 1.15×10^{-3}

抵抗係数の比 = 1.00

投影面積の比

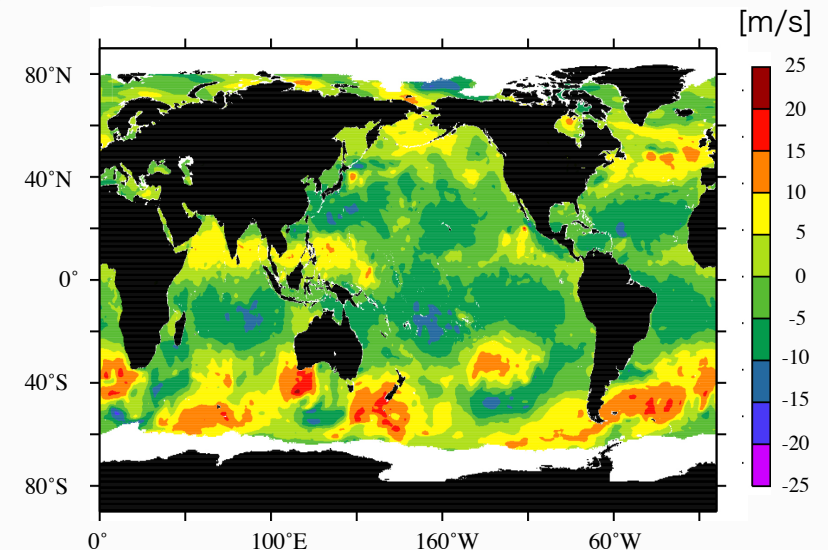


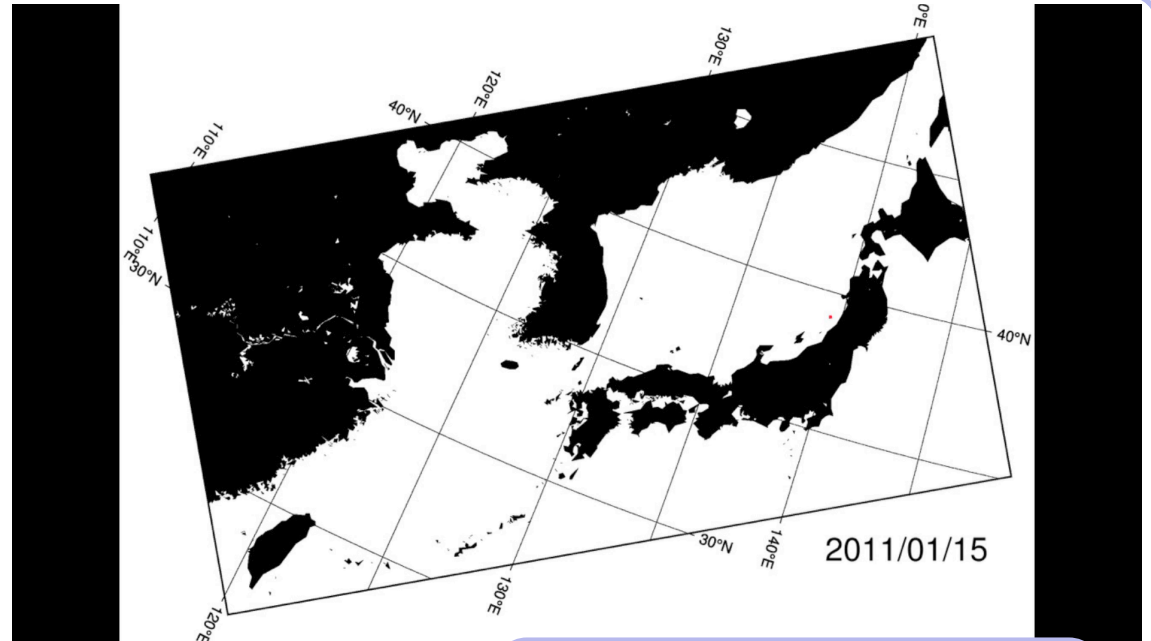
Figure. ASCATから得られた2009年9月1日の風の東西成分の空間分布. 欠測値は最適内挿法により補間している.

双方向粒子追跡実験 (Isobe et al., 2009)

逆方向粒子追跡実験

ゴミの発生源（起源地）を特定するため、観測地（飛島）から10,000個の粒子を漂流させる。このとき、**海表面流速・風圧流共に向きを逆とし**、2011年1月から1年間時間を遡る。

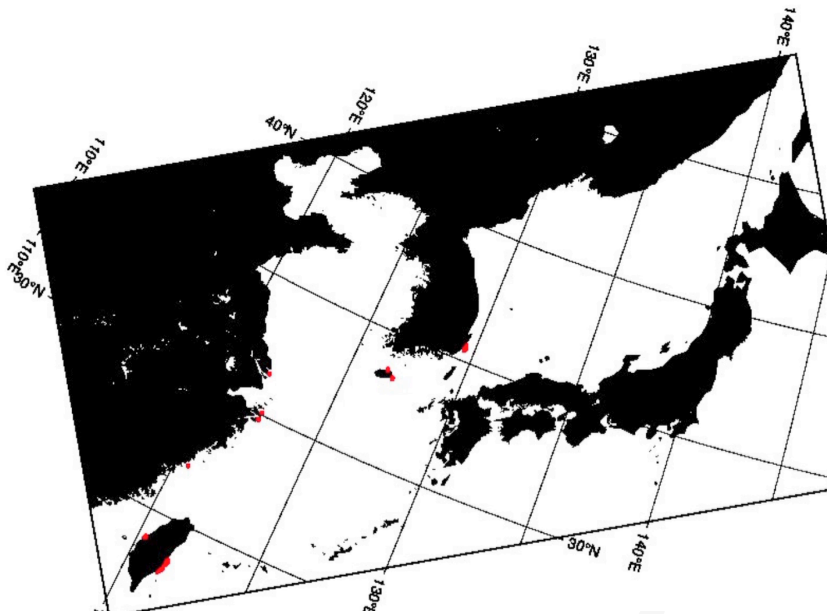
ひと月毎に粒子が漂着した海岸をチェックし、**起源地候補**とする。



順方向粒子追跡実験

逆方向粒子追跡には、**不可逆過程**である**ランダムウォーク**が含まれているため、実際、起源地候補から観測地に粒子が辿り着くかどうか確認する必要がある。

各月の起源地候補から粒子を10,000個ずつ流出し、順方向粒子追跡を行う。



双方向粒子追跡実験の結果

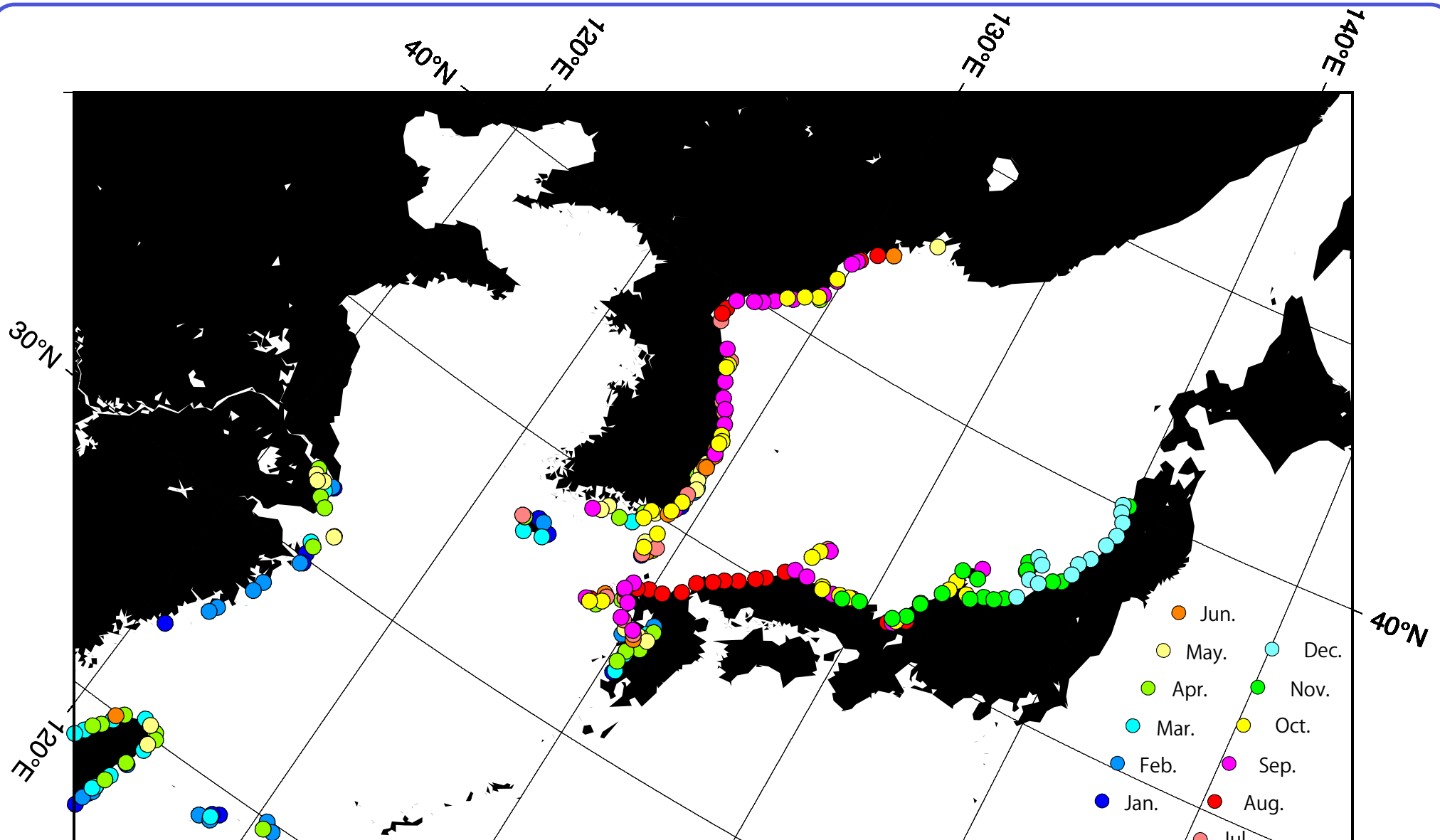
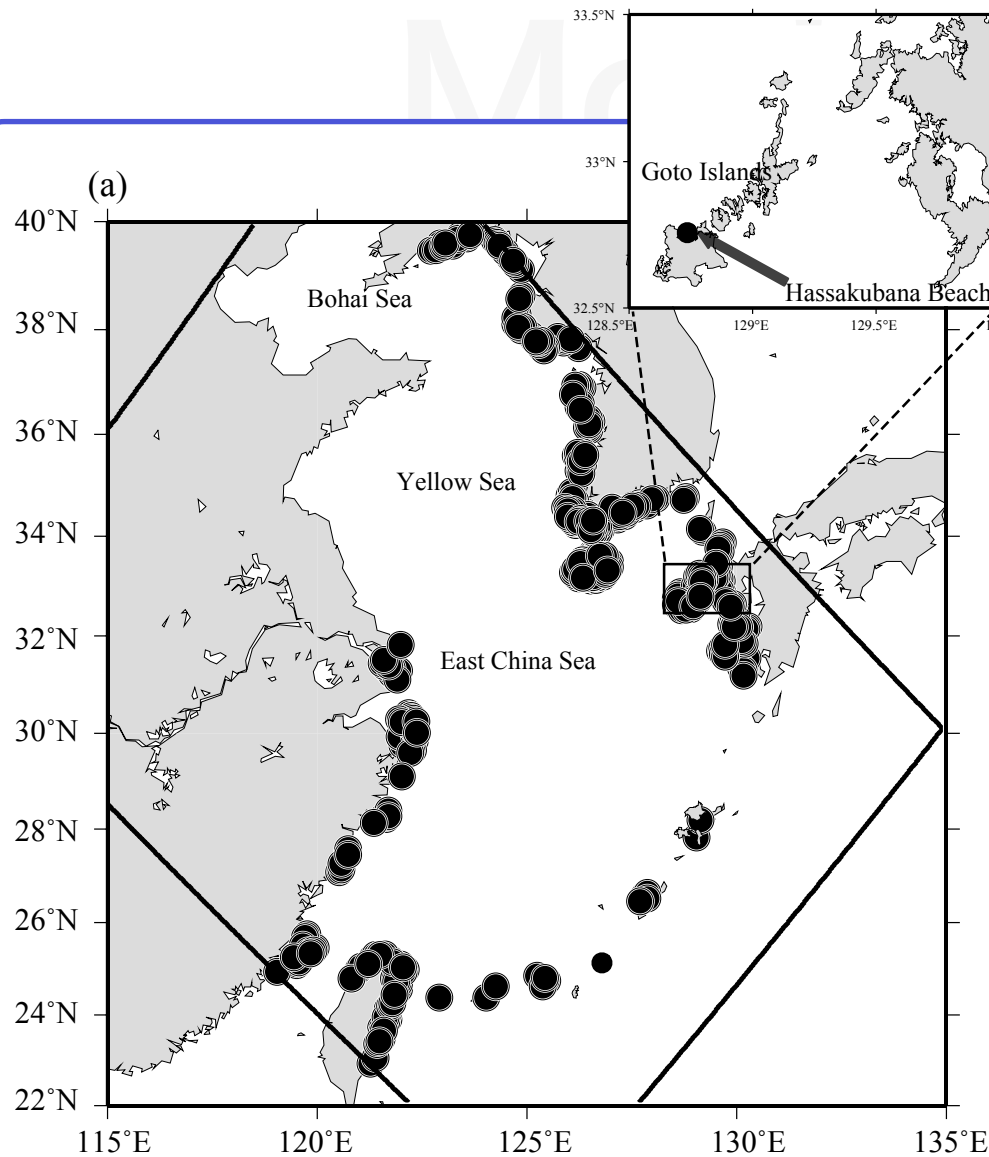
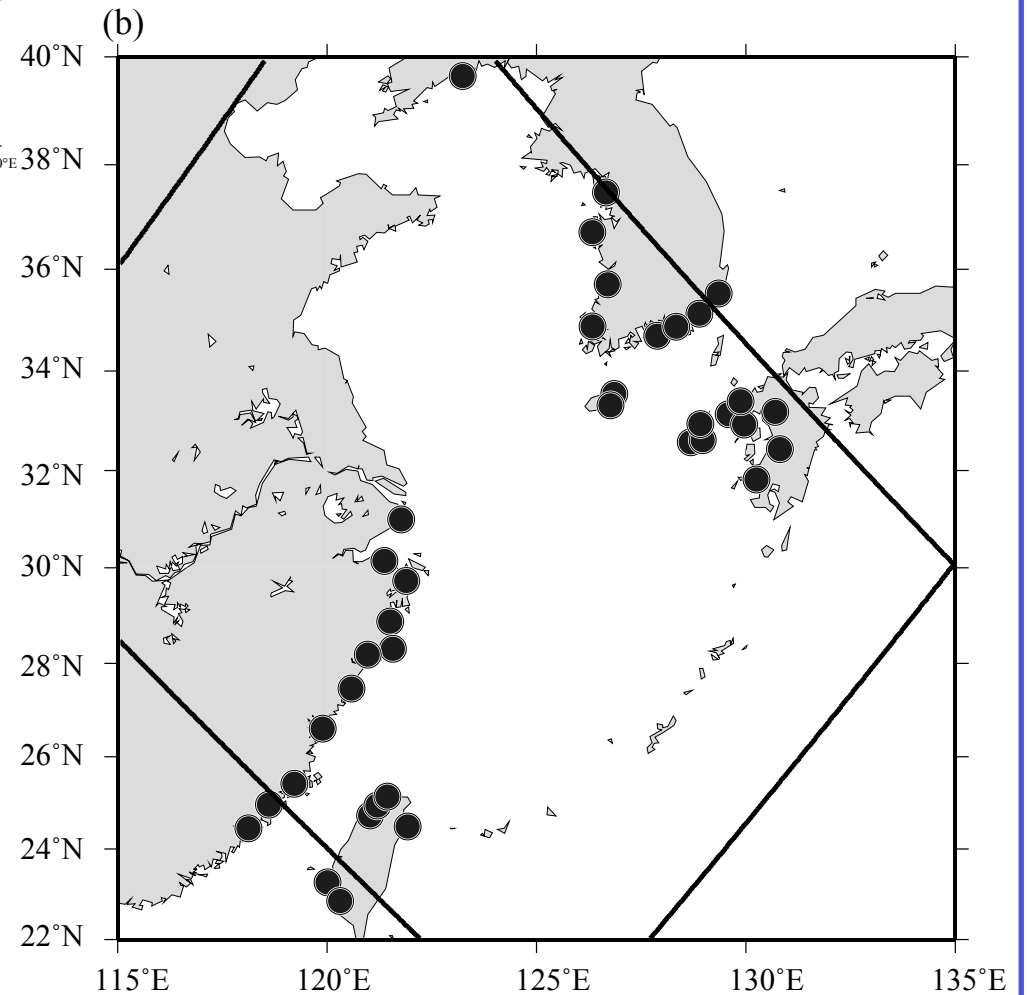


Figure. 双方向の粒子追跡実験によって得られた飛島に漂着したゴミの起源地. カラーはゴミが流出する月を表す.

双方向粒子追跡実験の精度評価

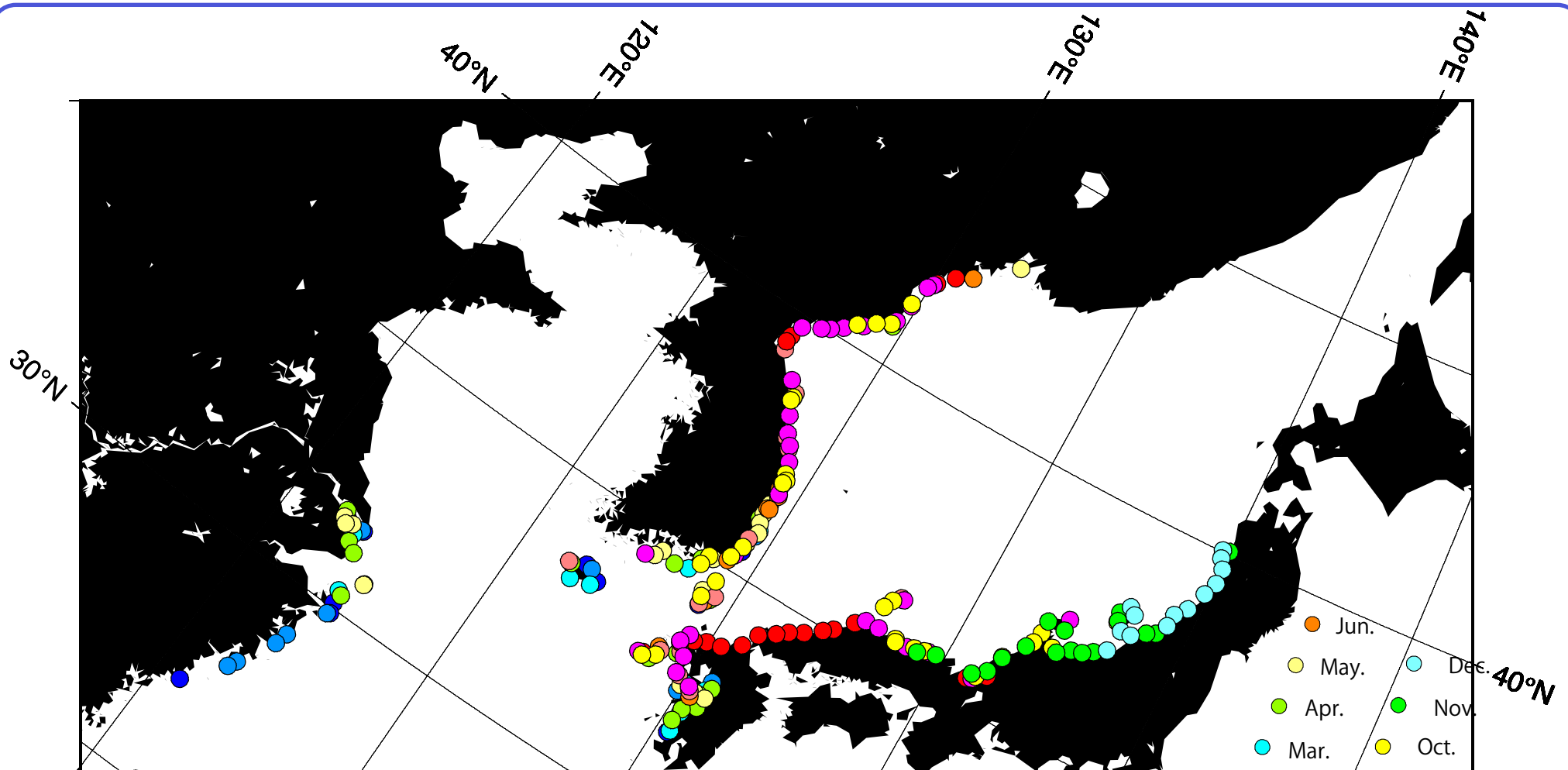


モデルから得られた使い捨てライターの起源地



使い捨てライターの電話番号から調べた起源地

双方向粒子追跡実験の結果



起因地から流出するゴミ量は？

Figure. 双方向の粒子追跡実験によって得られた飛島に漂着したゴミの起因地. カラーはゴミが流出する月を表す.

逆問題を用いたゴミ流出量の推定 (Kako et al., 2010)

各起源地からのゴミ流出量と海岸ゴミ漂着量の関係式

z の値が観測された月

観測月よりも何ヶ月前か

$(f_1^{M-l}, f_2^{M-l}, f_3^{M-l}, \dots, f_{N-2}^M, f_{N-1}^M, f_N^M)$

起源地

流出量

$$\begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{N \times (l+1)} \end{pmatrix} = z$$

海岸に漂着するゴミ量

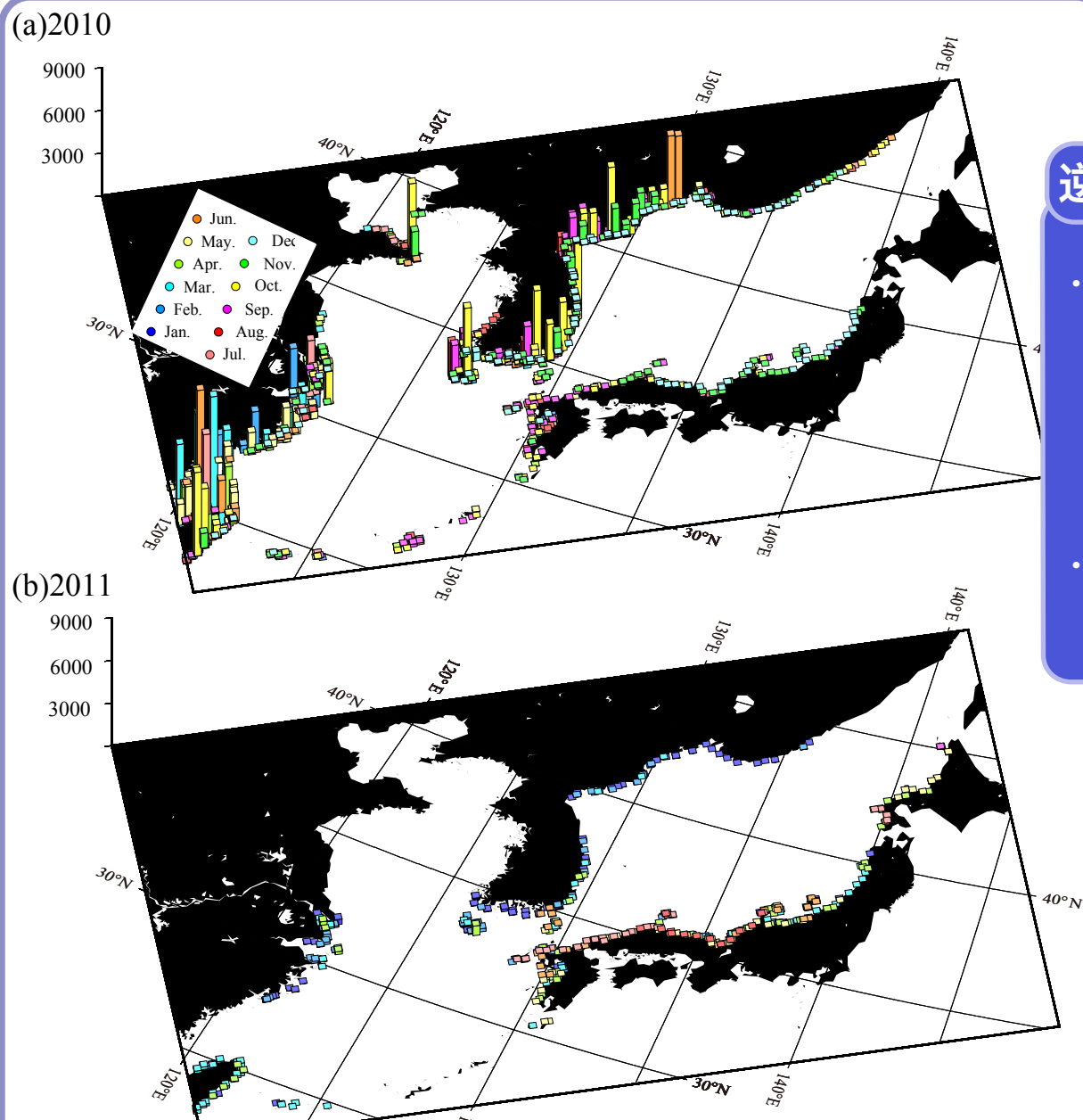
各流出量に対する重み

$$\begin{pmatrix} 1000 & 10000 & 10000 & \dots & 10000 \\ 10000 & 1000 & 10000 & \dots & 10000 \\ 10000 & 10000 & 1000 & \dots & 10000 \\ \vdots & 10000 & 10000 & \ddots & 10000 \\ 10000 & 10000 & 10000 & \dots & 1000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ \vdots \\ g_{N \times (l+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ \vdots \\ H_{N \times (l+1)} \end{pmatrix}$$

順方向粒子追跡における流出量

モデル海岸に漂着する粒子の数 (順方向粒子追跡の結果)

逆問題を用いたゴミ流出量の推定 (Kako et al., 2010)



逆問題から推定された流出量の精度評価

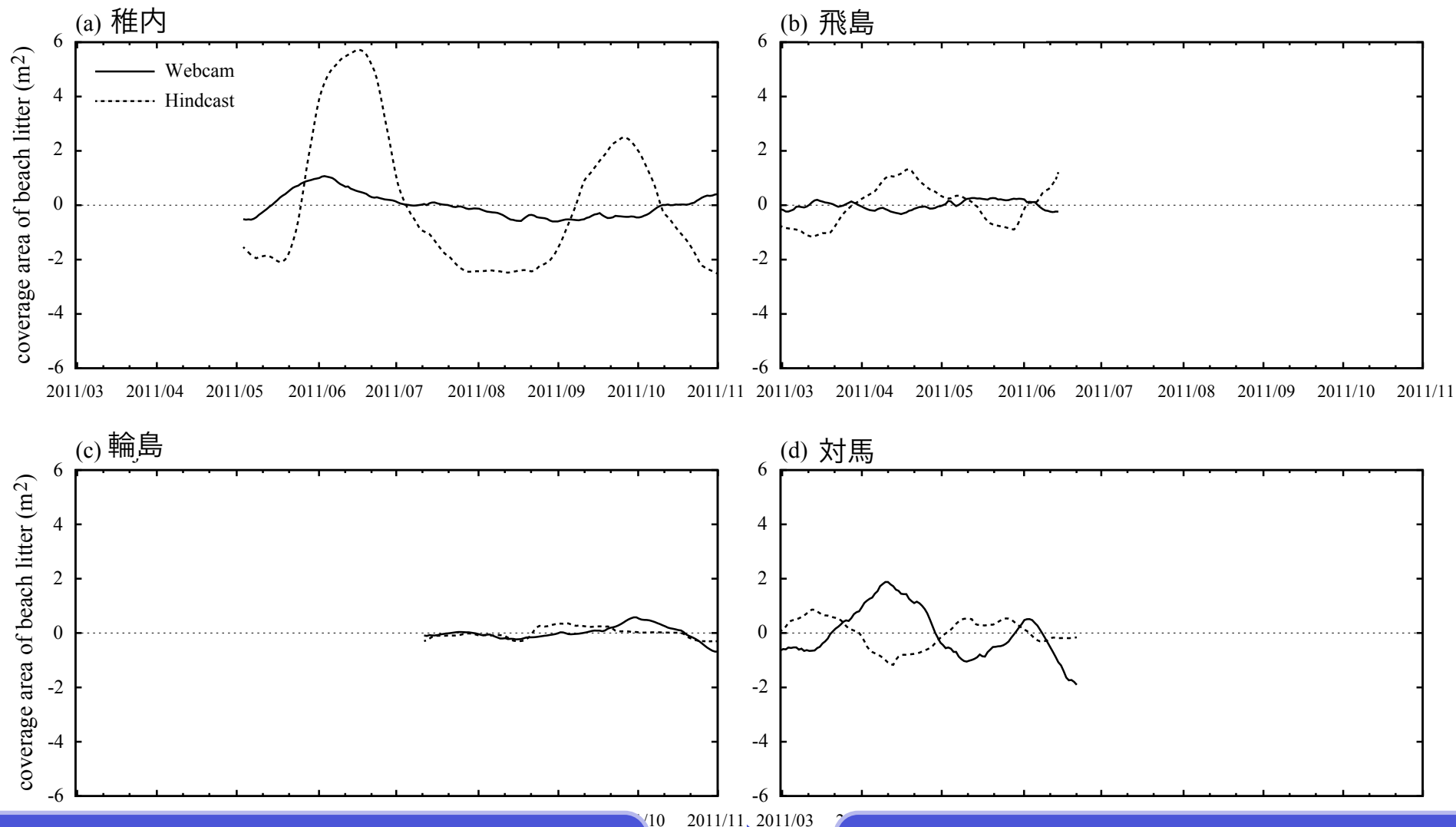
- ・ 逆問題から得られた流出量を各起因地に加え, 順方向の粒子追跡実験を行う.



- ・ 飛島に漂着した粒子の数をWebカメラの結果と比較する.

Figure. 逆問題を用いて推定された各起因地からのゴミ流出量.

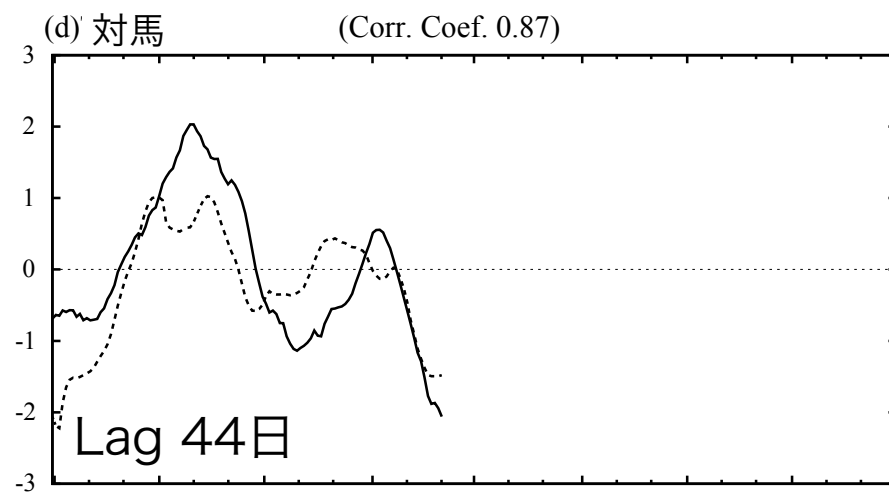
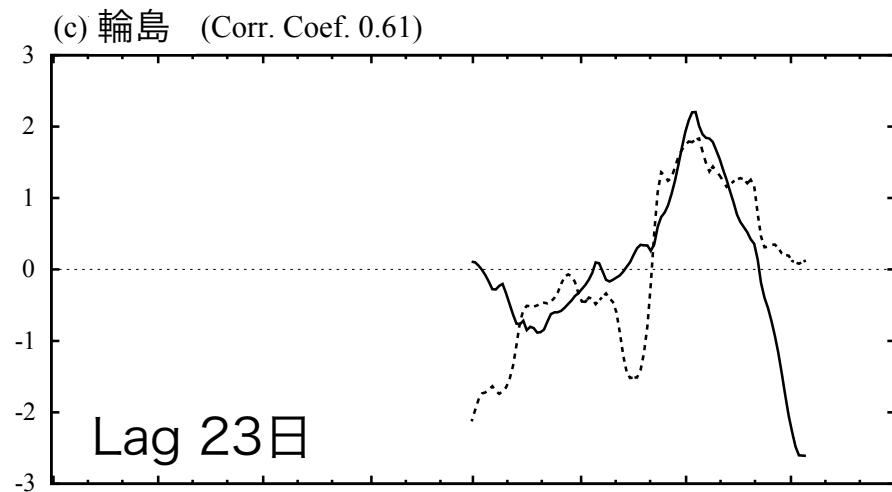
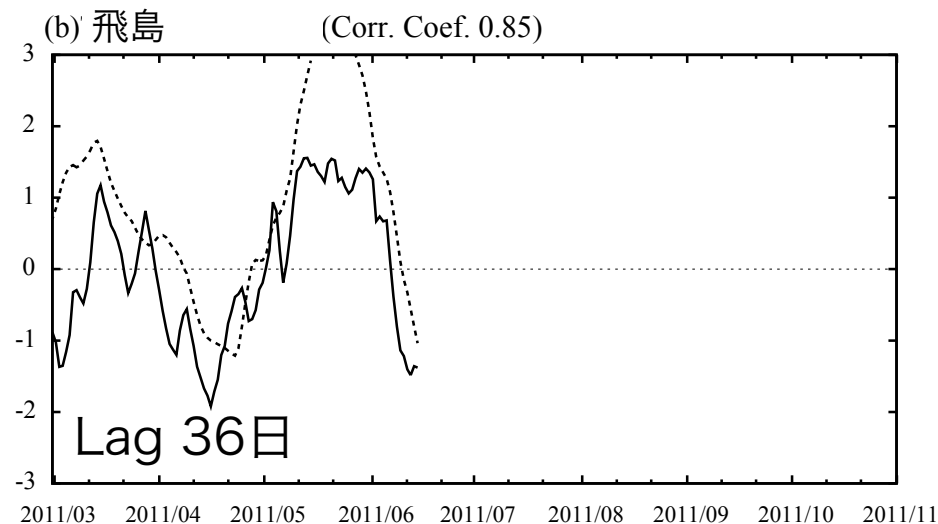
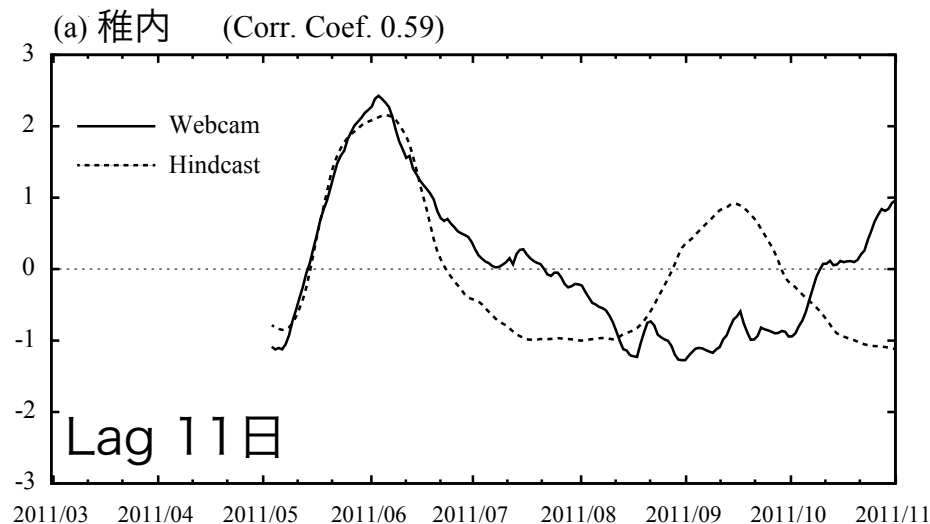
逆問題で推定されたゴミ流出量の精度評価



モデルは漂着量を過大評価し、ゴミ漂着量の時間変化も一致しない。

時間ラグを取り、漂着量を標準偏差で規格化した後、再度比較する。

逆問題で推定されたゴミ流出量の精度評価



1ヶ月程度のラグがあるものの、モデルとWebカメラから得られた漂着ゴミの時間変化は良く一致する。

海岸汚染のリスク検証

どの程度の環境リスクがあるのか？

現状が250年続いた場合（あるいは、ゴミ漂着量が現状の250倍となった場合）、海岸砂に含有する鉛濃度は、アメリカ環境保護庁が定めた鉛の土壤汚染基準値（250 mg/kg）を超える（Nakashima et al., 2012）。



彼女たちの結果は、毎年同量のゴミしか漂着しないという前提のもとでの結論。

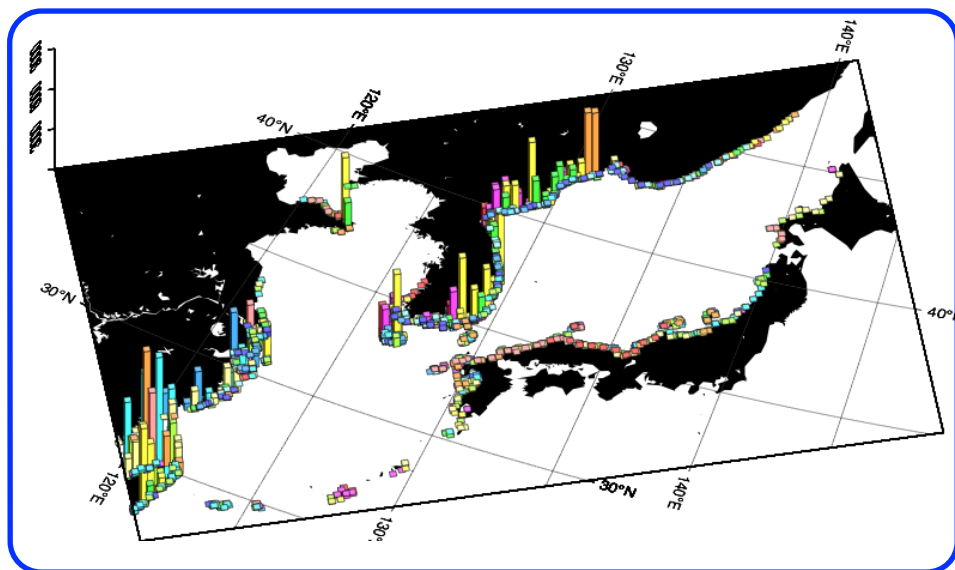
ある海域において、ゴミ流入量が流出量より圧倒的に多い場合、ゴミの大量漂着のリスクは時間とともに増す。



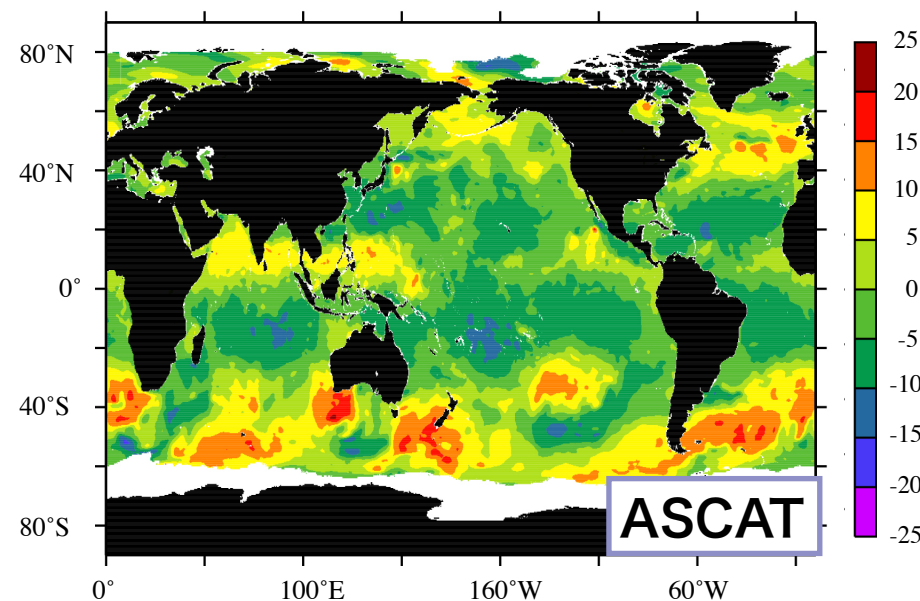
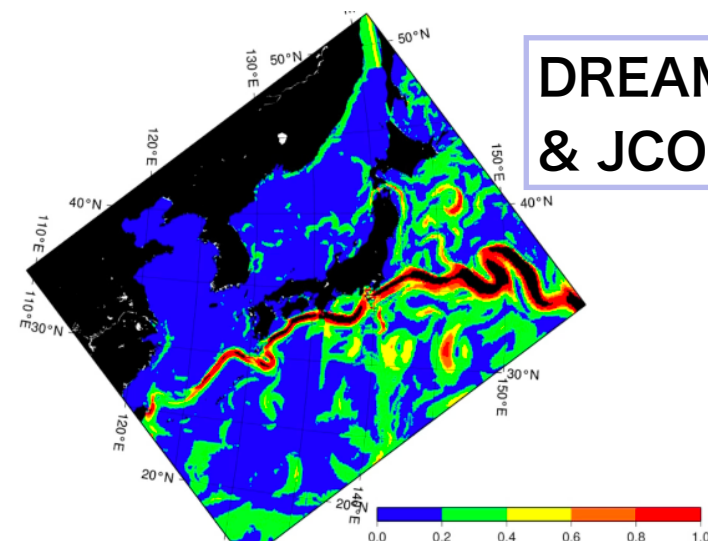
プラスチック由来の重金属による海岸汚染が顕在化するまでに、どのくらいの猶予があるのか？

粒

子追跡モデルを用いた漂着ゴミ由来の有害重金属に海岸汚染のリスク検証

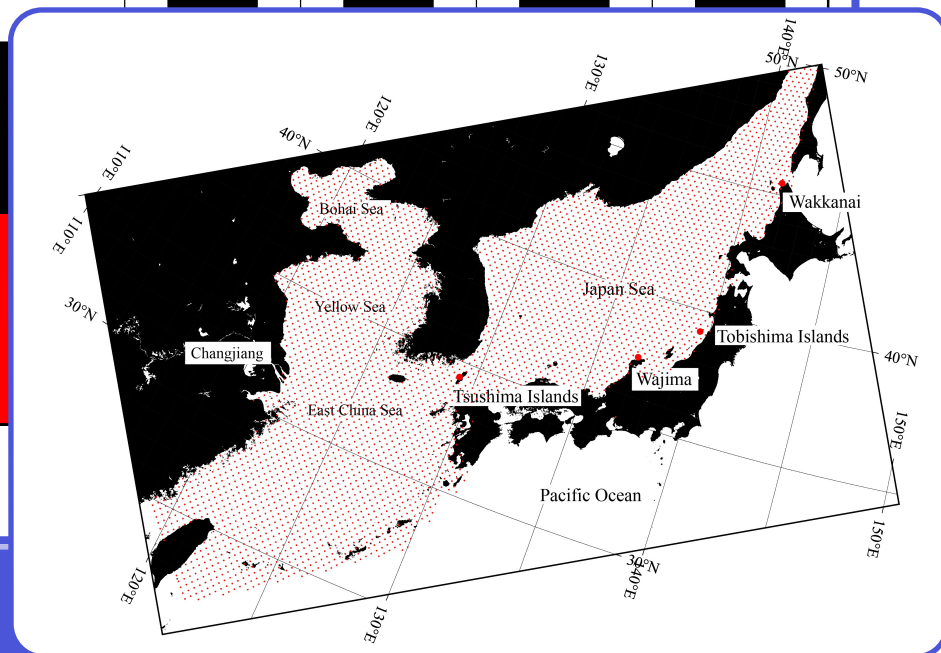
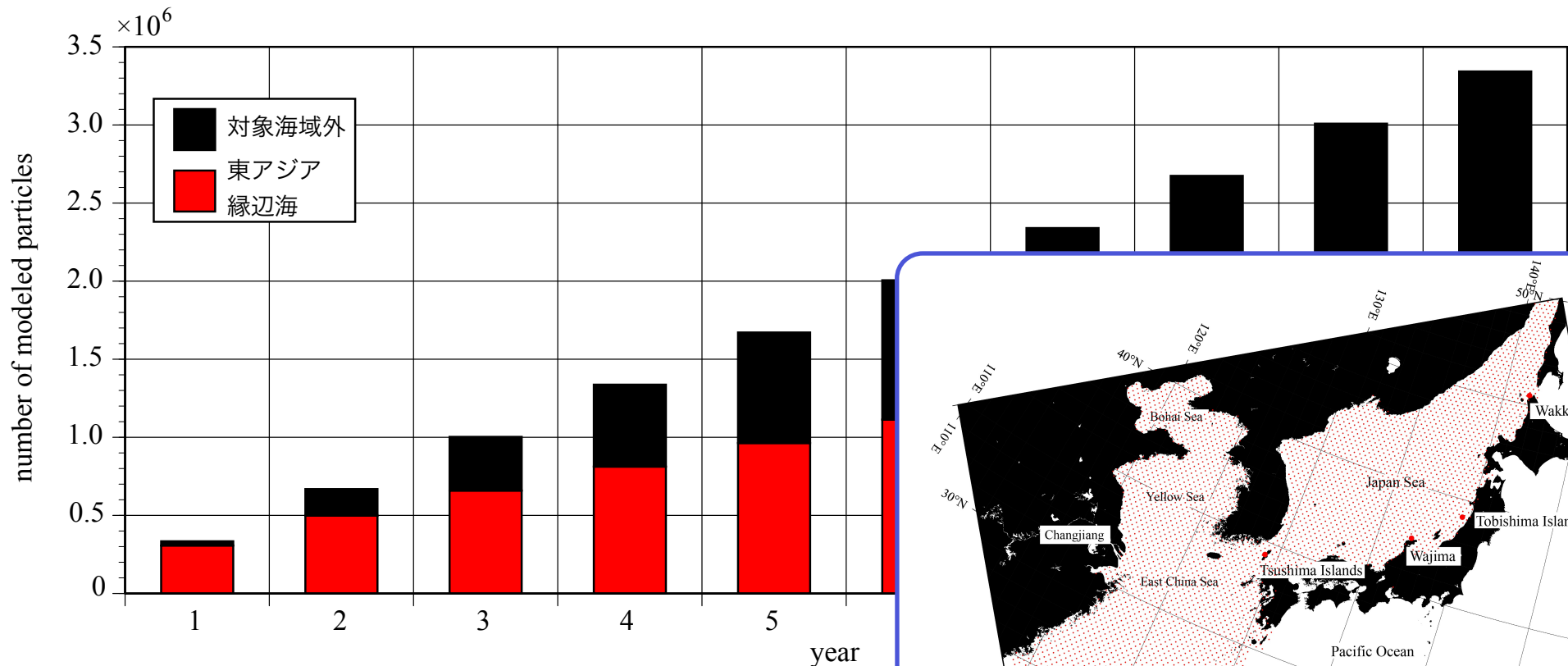


同条件(ゴミ流出量, 表層流, 海上風)で10年間粒子追跡実験を行い, 10年後の日本海・東シナ海におけるゴミ量を評価する.



2010年の表面流速と海上風

東アジア縁辺海におけるモデル粒子の数の経年変化



バーの高さ: モデル粒子の総数

赤いバーの高さ: 東アジア縁辺海におけるモデル粒子の総数

黒いバーの高さ: それ以外

ゴミ流出量が現在のまま保たれたとしても、東アジア縁辺海のゴミ量は増え続ける。

東アジア縁辺海におけるモデル粒子の数の経年変化

海岸のゴミ漂着量はどう経年変化するか？

- ・ 2年目に海岸に漂着したモデル粒子の積算量を基準値とする。
- ・ 基準値と各年の最終日までのゴミ漂着量の比を取ることで、各海岸の漂着ゴミの増加量を調べる。
- ・ 毎年、同量のゴミが漂着するのならば、基準値と4, 6, 8, 10年目までの積算値の比は、3, 5, 7, 9 (期待値) になるはず (2年目からの経過時間と同じ)。

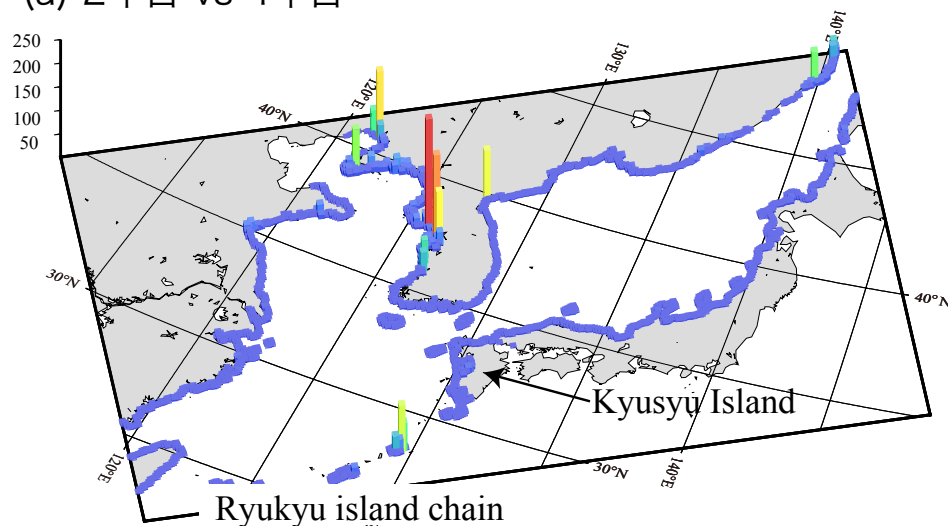


有害重金属は、漂着後24時間以内に最も多く流出するので、その土壌への影響を調べるには、積算量で比較する必要がある。

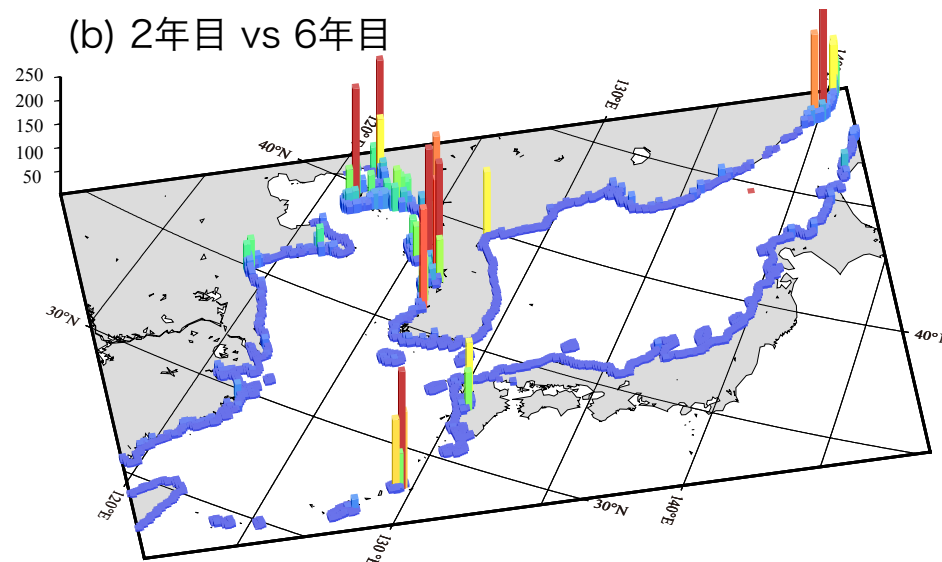


ミ流出量が現状のまま保たれた場合の各海岸におけるゴミ増加の割合

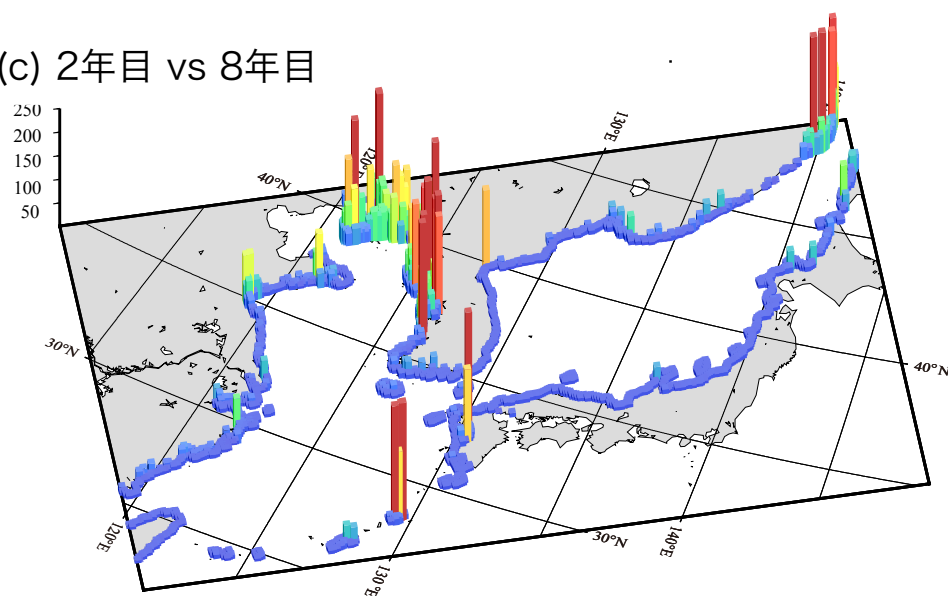
(a) 2年目 vs 4年目



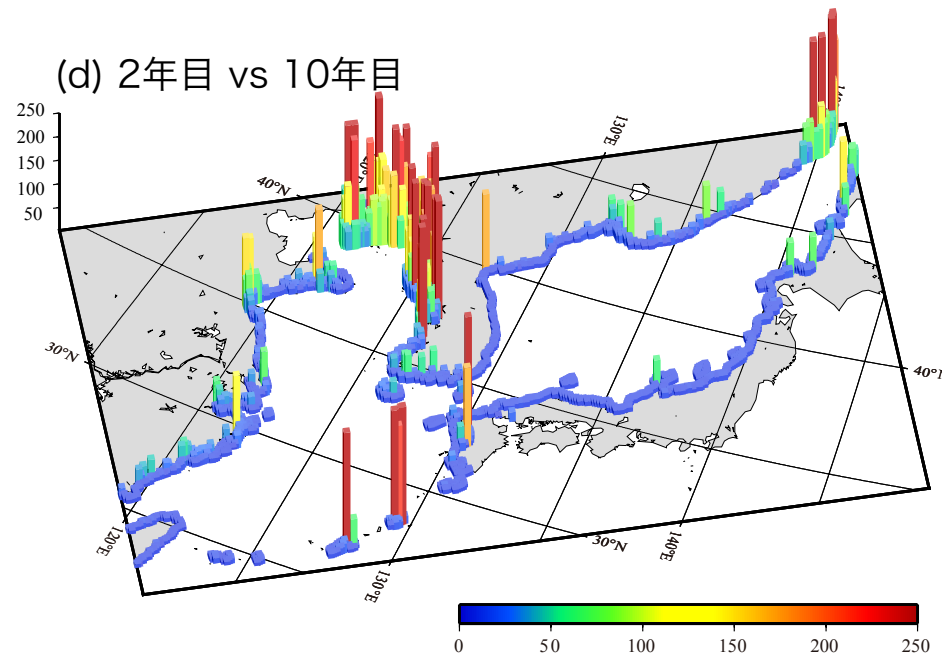
(b) 2年目 vs 6年目



(c) 2年目 vs 8年目



(d) 2年目 vs 10年目



各地点におけるモデル粒子の積算漂着量の比

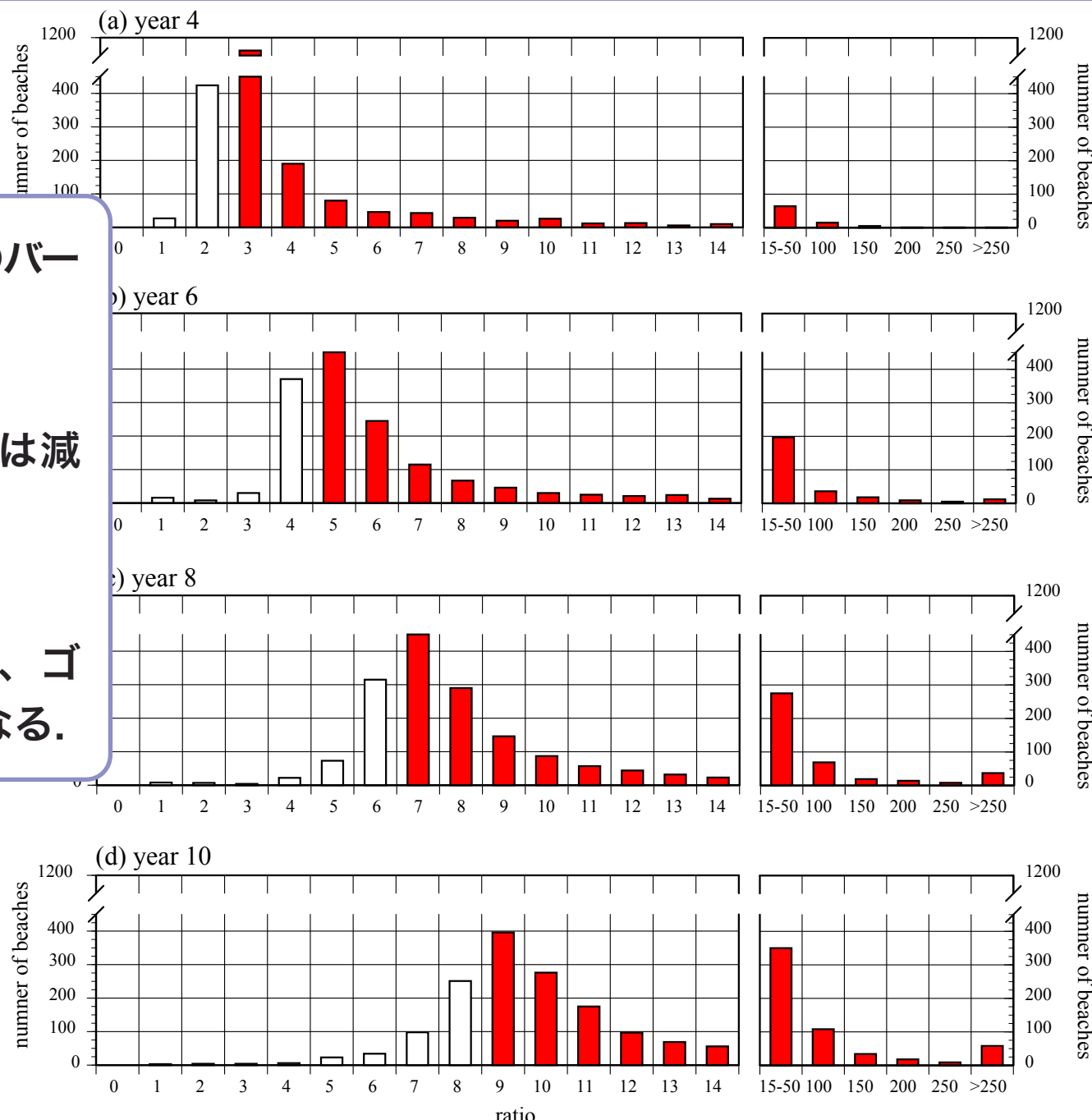


ゴミ流出量が現状のまま保たれた場合の各海岸におけるゴミ増加の割合

赤色のバーは期待値以上、白色のバーは以下を示す。

時間と共に、期待値付近の数は減り、15倍以上の割合が増える。

10年後には、約3%の海岸で、ゴミ漂着量が基準値の250倍となる。



まとめ

- Webカメラによって撮影されたゴミ量と、双方向の粒子追跡実験によって推定された起源地を使い、逆問題を解くことで、各起源地からのゴミ流出量を推定した。
- 逆問題によって推定されたゴミ流出量の精度は、Webカメラから得られた各海岸のゴミ漂着量とモデルから推定されたそれを比較することで行った。
- モデルによって推定されたゴミ漂着量は、Webカメラの結果よりも若干過大評価であった。時間変化は、30日程度のラグをもつものの、概ね一致した。
- 同条件(ゴミ流出量、流速、風圧流)で10年間の粒子追跡実験を行い、漂着ゴミ由来の海岸の重金属汚染について検討した。
- 日本海・東シナ海ではゴミ流出量が現状に保たれたとしても、ゴミの絶対量は増え続ける。また、10年後には、3%程度であるが、土壌汚染の基準である現状の250倍をこえる海岸が存在する。