



海洋プラスチック汚染に関する研究 —物理学的アプローチ—

スライド：片岡(国総研) & 日向(愛大)作成

海洋プラスチックによる環境汚染

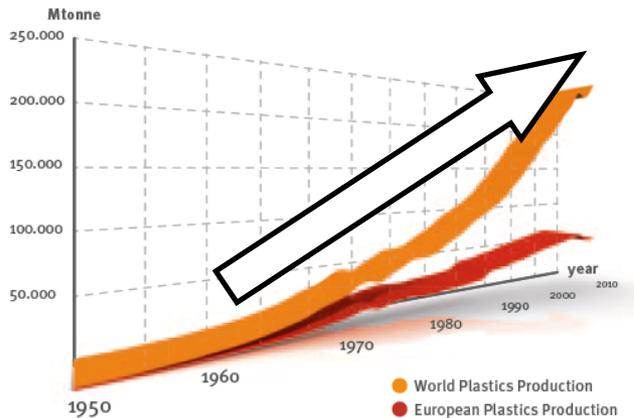
～plastic pollution～

- プラスチック・・・1960年代より大量生産・大量消費
 → 大量のプラスチック製の海ゴミが発生

80%は陸から

Plastics production in Mtonne:

1950	1976	1989	2002	2009	2010
1.7	47	99	204	250	265
0.35	19.8	27.4	56.1	55	57



Plastics Europe, 2011

Figure 2: World Plastics Production 1950-2010

Source: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG)

世界年間生産量(2010):2億6500万t

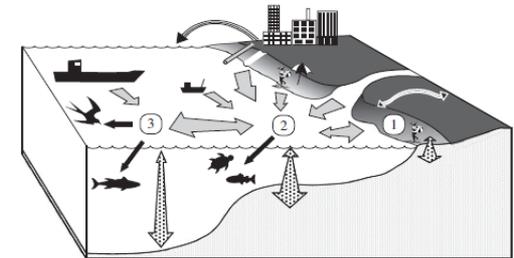
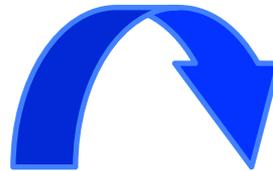
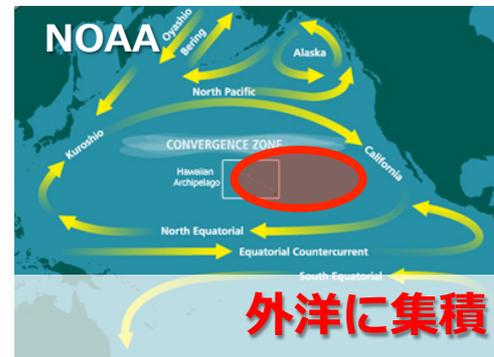


Figure 1. Schematic diagram showing the main sources and movement pathways for plastics in the marine environment, with sinks occurring (1) on beaches, (2) in coastal waters and (3) in the open ocean. The open arrows depict wind-blown litter, grey arrows water-borne litter, stippled arrows vertical movement through the water column (including burial in sediments) and black arrows ingestion by marine organisms.

Ryan et al., 2009



外洋に集積



Gregory, 2009

海岸に集積

Figure 1. Debris (mainly plastic) accumulated on a beach clean at Mason Bay, South Island, New Zealand.

海洋プラスチックによる環境汚染 ～plastic pollution～

- 海洋プラスチックによる環境汚染
→ 海洋生物への物理的危険、有害化学物質汚染

絡まりや誤飲

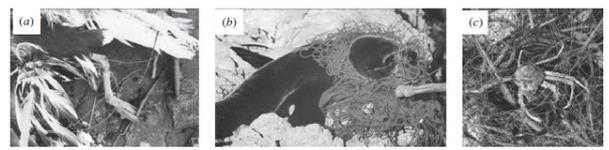


Figure 2. Examples of entanglement from New Zealand that draw immediate public sympathy and anger: (a) Karoro (southern black-backed gull, *Larus dominicanus*) caught and hooked in nylon filament fishing line; (b) a New Zealand fur seal trapped in discarded netting and (c) Ghost fishing—derelict fishing gear dredged from >100 m on the Otago shelf.

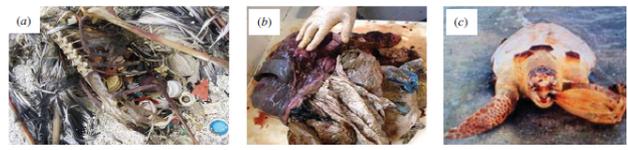
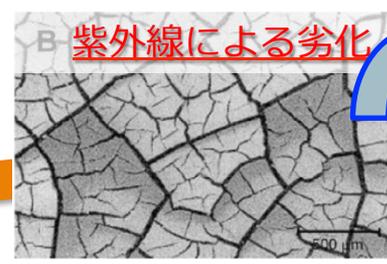


Figure 3. Examples of ingestion: (a) Laysan Albatross (*Ph*) from the stomach of a young Minke whale (*Balaenoptera a* of G. Mauger & F. Kerleau, Groupe d'Etudes de Cétac inflated plastic bag. One infers that it has been mistaken); (b) a hand holding a piece of inflated plastic bag; (c) a turtle with a piece of inflated plastic bag in its mouth.

Gregory., 2009

マイクロプラスチックの生成



Andrady, 2011



NOAA

プランクトンの組織内にも...

有害化学物質の溶出・吸着



Nakashima et al., 2012



生態系に影響？



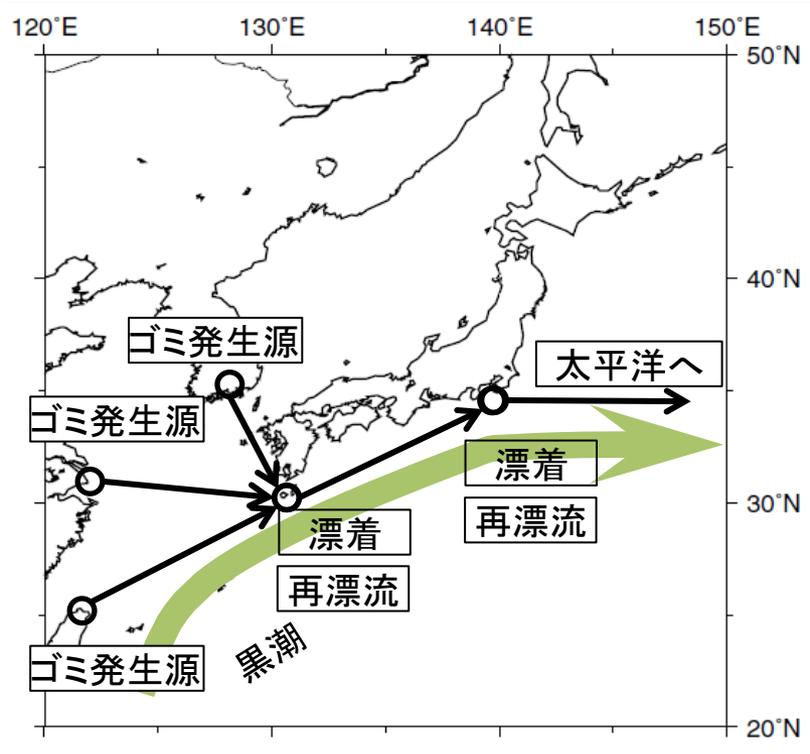
なぜ滞留時間に着目？

海洋プラスチックは漂着-再漂流を繰り返しながら輸送される

→ 海岸ではプラスチック性状が急激に劣化

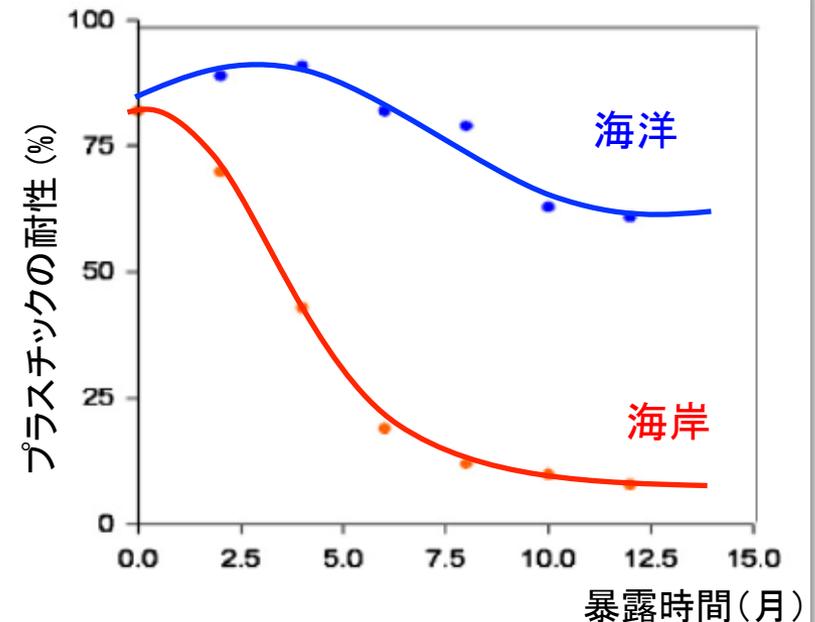
→ 滞留時間の長い海岸はマイクロプラスチック生成のホットスポット？

海洋プラスチックの輸送イメージ



真の海ゴミ輸送過程を明らかにするためには海岸での滞留時間が必要不可欠

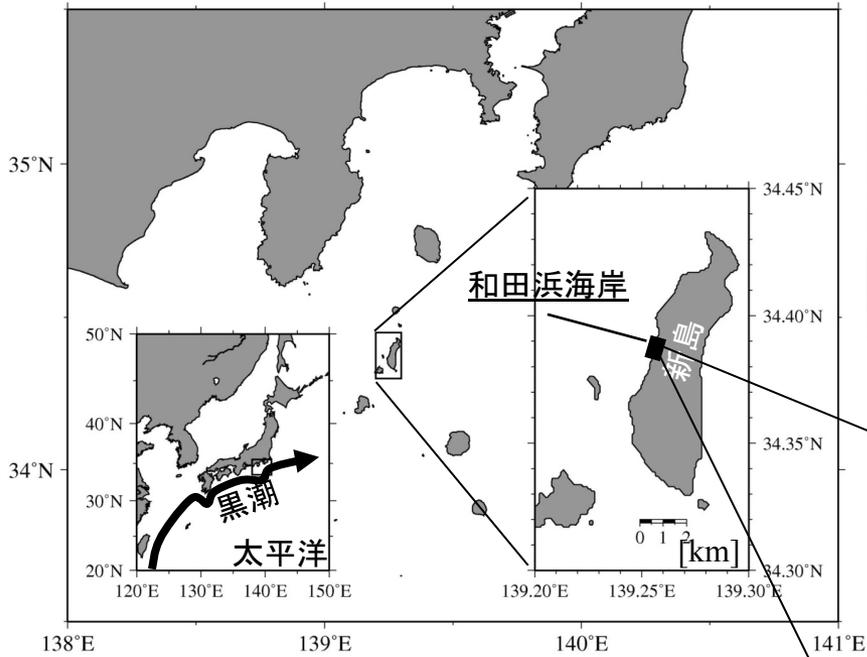
海岸では性状が急激に劣化



Andrady, 2011

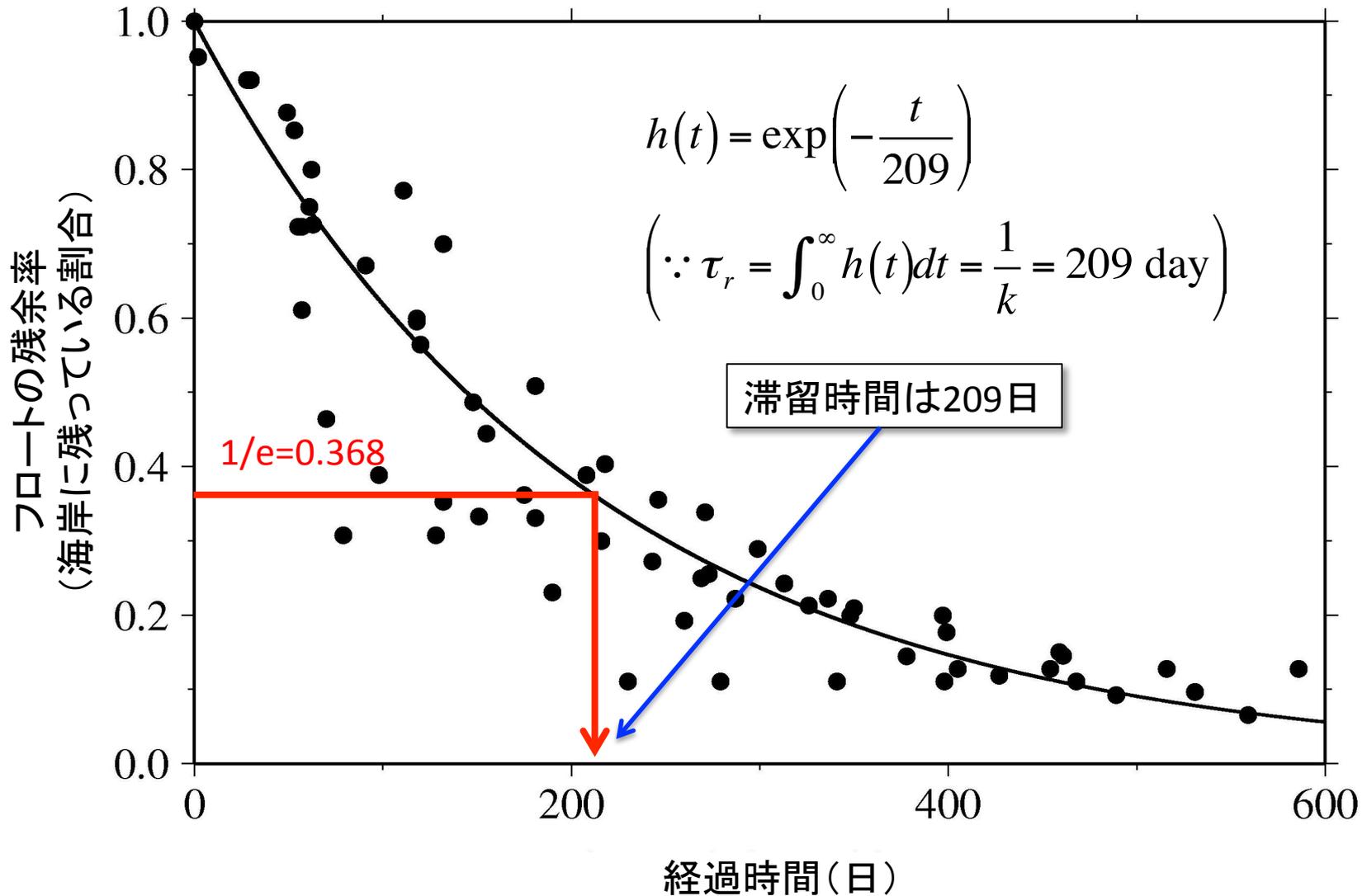
滞留時間が長い海岸はマイクロプラスチック生成のホットスポット？

プラスチックフロート追跡実験



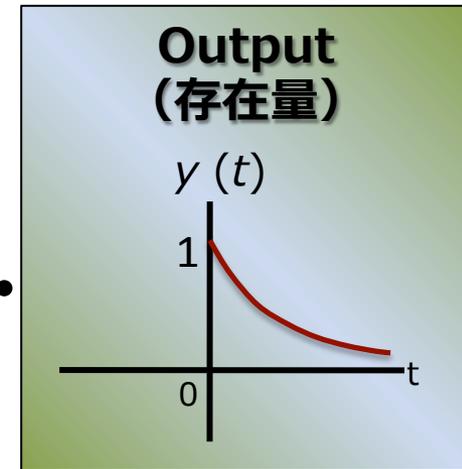
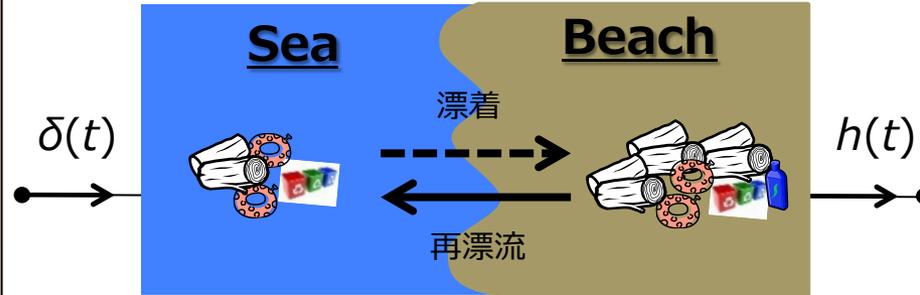
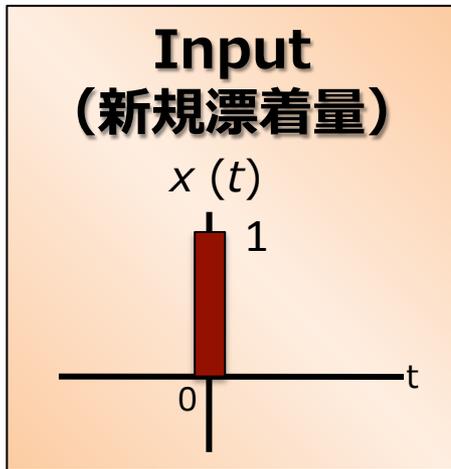
海岸上の3つの種類のブイ全てに識別番号を付け位置をGPSで計測

フロートの数は指数関数的に減少



海岸 → 線形システム

単位インパルス応答



瞬間的にフロートが漂着
その量は1とする

始めに1あったフロートの
数は指数関数的に減少
していく

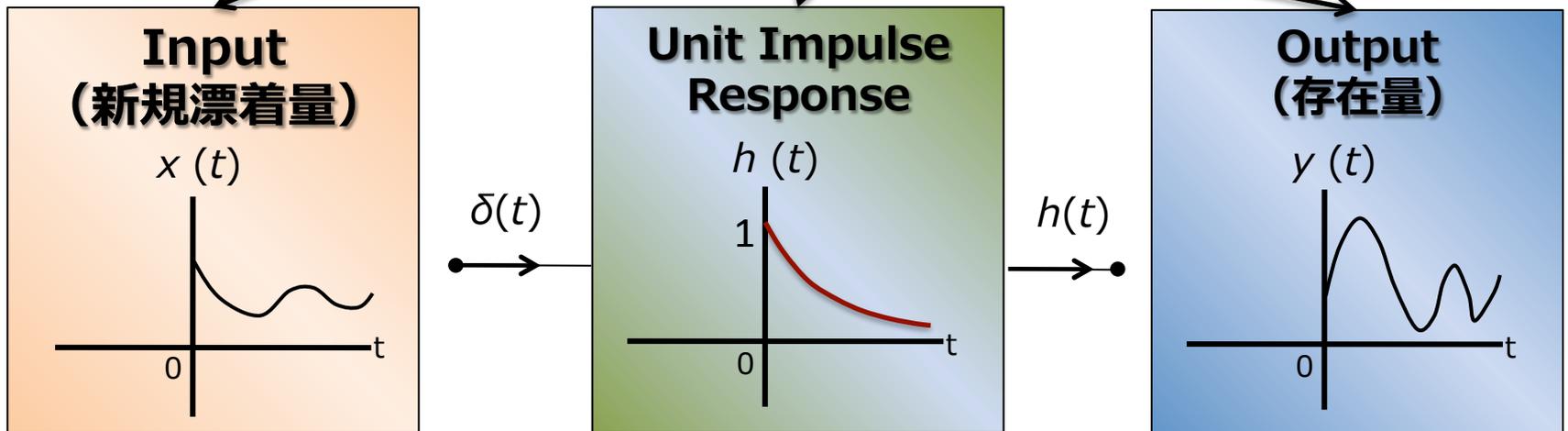
指数関数的にフロート数が減少するということは
海岸が漂着フロートに対して線形システムとして
振る舞っているということ

つまり、..

新規漂着量 → 海岸存在量

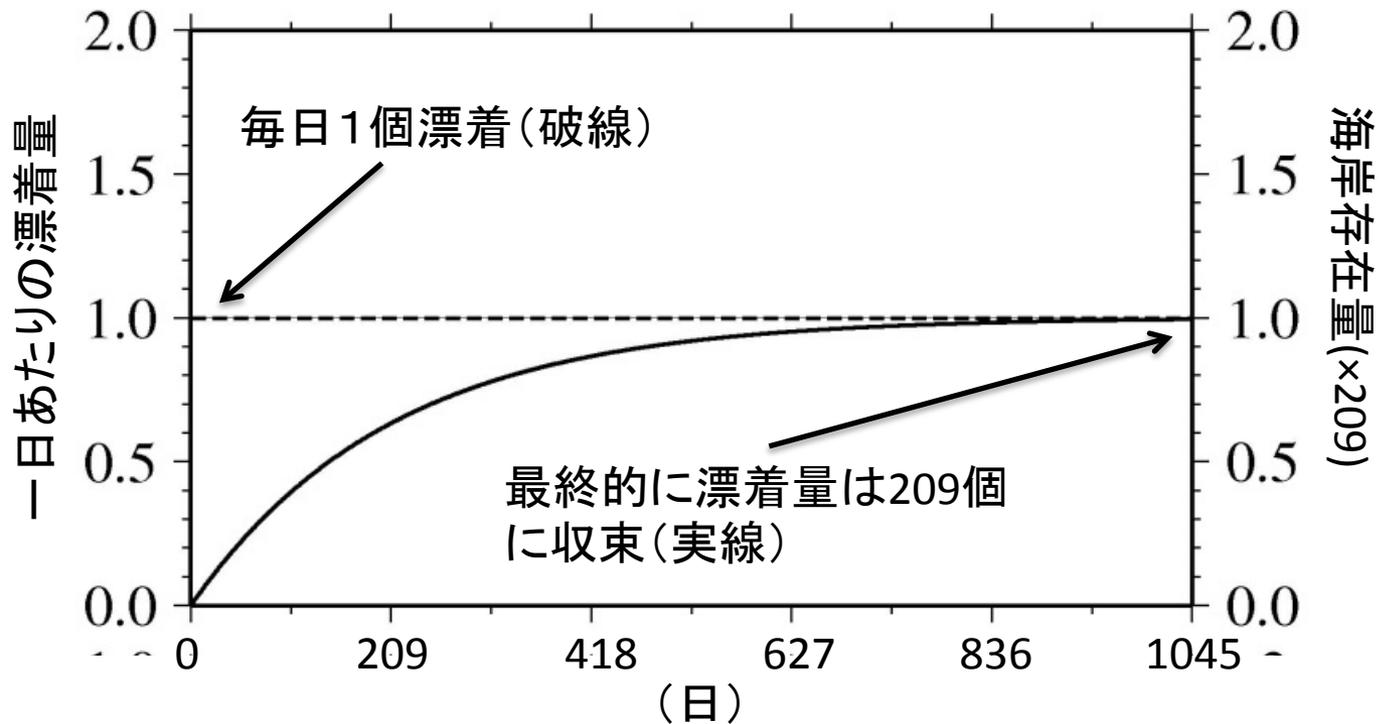
つまり、時間的に変化する新規漂着量に対する海岸存在量を以下の式を用いて計算できるということ

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) \exp\left(-\frac{t-\tau}{209}\right) d\tau$$



毎日1個フロートが漂着したら？

たとえば、毎日1個のフロートが和田浜に漂着したとすると和田浜上のフロートの数は無限にふえるのでしょうか？実際はそうはなりません。前のページの式の $x(t)$ に1(個/日)を代入すれば良いのです。下の図がその答えです。

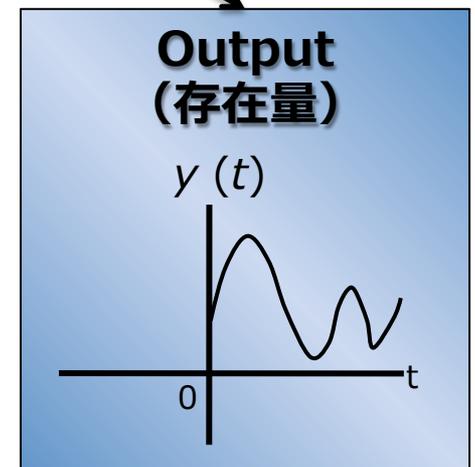
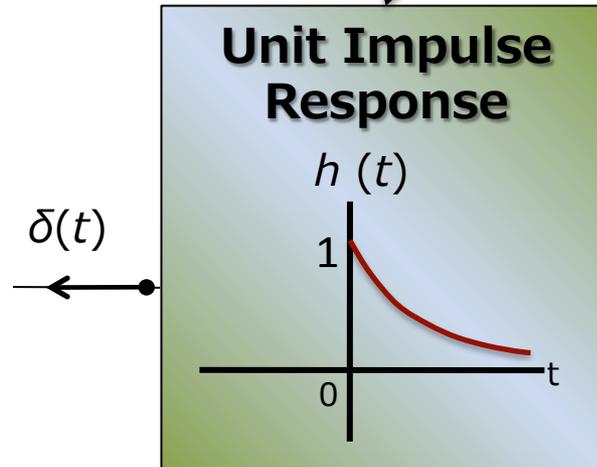
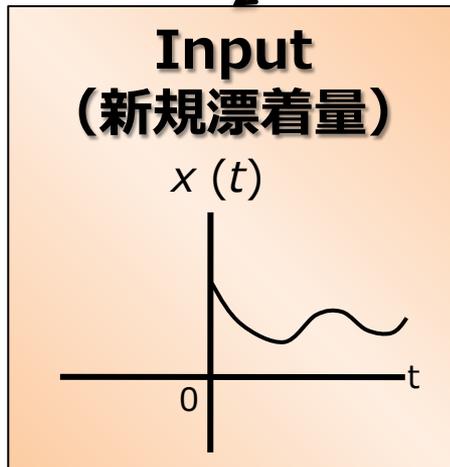


海岸上のフロート数は無限に増え続ける事はありません。最終的には漂着量 $x(t)$ と滞留時間(209)のかけ算の値に収束します。滞留時間の2倍程度時間がたてば最終的な値の90%程度の漂着量となります。

新規漂着量 ← 海岸存在量

逆に、海岸存在量が分かれば逆フーリエ変換を使う事で新規漂着量を推定することも可能です。その場合のポイントは、海岸存在量の連続的なデータ(フーリエ変換したいので)が必要ということです。

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{Y(\omega)}{H(\omega)} \right) e^{i\omega t} d\omega$$



海岸清掃効果の定量化

海岸清掃効果の定量的評価

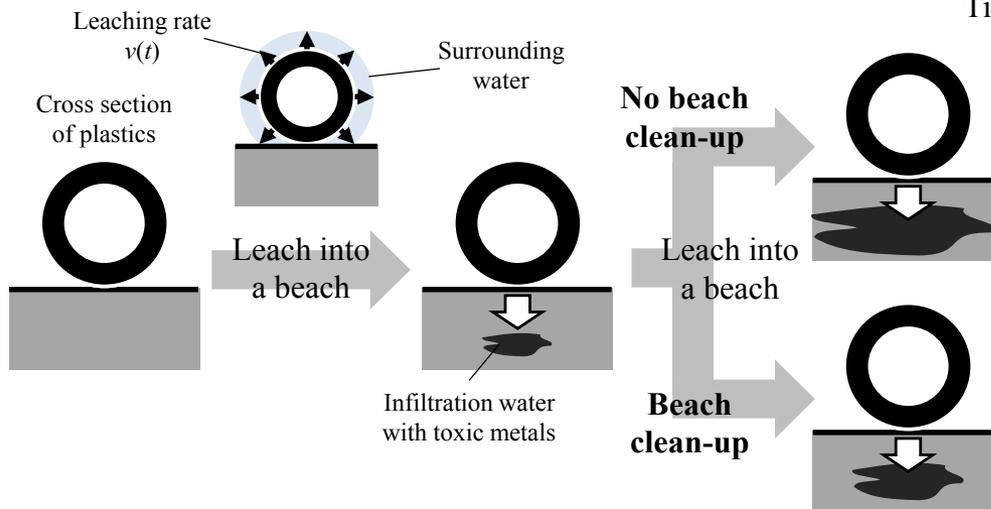
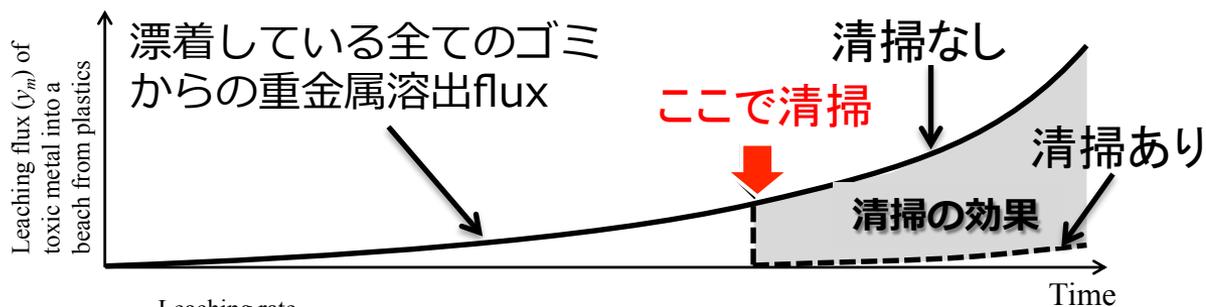
「掃除してもすぐまた元の状態に戻ってしまう。」
「海岸清掃って意味あるの？」 by 海岸清掃ボランティアの方々

こんな声を良く聞きます。本当に海岸清掃は意味がないのでしょうか？あるとしたらどれくらいの効果があるのでしょうか？

海岸が線形システムだと仮定すると清掃効果の定量的評価は可能です。

フロートからの重金属溶出について清掃の効果を評価してみる

$$\text{清掃効果} = \frac{\text{重金属溶出量(清掃無)} - \text{重金属溶出量(清掃有)}}{\text{重金属溶出量(清掃無)}}$$



重金属溶出flux

$$y_m(t) = \int_0^t v(t-\tau)x(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

重金属溶出量

$$Y_m(t) = \int_0^t y_m(\tau)d\tau$$

$v(t)$: 重金属溶出速度

$t-\tau$: 漂着してからの経過時間(年齢)

$x(t)$: 新規漂着量

$h(t)$: 単位インパルス応答

清掃のタイミングと清掃効果

仮定：フロートの新規漂着量は1年周期で変動する

— : 清掃なしの場合の漂着量
 — : 清掃ありの場合の漂着量

清掃パターン1

1年1回、漂着量が**極小**
の時に清掃

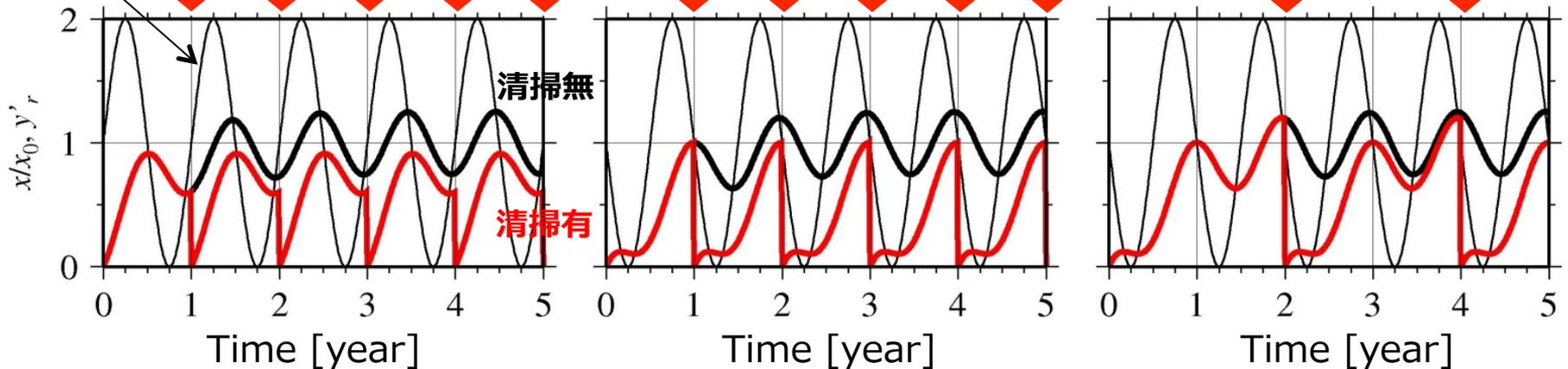
清掃パターン2

1年1回、漂着量が**極大**
の時に清掃

清掃パターン3

2年1回、漂着量が**極大**
の時に清掃

新規漂着量



清掃時期は非常に重要

清掃パターン1 **清掃パターン2** **清掃パターン3**
 1年1回、漂着量が**極小**の時に清掃 1年1回、漂着量が**極大**の時に清掃 2年1回、漂着量が**極大**の時に清掃

	清掃パターン1	清掃パターン2	清掃パターン3
重金属溶出に対する清掃効果 (累積存在量の差)	31%	55%	32%

最もきれいな時期に毎年清掃をするくらいなら
 最も汚い時期に隔年で清掃しても効果は同じ
 →コスト(人件費)を削減できる

海岸存在量の連続データがあれば新規漂着量を逆推定することや、最適な清掃時期を決定することができます。

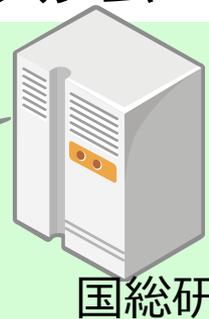
海岸存在量連続計測手法の開発

Webカメラモニタリングシステム

Webカメラモニタリングシステム

SDカードに保存
(SDHC, 32GB)

FOMA回線



国総研

Webcam

太陽光
パネル

コントロー
ルボックス

バッテリー

時間

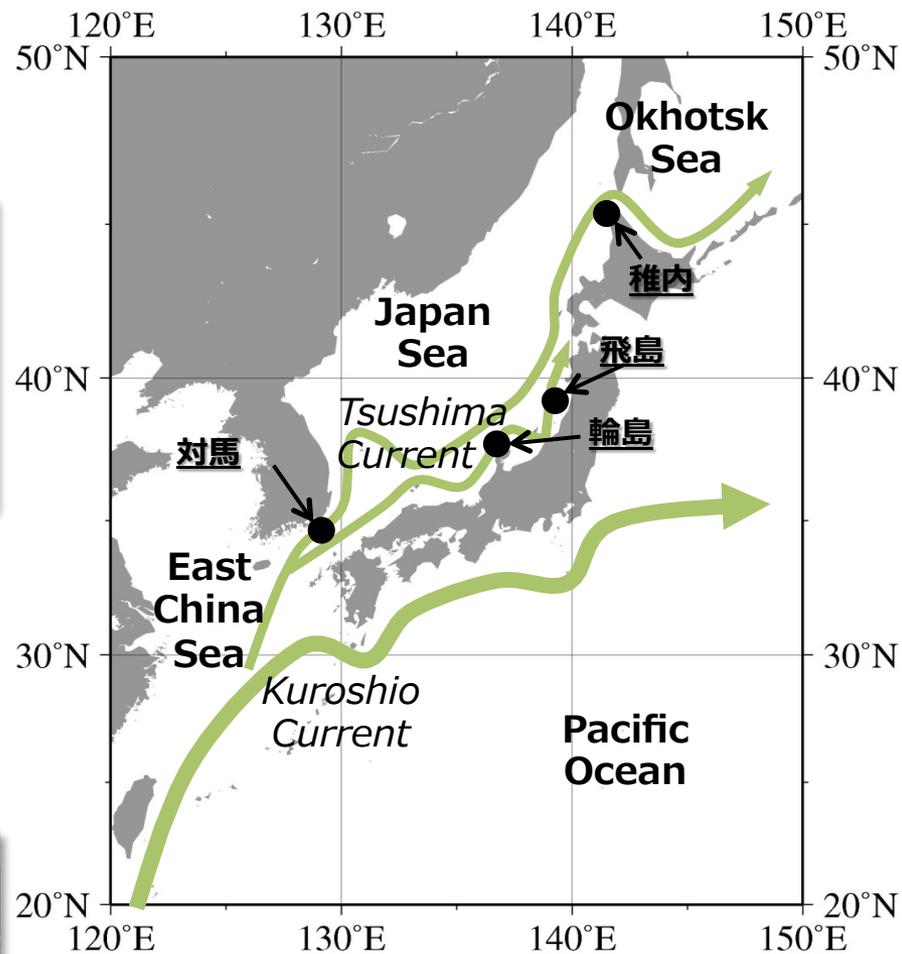
Webcam画像

稼働時刻 → 7:00 から15:00まで2時間間隔 (i.e., 1日5回稼働)

1回稼働あたりの撮影枚数 → 5枚

1日あたりの撮影枚数 → 25枚 (i.e., 5 (稼働回数) × 5 (撮影枚数) = 25)

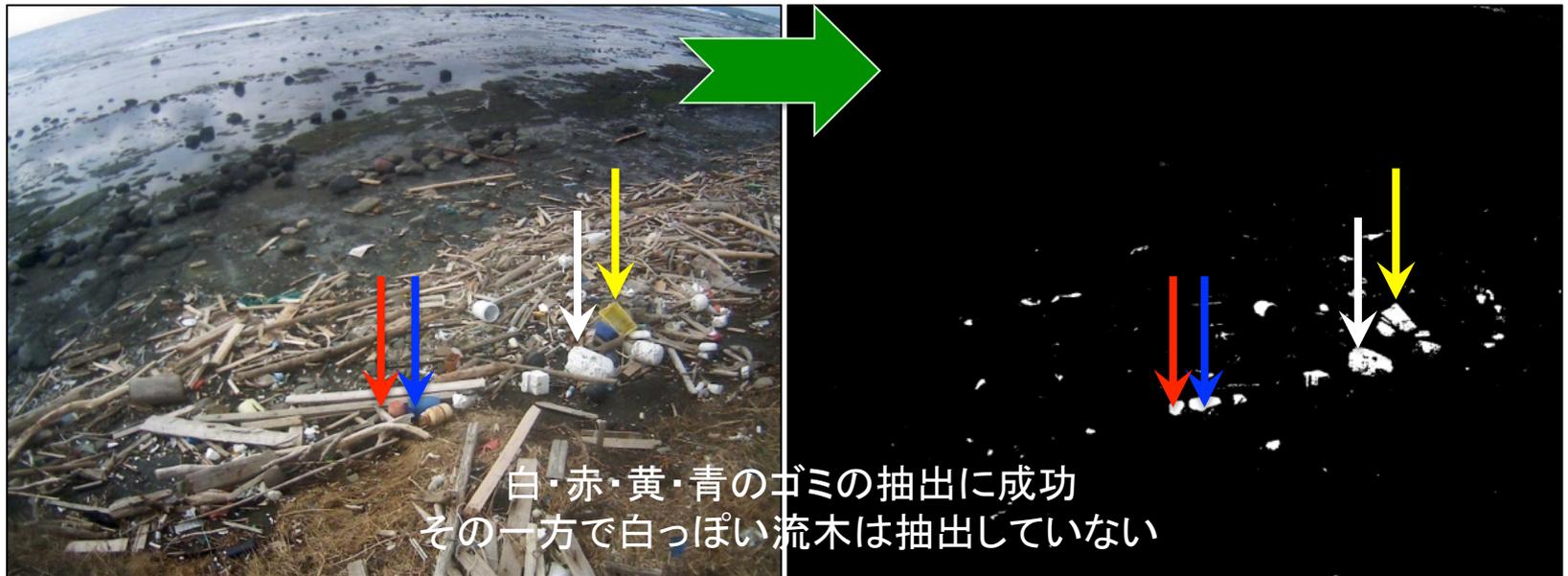
4 地点同時連続計測の実現



色に着目してプラスチックを識別

Step1: プラスチック漂着物に対応する画素の色(値)をデータベース化

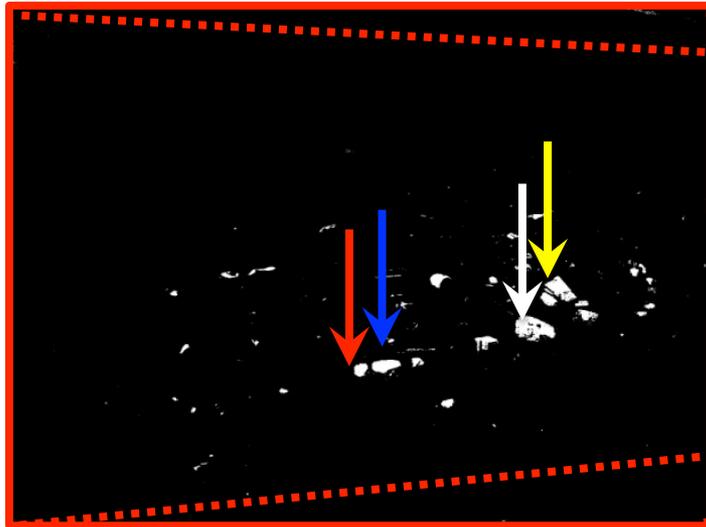
Step2: 任意の時間の撮影画像の全ての画素を調べ、データベースに登録されている値と同じであればその画素はプラスチックと判断



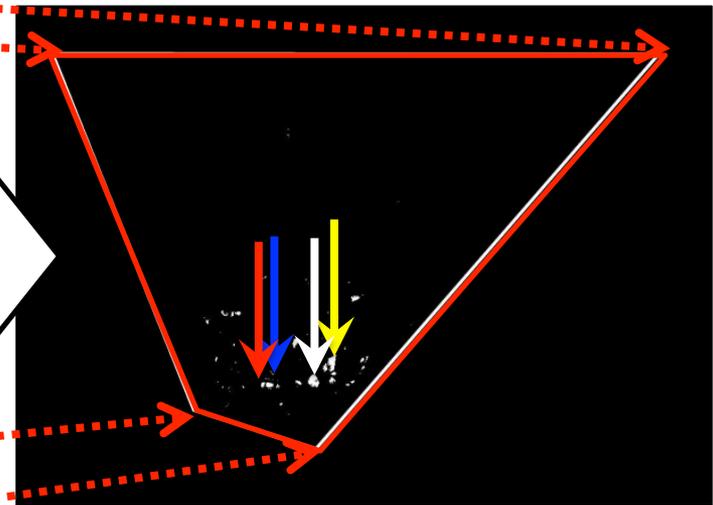
真上から見た画像に射影変換

- Step3: 真上から見た画像に射影変換し、プラスチック画素が占める被覆面積を計算
- Step4: Step2&Step3を各時刻の撮影画像に対して行い、被覆面積時系列を作成

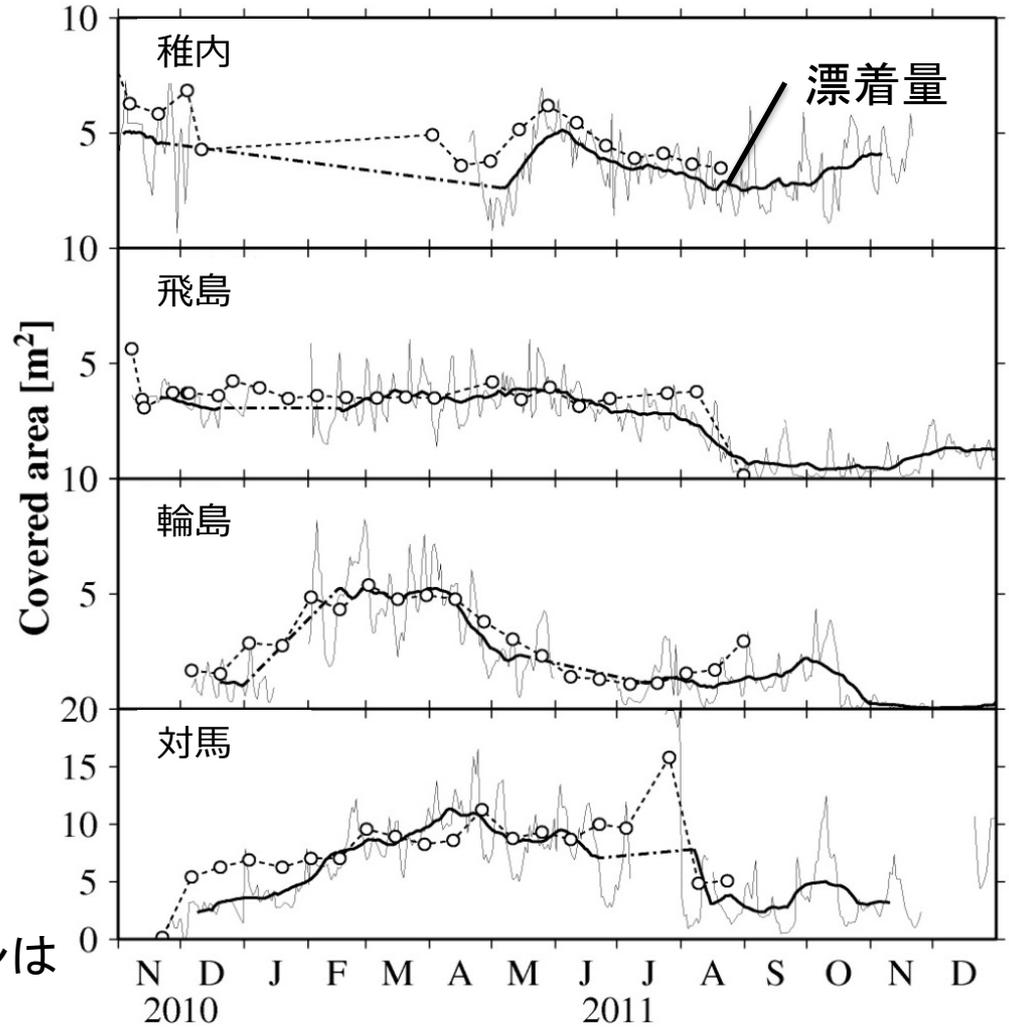
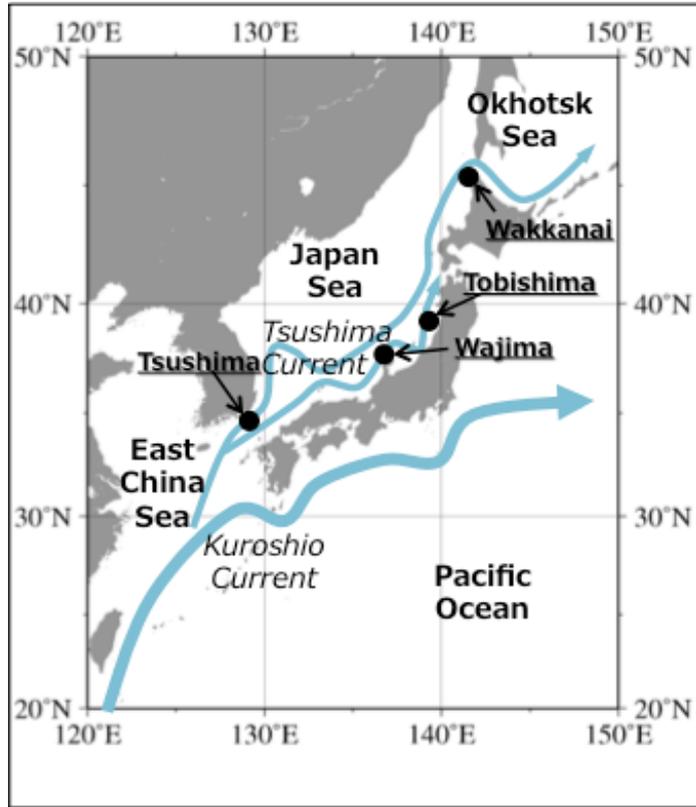
プラスチックゴミを検出した画像



さらに射影変換した画像



画像解析による漂着ゴミ量の連続計測



同じ日本海側でも漂着量の変動パターンは異なる→清掃の最適タイミングも異なる

— Covered area — 30-day moving average
 -o- Visual observation

片岡ら, 2012