

流域圏シンポジウム  
漂流・漂着ゴミ研究の最前線と今後の課題—  
2013年12月12日@首都大秋葉原キャンパス

# 漂流漂着ゴミ対策 ～今後の研究の方向性～

磯辺篤彦  
愛媛大学 沿岸環境科学研究センター



## 私たちの研究グループによる漂着ゴミ研究

### ●2007年～2009年 海ごみ研究プロジェクト Phase I

環境省・地球環境研究総合推進費

「市民と研究者が協働する東シナ海沿岸における海岸漂着ゴミ予報実験」  
磯辺(九大→愛媛大CMES), 日向(国総研), 清野(東大), 馬込(産総研), JEAN  
事後評価A

#### 【主な成果】

- (1) 海洋循環モデルや再解析プロダクトを用いた**漂着ゴミの起源推定・漂着予報**
- (2) バルーンやウェブカメラを用いた**ゴミ漂着量のモニタリング**
- (3) **市民による海岸調査**はサイエンスに利用可能か？ →検証と証明

### ●2010年～2012年 海ごみ研究プロジェクト Phase II

環境省・環境研究総合推進費

「海ごみによる化学汚染物質輸送の実態解明と市民とリスク低減に向けた戦略的環境教育の展開」  
磯辺(愛媛大CMES), 日向(国総研), 清野(東大), JEAN  
事後評価A

#### 【主な成果】

- (1) ウェブカメラを用いた**ゴミ漂着量モニタリングの高度化**
- (2) プラスチックゴミに含有する**有害金属**の動態解明
- (3) **海ごみサイエンスカフェ**の展開

Ribic (1998, *Marine Pollution Bull.*)  
 による月一回の手作業によるモニタ  
 リング

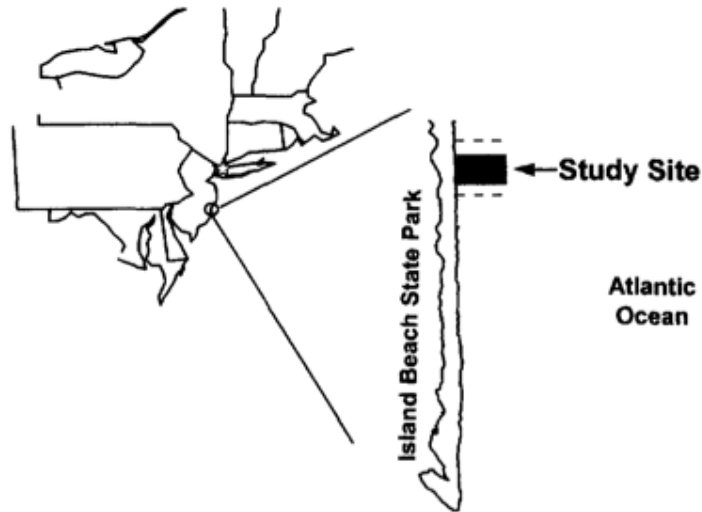
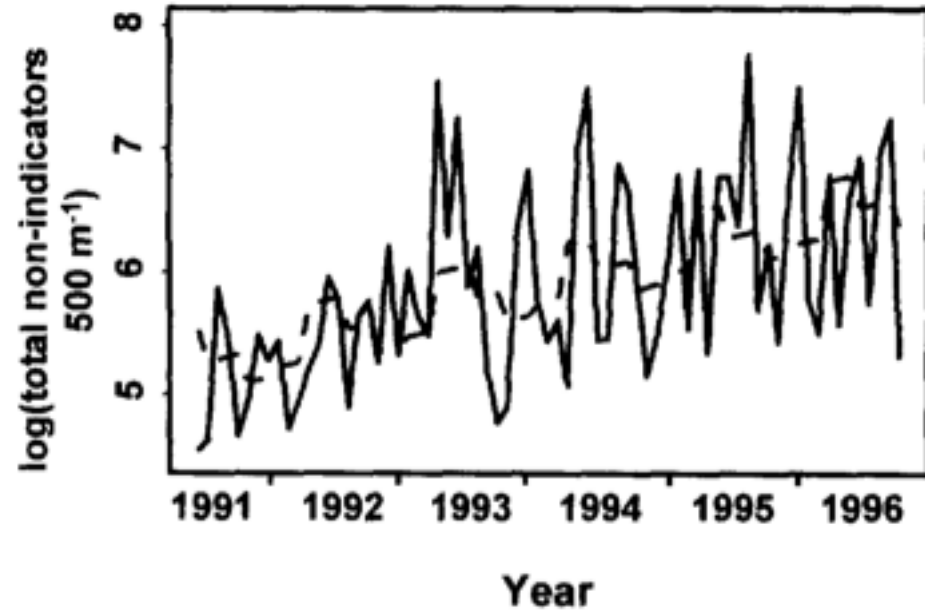
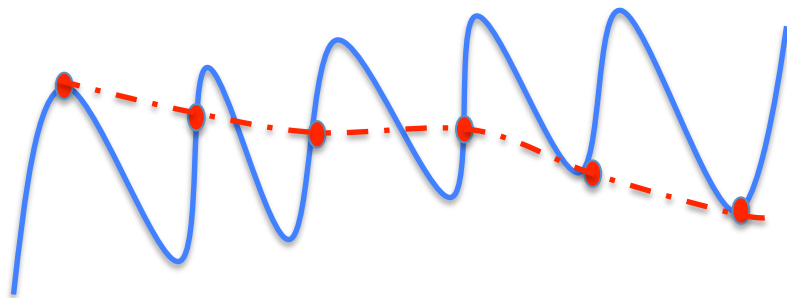


Fig. 1 Location of Island Beach State Park, New Jersey, USA (circle on map). The study site within the park is the shaded rectangle and adjacent buffer area boundaries are dashed lines. New York City is indicated by the star on the map.



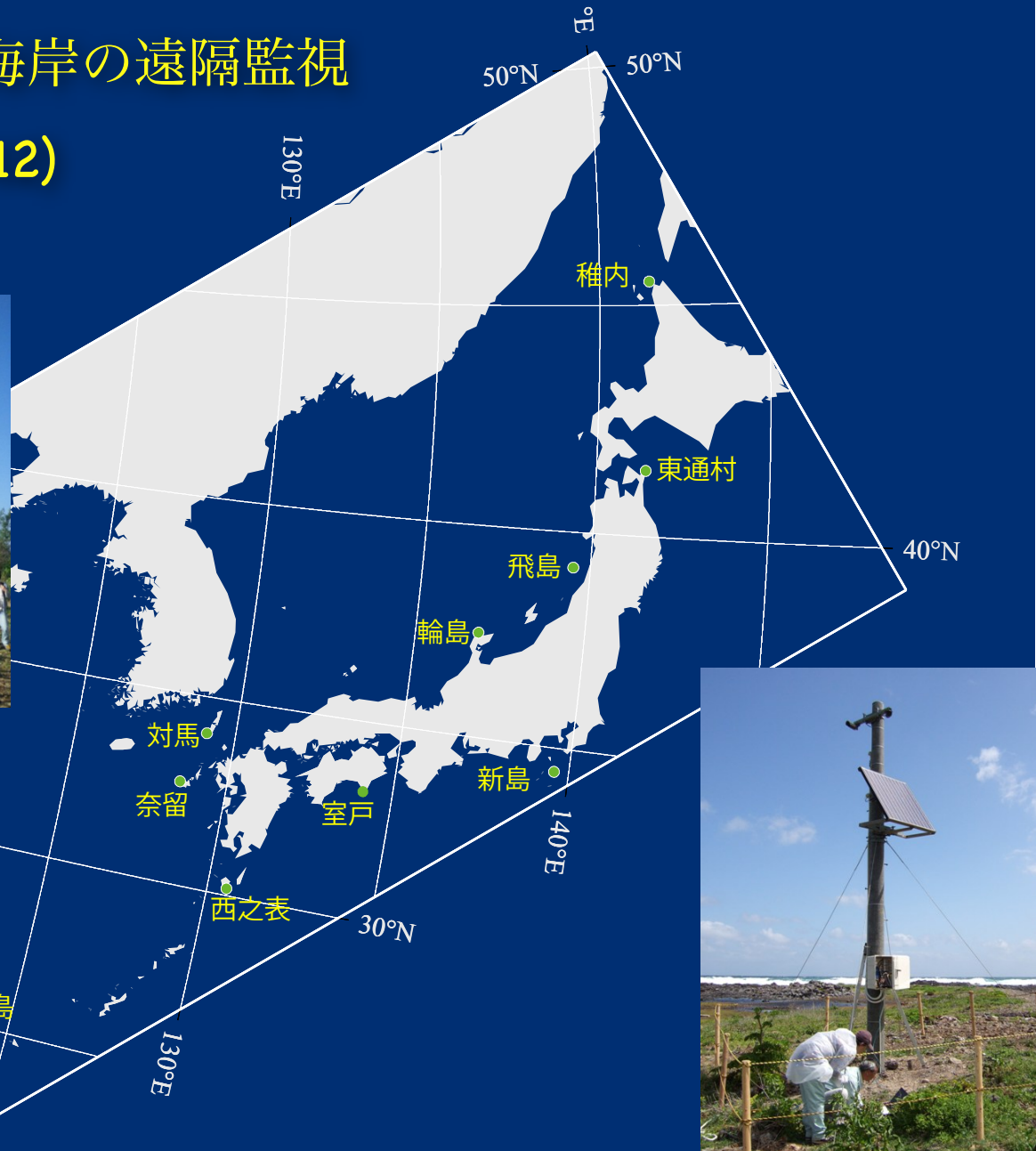
一定区間における漂着ゴミを、定期的に手作業で  
 収集するモニタリングは数多いが、  
 Convey et al. (2002), Otley and Ingham (2003),  
 Silva-Iniguez (2003), de-Araujo et al (2006), Santos  
 et al. (2005), Bravo et al. (2009)....



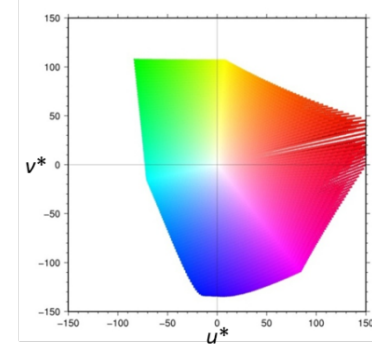
エイリアジングによる誤差が致命的で、結果の解  
 釈に困る。

経年変動・季節変動  
 7日以下の気象擾乱に伴う変動  
 台風などによるイベント的な増減

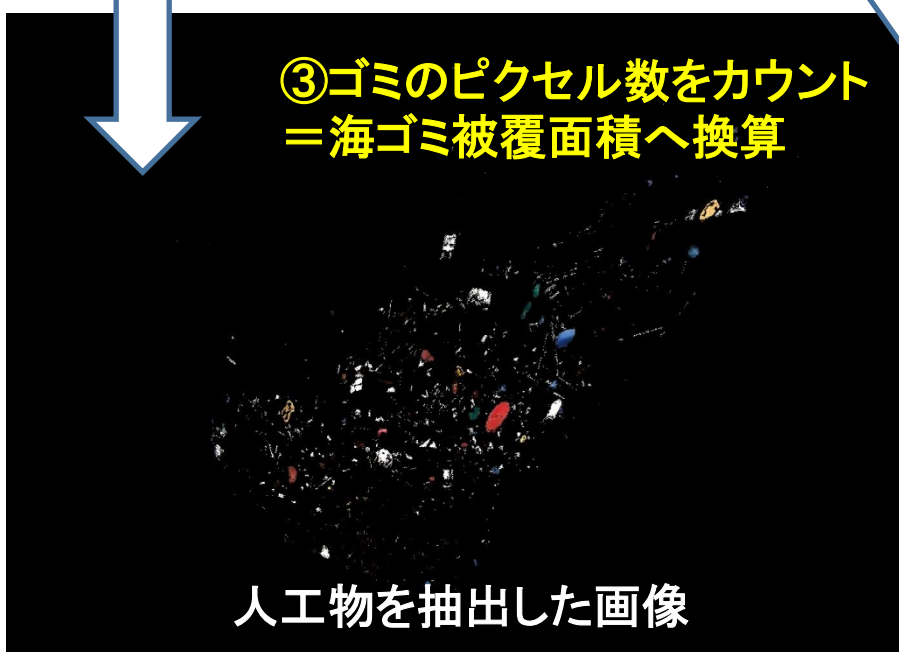
# Webカメラによる海岸の遠隔監視 (Kataoka et al., 2012)

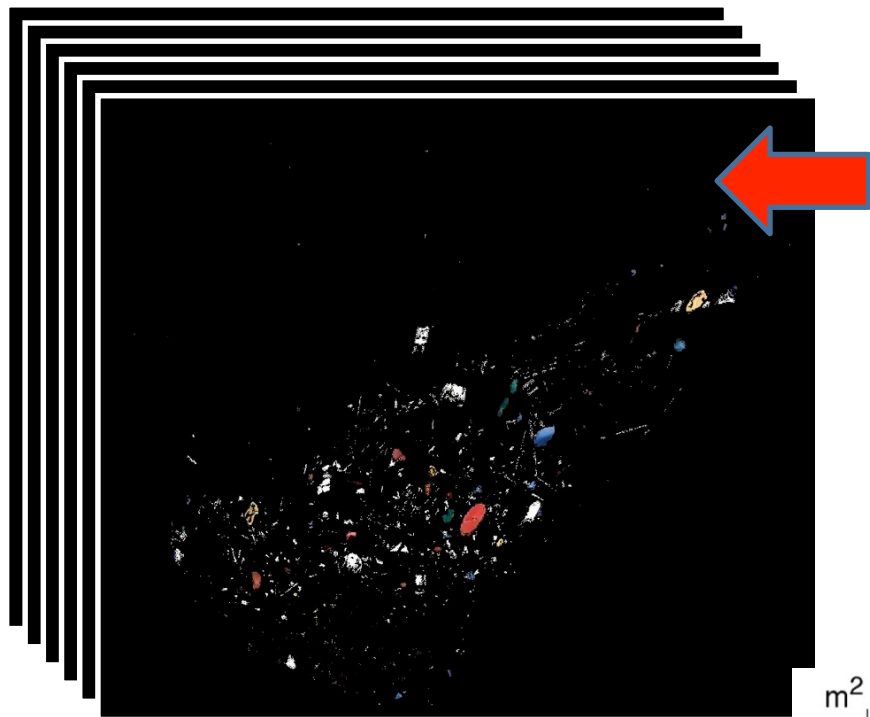


# ウェブカメラによるゴミ漂着量の計測



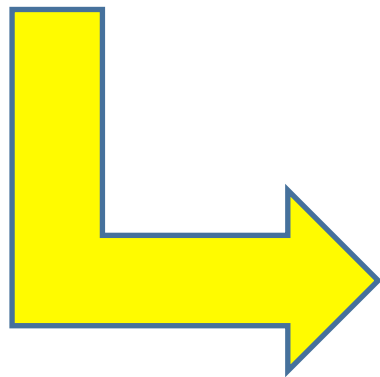
②RGB画像を、色差(色間の距離)が均等になる国際照明委員会(CIE)LUV表色系上に再配置後、背景海岸・海・流木の色と、人工物の色を、色空間上の距離で分離



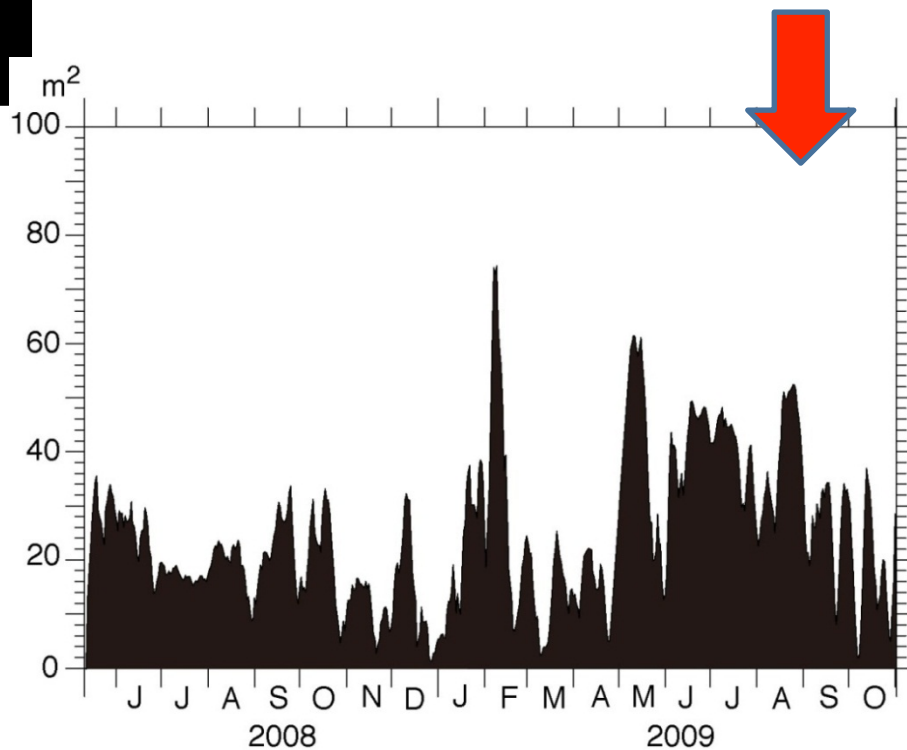


人工物の被覆面積を計算して

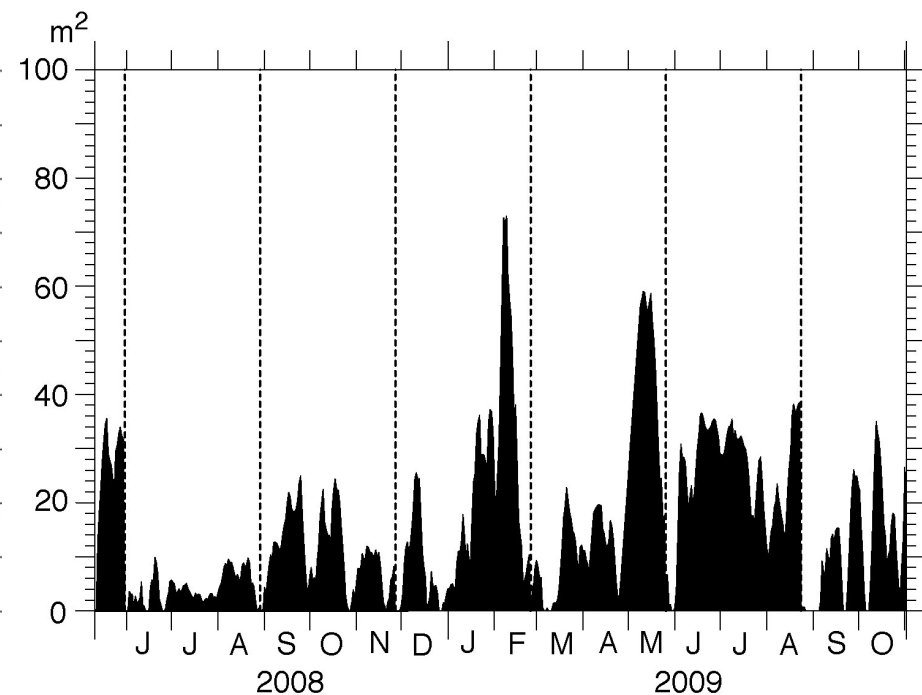
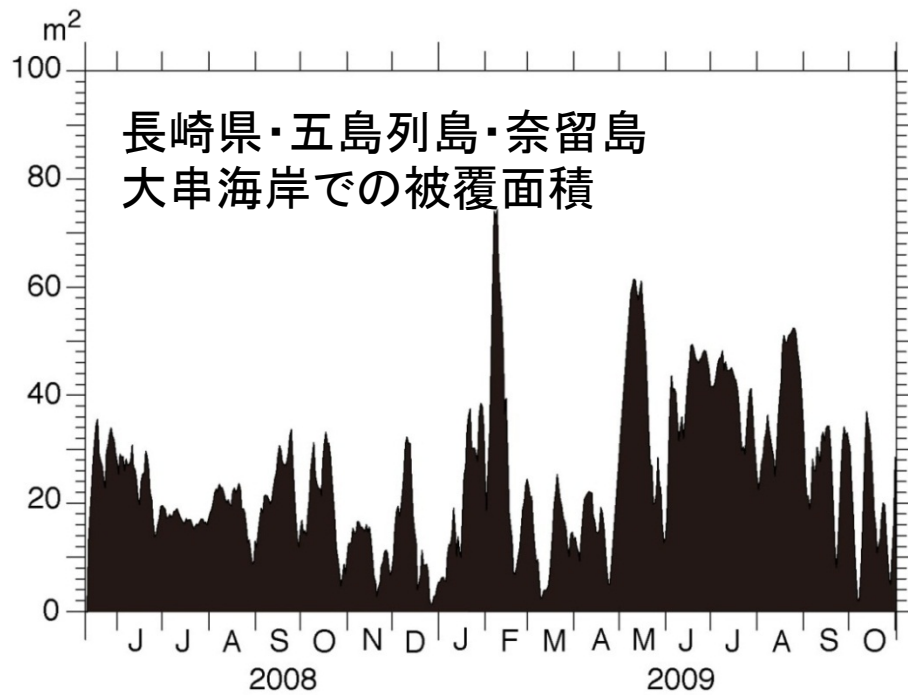
海ゴミ漂着数の時系列を算出



海岸清掃事業の「最適時期」を  
決めることは難しい。。。。



# ウェブカメラデータを用いた海岸清掃事業のシミュレーション



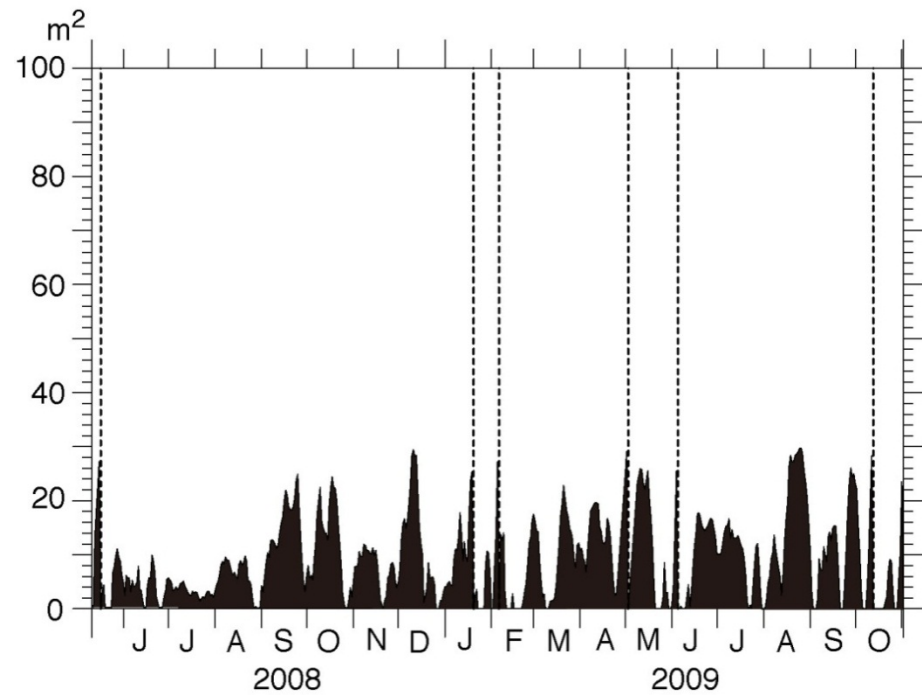
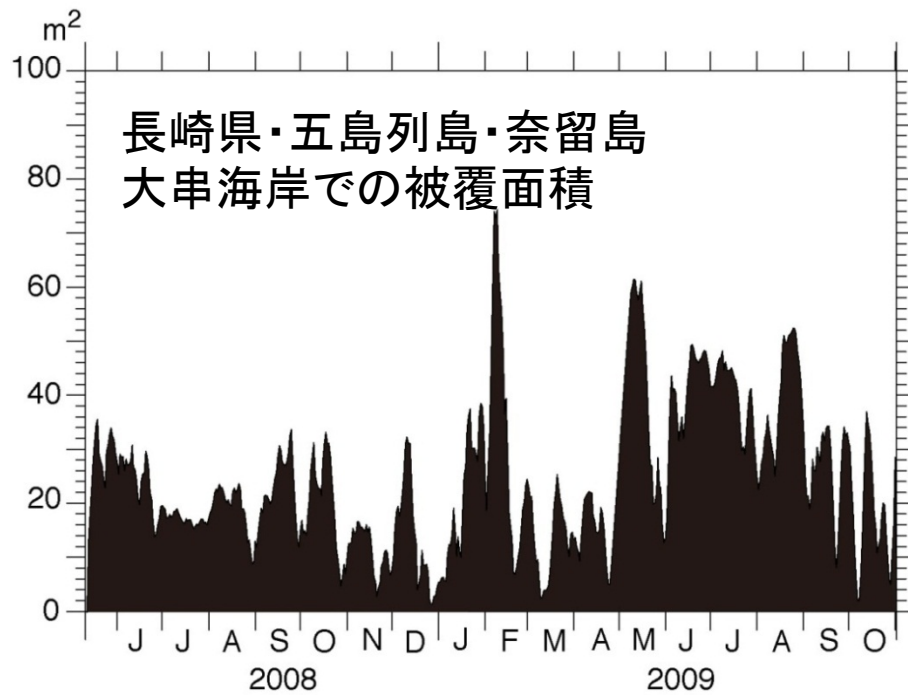
$$f(t_0 + \Delta t) = f(t_0) + \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} \left(\frac{df}{dt}\right) dt$$

三ヶ月に一度、現在値を強制的に0にするシミュレーションをすると...

観測した海ゴミ被覆面積の時間変化率は、そのままにして...

年平均の海ゴミ被覆面積は、現況の**60%**まで低下すると推算された。

# ウェブカメラデータを用いた海岸清掃事業のシミュレーション



$$f(t_0 + \Delta t) = f(t_0) + \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} \left(\frac{df}{dt}\right) dt$$

面積が30m<sup>2</sup>になったら、現在値を強制的に0にするシミュレーションをすると...

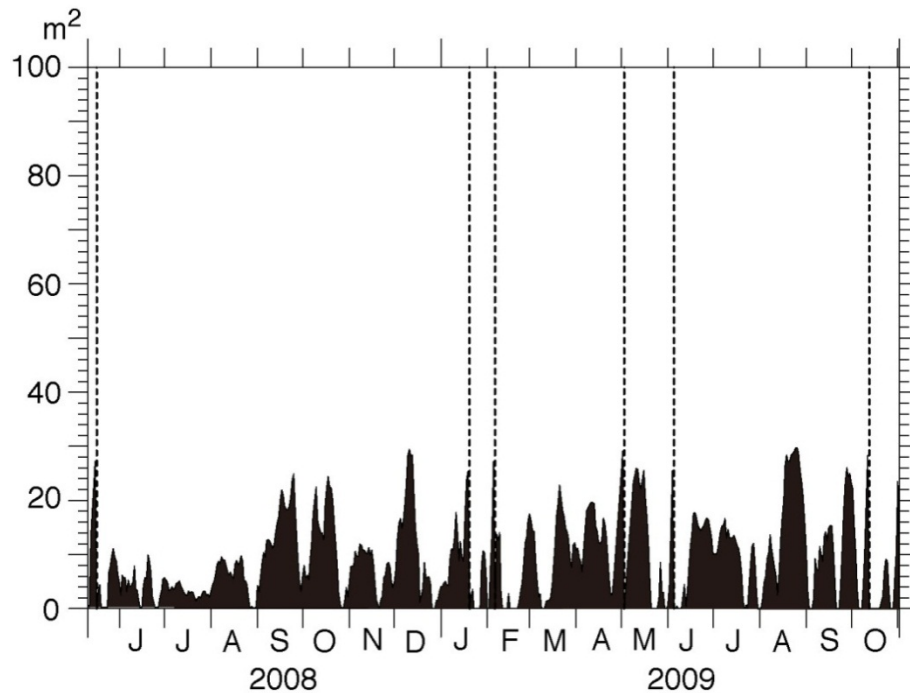
観測した海ゴミ被覆面積の時間変化率は、そのままにして...

年平均の海ゴミ被覆面積は、現況の**40%**まで低下すると推算された。



## 【今後の研究に対する示唆1】

海ゴミ対策として、「海岸清掃時期の最適解」を求める海岸管理手法の高度化研究を推進したい。ウェブカメラによる連続モニタリングデータが、有効に活用できるはずである。



清掃時期決定の閾値は？  
必要なモニタリングの範囲は？

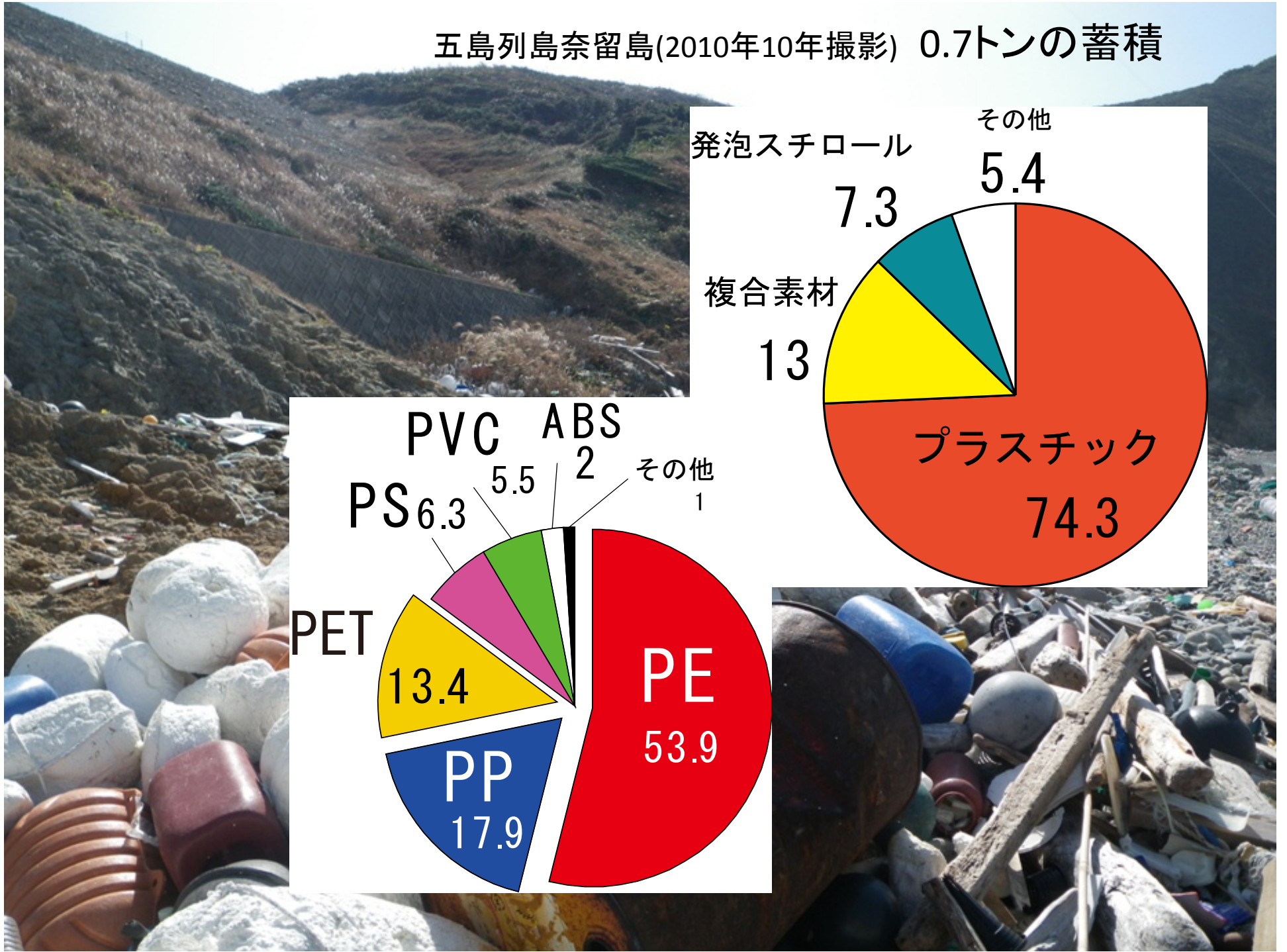
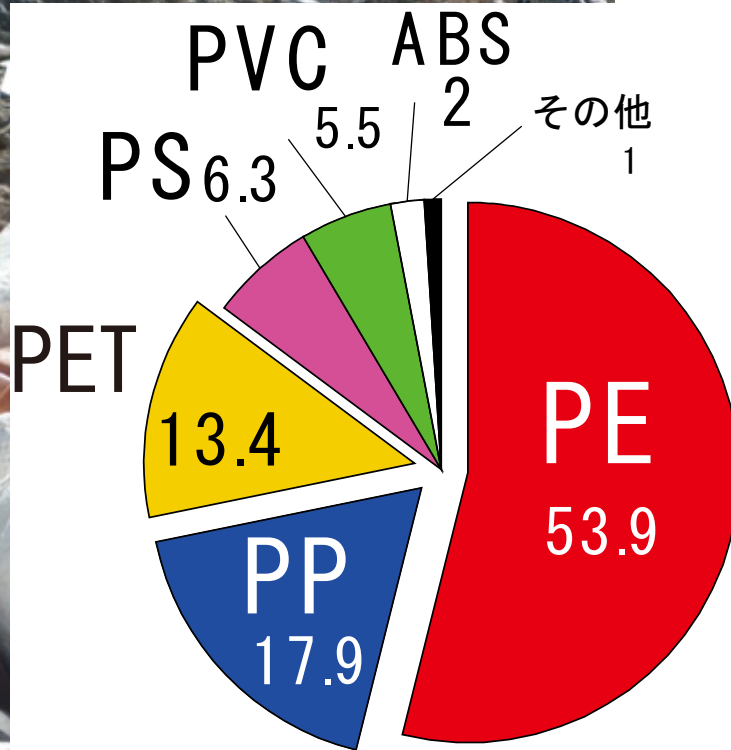
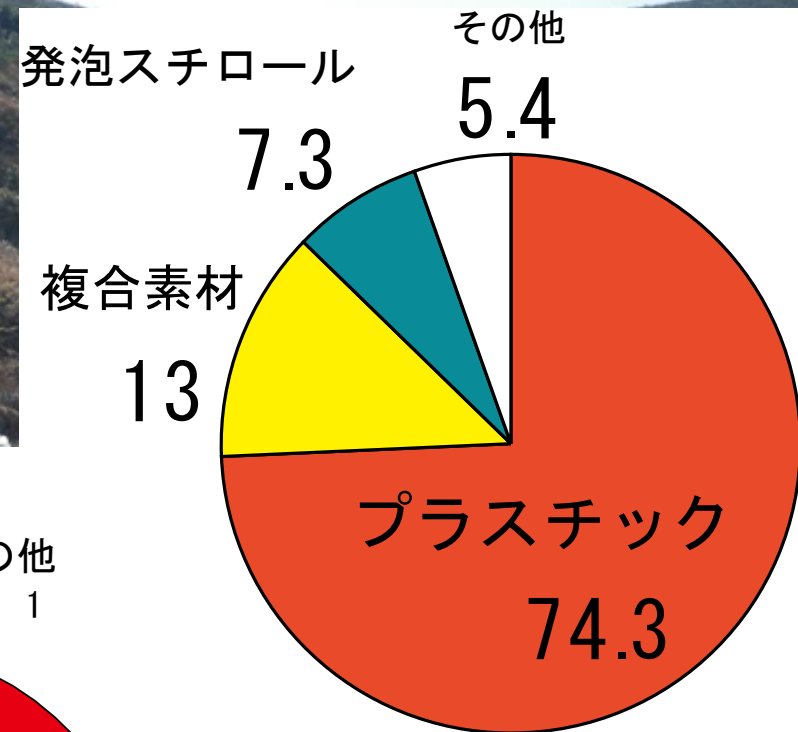
閾値の地域性は？  
その理由は？  
その閾値の季節性は？  
その理由は？

効果の検証方法は？

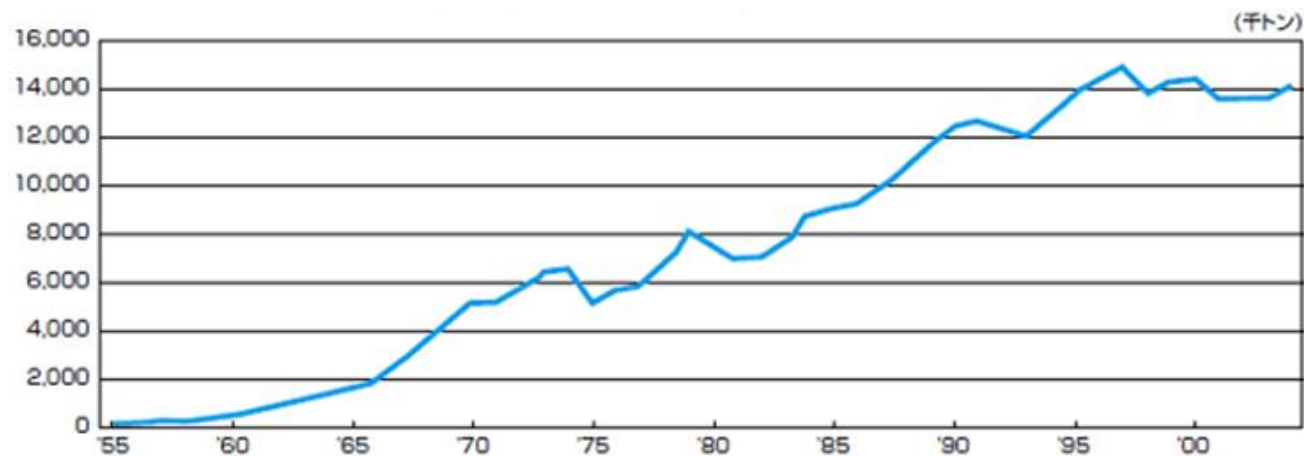
最適な海岸管理の達成によって

- 海岸の観光価値が、最小のコスト・パフォーマンスで維持できる。
- 海ごみに含有する汚染物質の、海岸砂への移行を最小限に抑えられる。

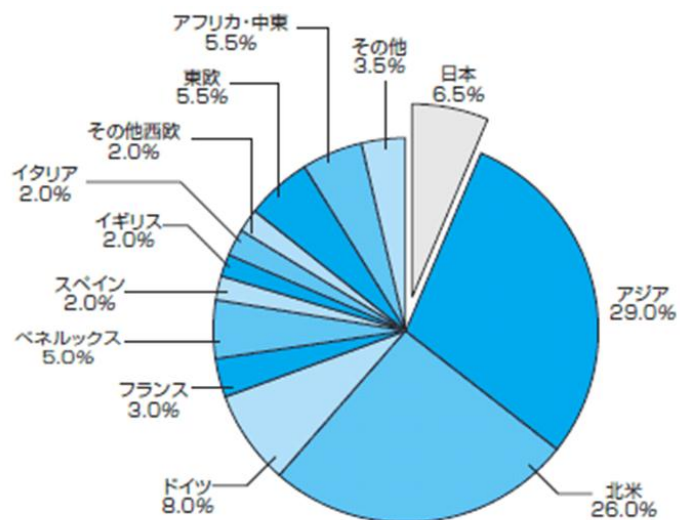
五島列島奈留島(2010年10年撮影) 0.7トンの蓄積



# この膨大なプラスチックは、どこに行ったのか？



日本の各年プラスチック生産量(1955-2004年;千トン/年)



世界の生産量に占める割合は6.5%

世界全体では、2004年の生産量は2億2千4百万トン

生分解性プラスチックの生産量は、全体の0.1%程度

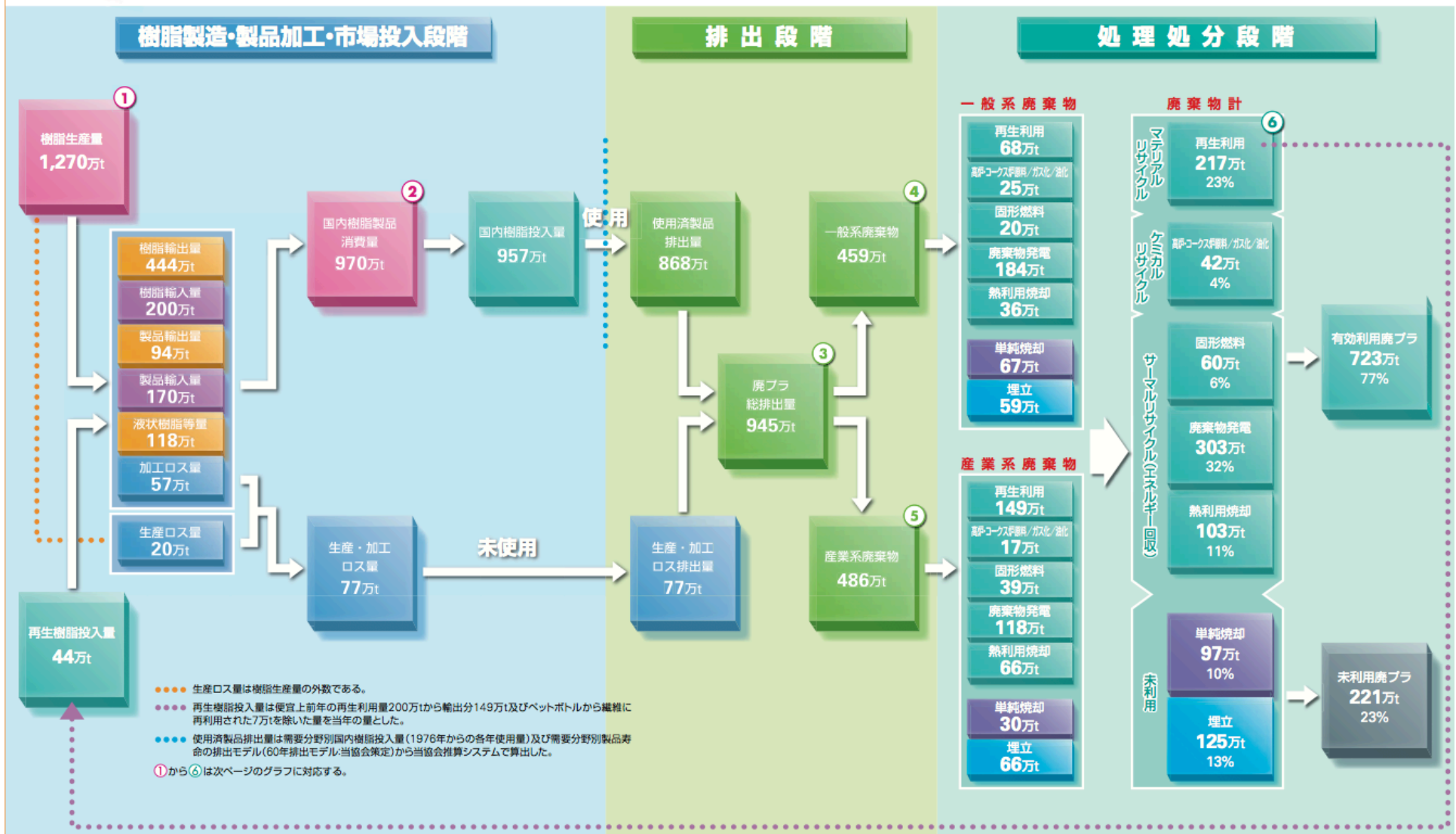


2010年

# プラスチックのマテリアルフロー図 (プラスチック製品・廃棄物・再資源化フロー図)

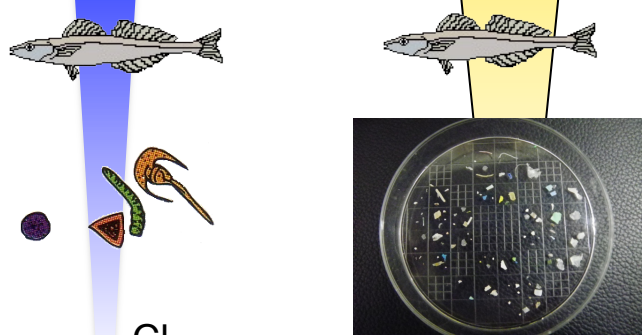
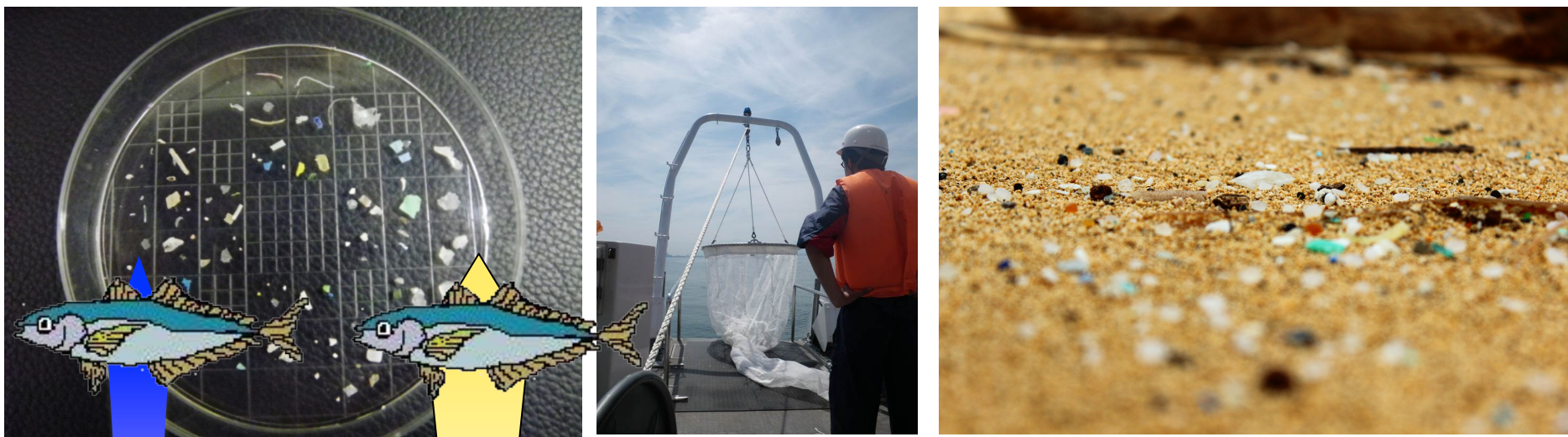


社団法人 プラスチック処理促進協会

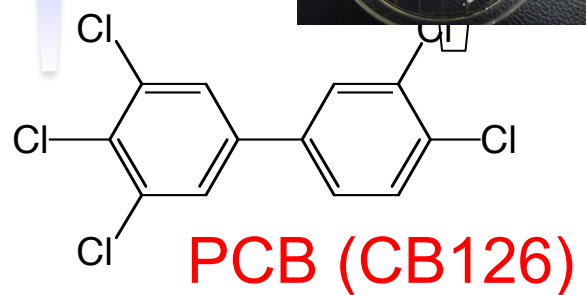


差し引き年間で370万トンが社会に残る。ただし、海外輸出分140万トン(上の表では再生利用にカウント)のうち、実際に再生利用されないものを含めると、残存量は更に増える。

プラスチックゴミは、漂流漂着中に分裂を繰り返し、大きさが1 mm以下の**プラスチック微細片 (マイクロ・プラスチック)**となって、海岸砂に入り交じり、あるいは、海洋を漂流している。そして、プラスチック生産量2億トン/年が続く限り、微細片は今後も増え続ける。



- 漂流プラスチック中のPOPs濃度は、海水からの吸着過程を経て、周辺海水の十万倍から百万倍に至ることもある (Mato et al., 2001, *Env. Sci. Tech.*)
- 漂流プラスチックは、製造段階で添加された有害重金属を大量に含む場合がある (Nakashima et al., 2012, *Env. Sci. Tech.*)



**微細片は生物濃縮過程の「加速剤」か？**  
**その生成機構は？ 輸送課程は？**



11月21日発行の  
Nature

OPEN

## Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress

SUBJECT AREAS:  
ECOPHYSIOLOGY  
ECOLOGY  
CONSERVATION  
ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

Chelsea M. Rochman<sup>1</sup>, Eunha Hoh<sup>2</sup>, Tomofumi Kurobe<sup>1</sup> & Swee J. Teh<sup>1</sup>

Received  
3 May 2013

Accepted  
4 November 2013

Published  
21 November 2013

Correspondence and  
requests for materials  
should be addressed to  
C.M.R. (cmrochman@

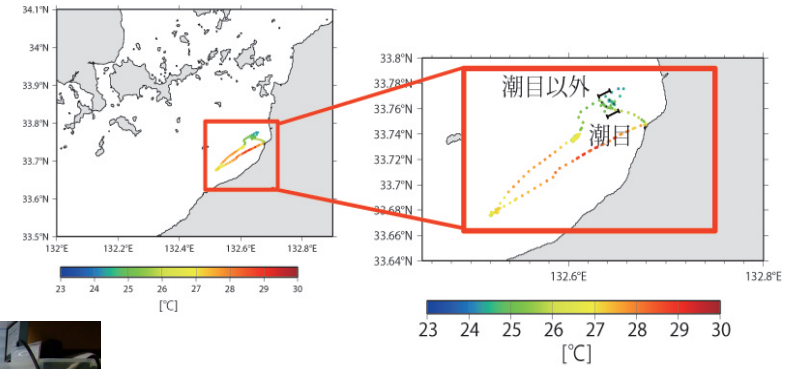
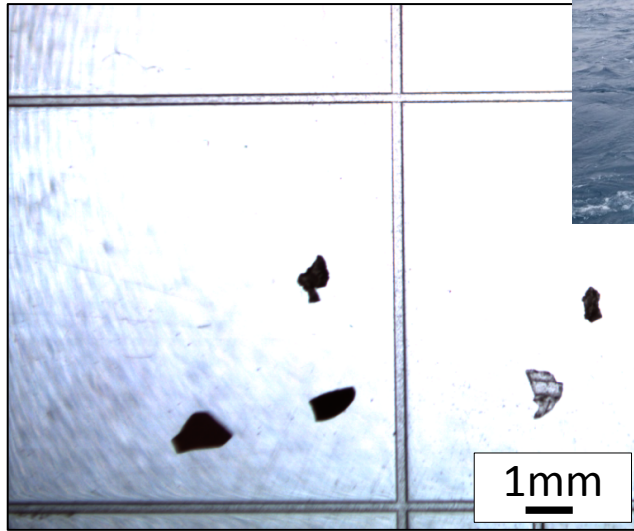
<sup>1</sup>Aquatic Health Program, Department of Anatomy, Physiology and Cell Biology, School of Veterinary Medicine, University of California, Davis, CA 95616, USA, <sup>2</sup>Graduate School of Public Health, San Diego State University, CA 92182, USA.

Plastic debris litters aquatic habitats globally, the majority of which is microscopic (< 1 mm), and is ingested by a large range of species. Risks associated with such small fragments and from chemical pollutants that sorb to it from surrounding water. Hazardous mixture of plastic and accumulated pollutants are largely unknown. Here, we show that a mixture of polyethylene with chemical pollutants sorbed from the marine environment causes fish to show signs of stress, although less severe than fish fed marine polyethylene alone. Our information regarding the bioaccumulation of chemicals and associated hepatic pathology in fish and demonstrate that future assessments should consider the complex interactions between plastic and their associated chemical pollutants.

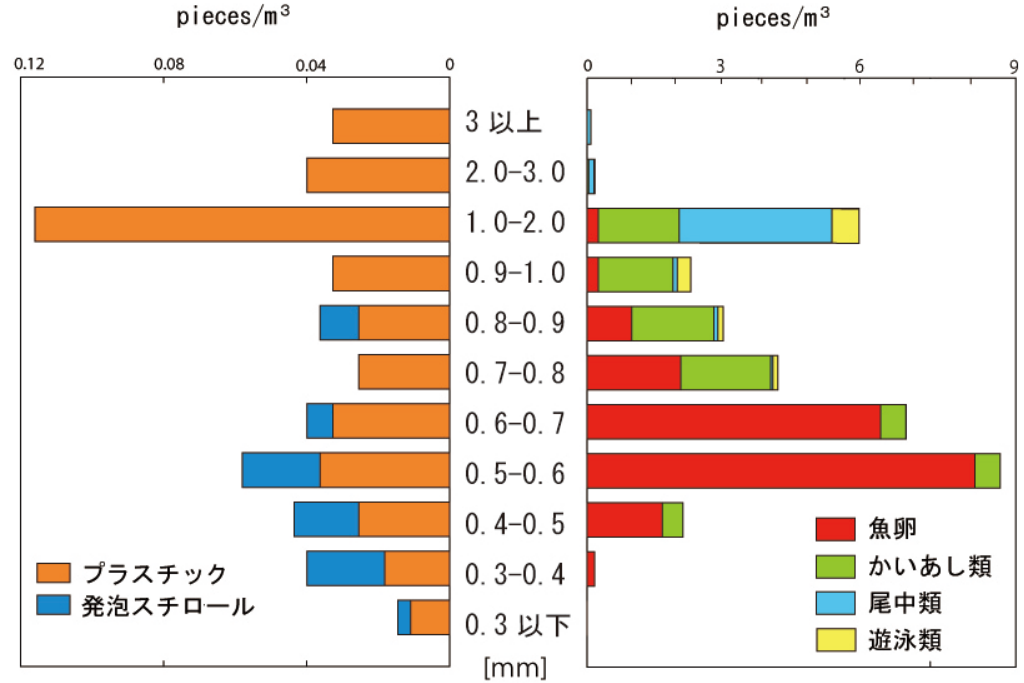
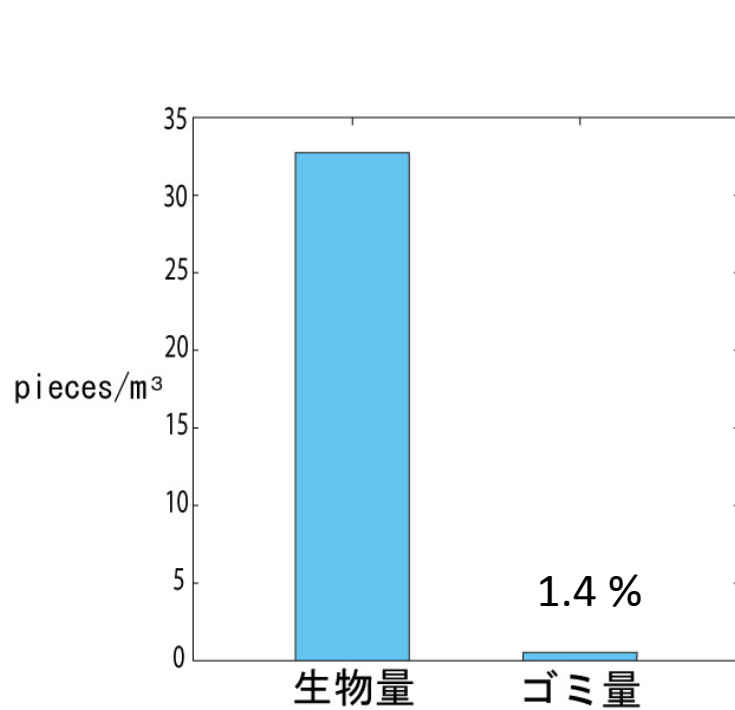
Rochman et al.  
(Nature, 2013)

1mm以下のプラスチック微細片を取り込んだメダカの肝臓に、微細片起源のPCBが移行して、機能障害が現れた。



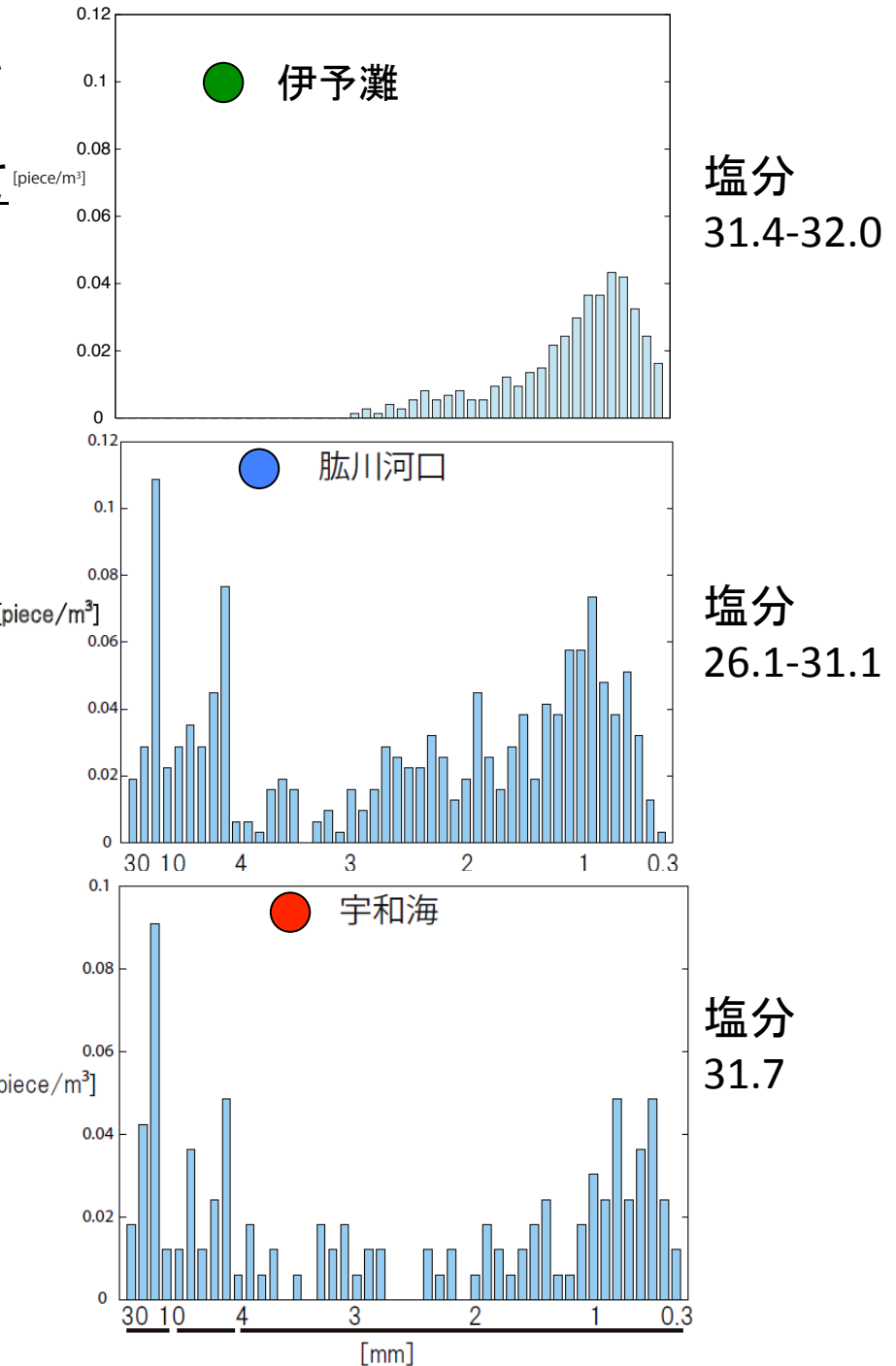
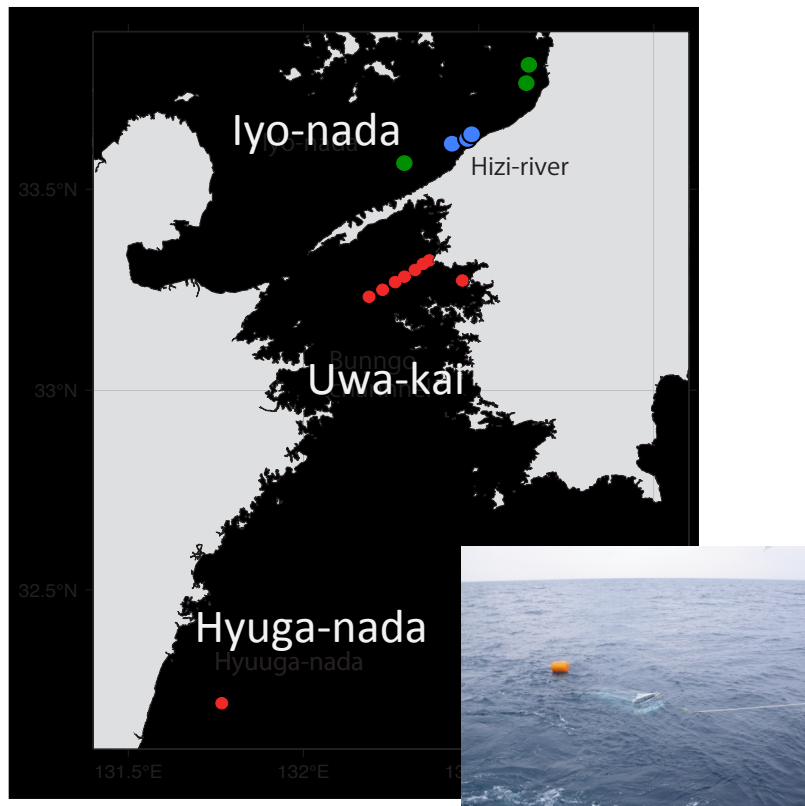


径が数mm以下のマイクロプラスチックは、動物プランクトンと同程度の大きさを持ち、生態系に容易に入り込む。

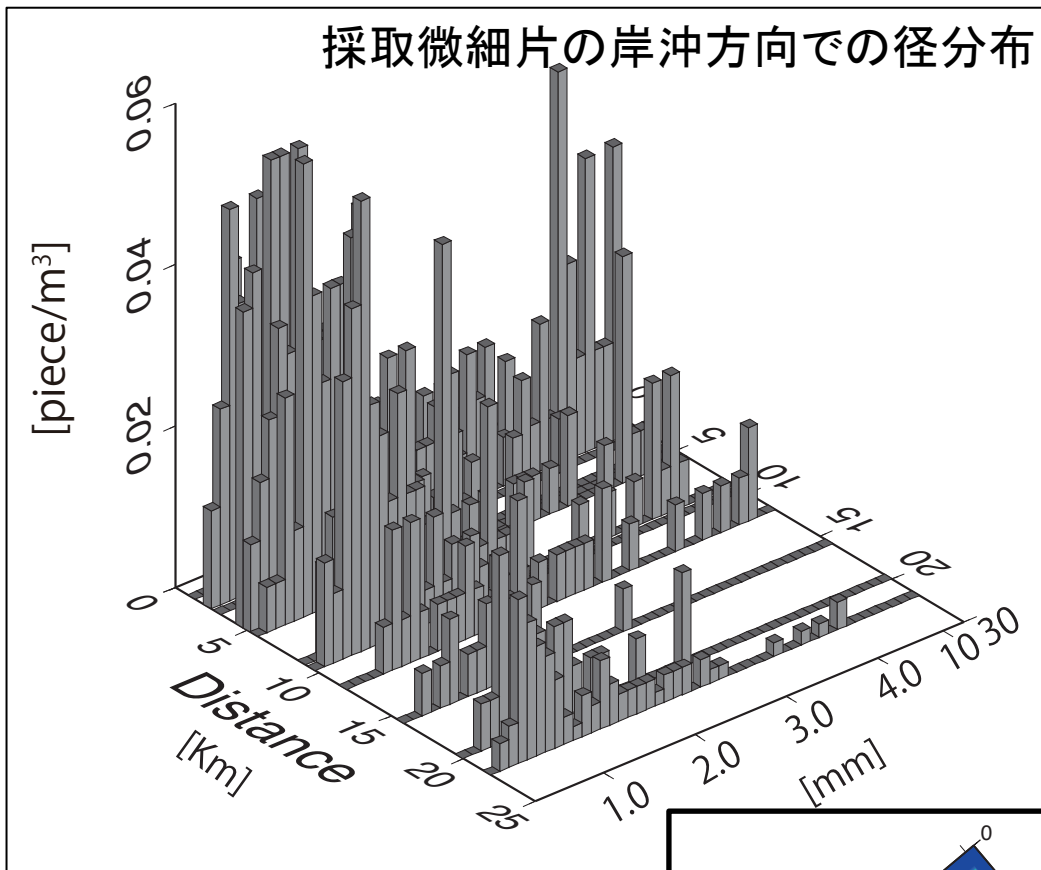
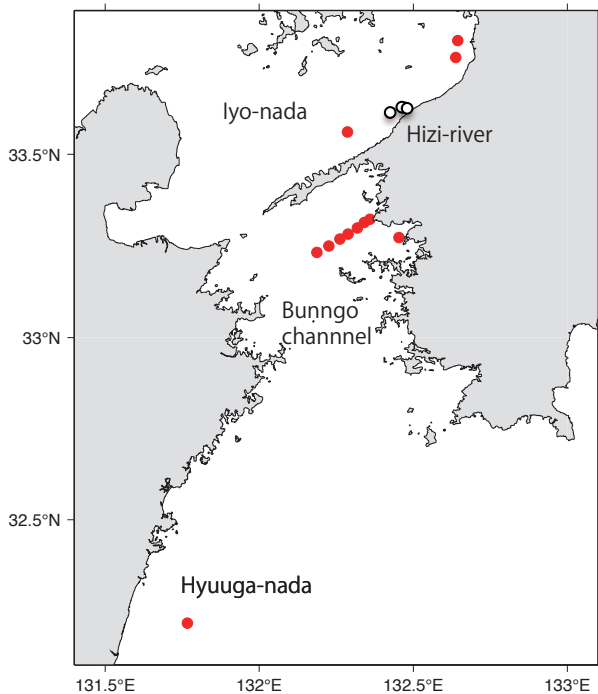


マイクロプラスチックは、紫外線や熱の作用を受けやすい海岸で形成されるらしい(Anthony, 2011)が、海洋での漂流の動態はよくわかっていない。

河口に近いほど大型の微細片が増えることは、内陸起源の微細片の海洋への供給を示唆するが、必ずしも河口近くでなくても大型微細片は採取される。

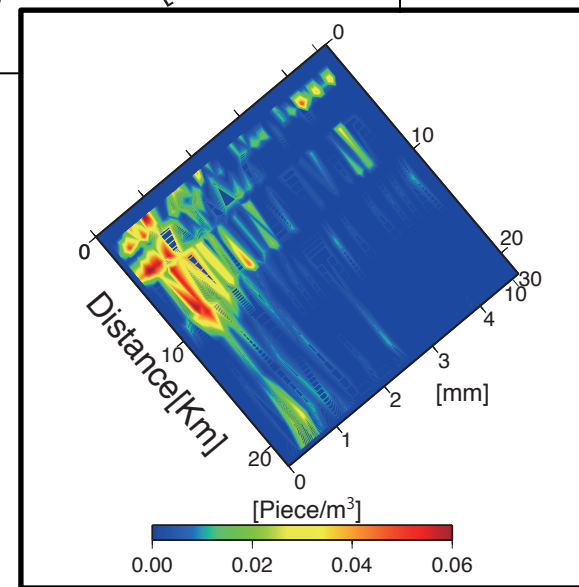






沖合に比べて岸近くで大型微細片の浮遊が確認でき、沖合では小型の微細片が目立つ。

微細片の輸送過程を反映しているのではないか？

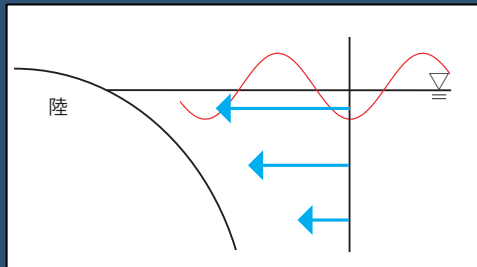


沖合に比べて岸近くで大型微細片の浮遊が確認でき、  
沖合では小型の微細片が目立つ。

→ 結果の解釈に次の2つを考える。

## 水平方向の輸送

- ストークスドリフトによる岸向き輸送  
(表層ほど強い流れ)



瀬戸内海の  
NOWPHASデータ  
で諸元を決定

$$u = \frac{a^2 \sigma k \cosh\{2k(h+z)\}}{2(\sinh kh)^2}$$

- ランダムウォークによる水平輸送  
(平均流や水平拡散による輸送を想定)

$$u' = R\sqrt{2k\Delta t}$$

## 鉛直方向の輸送

- レイノルズ数依存の浮力

$$Re < 1$$

$$w = \frac{d^2(\rho - \rho')g}{18\eta}$$

海水中での、プラスチック  
(ポリプロピレン: 比重0.95)  
の径ごとの浮上速度を想定

$$1 \leq Re \leq 100$$

$$w = 0.223d[(\rho - \rho')^2 \eta \rho g^2]^{1/3}$$

$$Re > 100$$

$$w = 1.82 \left[ \frac{(\rho - \rho')gd}{\rho} \right]^{1/2}$$

- ランダムウォークによる鉛直輸送  
(風波などによる表皮層の乱れを想定)

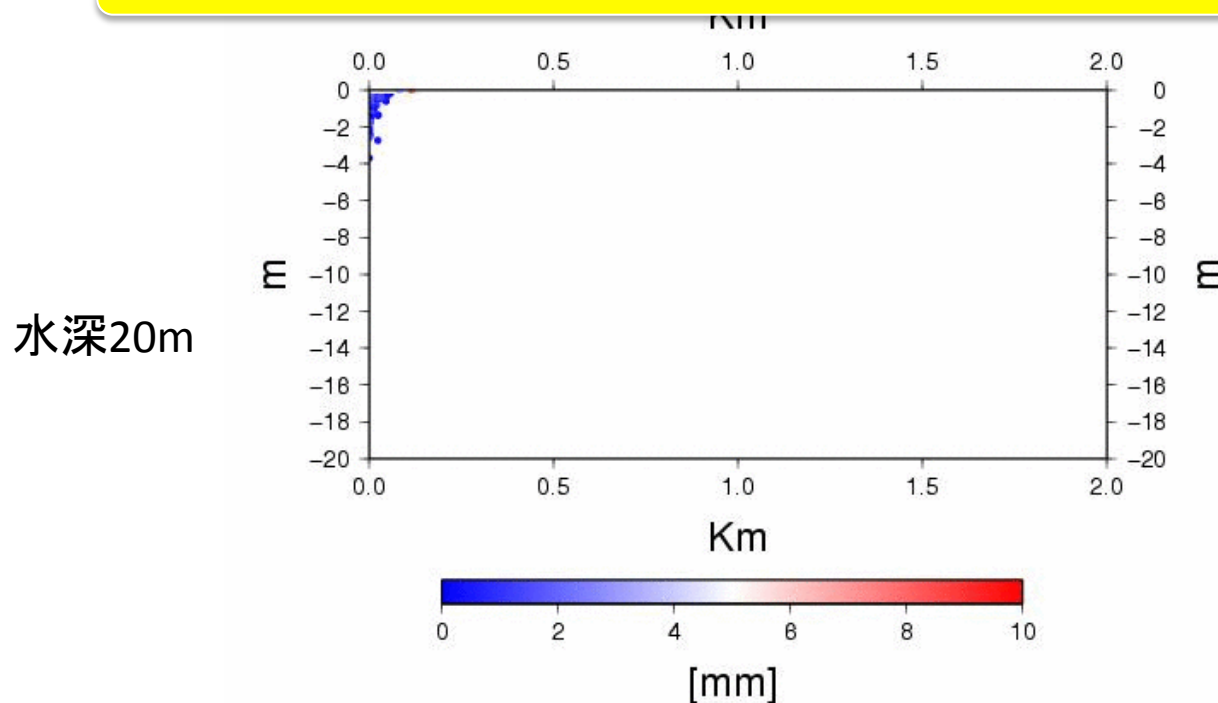
$$w' = R\sqrt{2k\Delta t}$$

プラスチック微細片が鉛直方向に攪拌された場合、速やかに浮上する大型の  
微細片の方が、小型のものに比べて、選択的に岸方向へ運ばれるはず。

# モデル結果

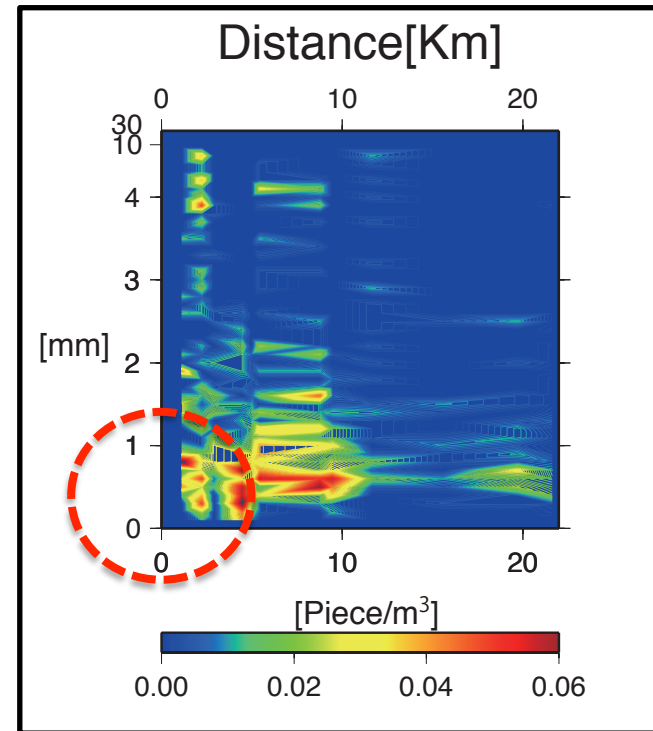
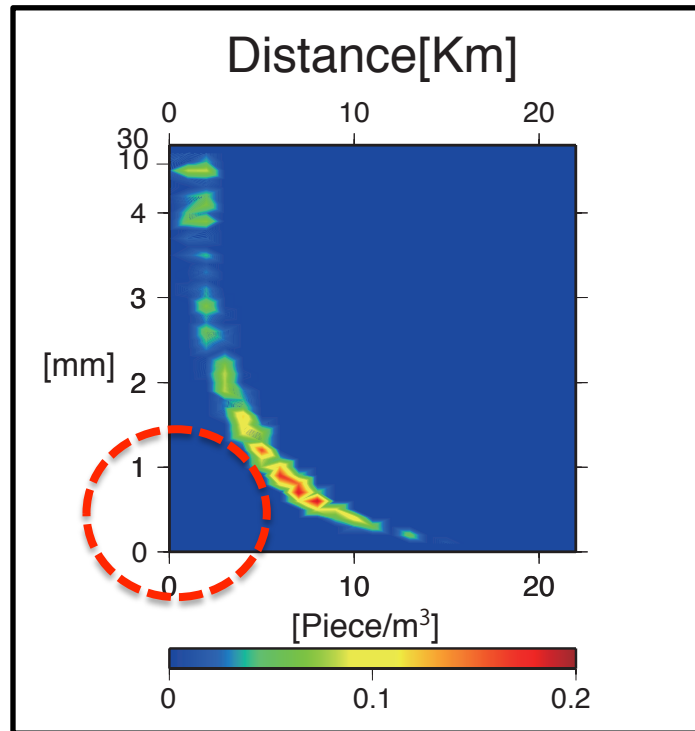
- 観測されたものと同じ粒径分布を仮想粒子に与え、岸沖方向や鉛直方向に平衡状態が達成されるまで輸送計算を継続する。
- 平衡状態の粒径分布では、観測されたものと同様に、岸近くで大型の粒子が、沖では小型の粒子が、選択的に輸送されているか？

大きさの異なる4500個のプラスチック(0.01~10mm)を表層から流す



# モデル結果

表層0.7m以浅に漂流する微細片分布  
(使用したプランクトンネットで採取できる範囲)



微細片の分布図:モデル結果(左)と、観測結果(右)の比較

>観測ほどのばらつきは見られないが、

・小型の微細片の方が大型のものに比べて沖に運ばれている。

・大型の微細片は沖に運ばれにくい

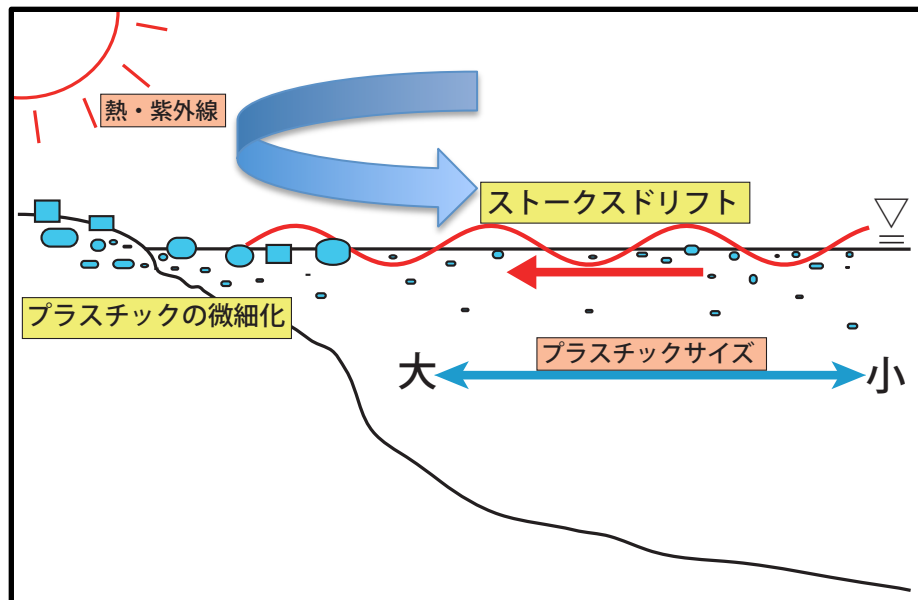
という2点を表現できている。

>ただし、小型の粒子が岸近くには無い(破線の赤丸)。

→このモデルでは考慮されていない、岸近くでの微細片の生成過程(Anthony, 2011)を支持する結果といえる。

## 【今後の研究に対する示唆2】 マイクロプラスチックの輸送過程

おそらく、層厚で数10cm以下の海面表皮層の中で、マイクロプラスチックは輸送されている。この研究では、ストークスドリフトと、粒径による浮力の違いによって、大型の粒子が選択的に海岸に輸送され、海岸で紫外線や熱を受けて微細化した後に、沖合に放出されるマイクロプラスチックの形成過程を示した。



マイクロプラスチックの輸送過程は、ほとんど手つかずの研究テーマである。

風波による乱れ、バブル、エクマン輸送、ラングミュア循環。。。。

表皮層の輸送系はチャレンジングな研究テーマであるが、  
＝これが明らかにされなければ、マイクロプラスチックを媒介とする汚染物質の輸送系や、実海域における生物濃縮の実態解明の研究が進まない。