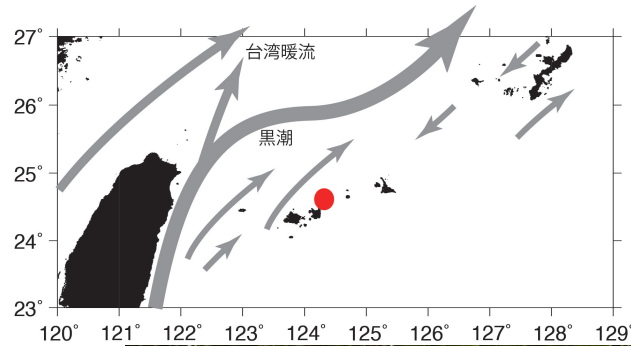


マルチメディア推進フォーラム
平成27年7月29日
アイビーホール

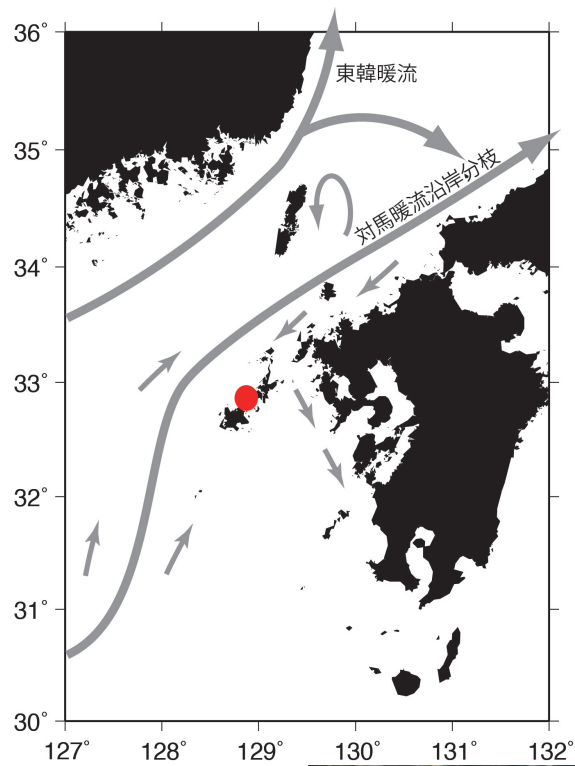
海洋プラスチック汚染
Marine Plastic Pollution
～Monitoring and Modeling～

Atsuhiko Isobe
Research Institute for Applied Mechanics ,
Kyushu University



Hirakubo beach, Ishigaki-jima Island, Okinawa





Ookushi beach, Goto Islands





Disposal lighter



Refrigerator



Fishery buoys



Plastic (PET) bottles

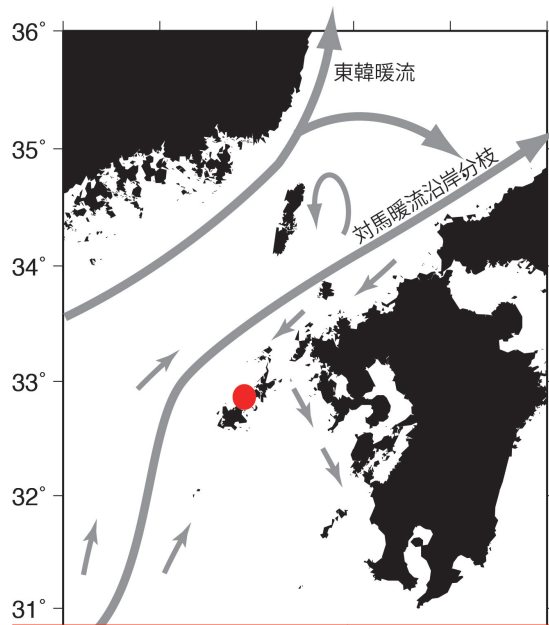
海岸には、人の毎日の営みで出るであろう、
種々雑多なゴミが漂着している。



Fishery net



ビーチサンダルの型抜き後

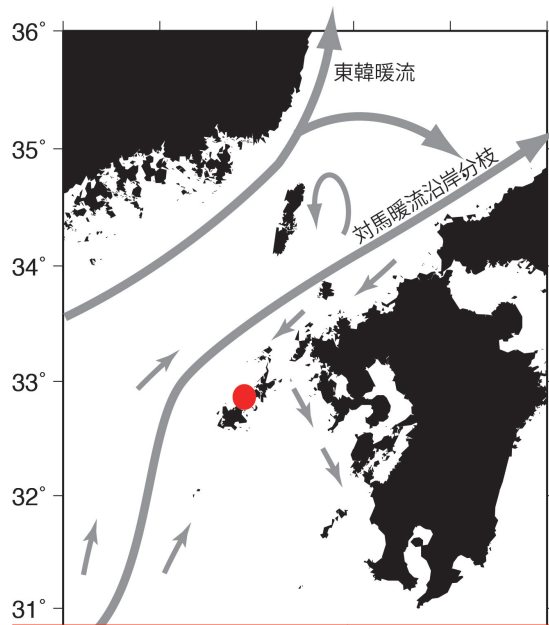


Measuring the total weight of marine debris littered on the Ookushi beach using balloon photography



五島列島奈留島大串地区の海岸漂着ゴミの総量を空撮で計量する (Nakashima et al., 2011, MPB)。





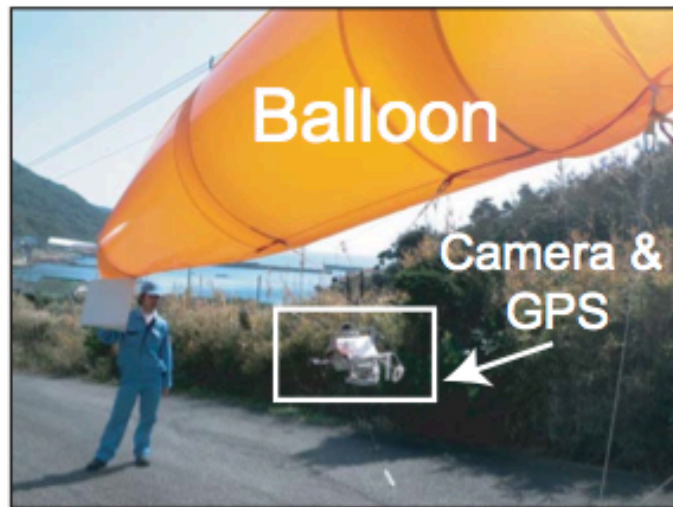
Measuring the total weight of marine debris littered on the Ookushi beach using balloon photography



五島列島奈留島大串地区の海岸漂着ゴミの総量を空撮で計量する (Nakashima et al., 2011, MPB)。



(a)



(b)



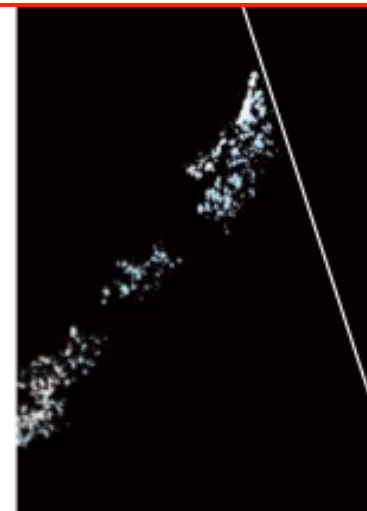
(c)

幾何補正 Geo-referencing to convert the images on the Cartesian coordinate



(d)

ゴミ被覆面積の計算 We first extracted pixels using lightness and color differences, and thereafter computed the area covered by beach litter



Nakashima et al.
(2011, Mar. Pol. Bull.)

Nakashima et al. (2011, Mar. Pol. Bull.)

In situ surveys to investigate litter mass per unit area
単位位面積あたりの漂着ゴミ重量を現場で測定。



Table 1 Beach-litter measurements using a balloon on the Ookushi beach

	Areas covered by litter (m ²)	mass per unit area (kg/m ²)	total mass (kg)
22 October 2009	123.5	5.8 ± 2.1	716 ± 259
31 July 2010	490.8	8.2 ± 2.6	4,025 ± 1276
5 March 2011	248.0	11.5 ± 2.7	2,852 ± 670

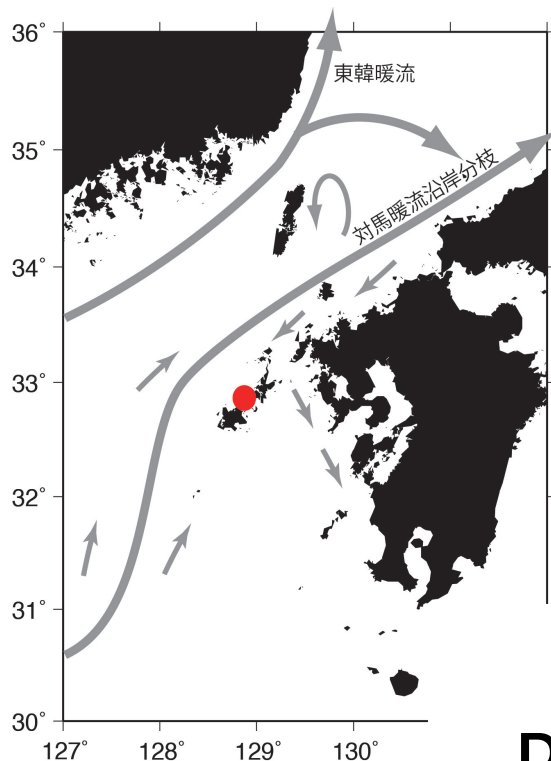
Area x litter mass per unit area = Total litter weight
空撮で得た面積 × 現場で測定した単位面積あたりの重量で、海岸総量を算出

$$123.5 \text{ m}^2 \times 5.8 \pm 2.0 \text{ kg/m}^2 = 716 \pm 259 \text{ kg}$$

The upper limit of the weight of marine debris littered on the entire Japan beaches can be estimated to:

$$0.7 \text{ tons} \div 500 \text{ m (大串海岸長)} \times 35,000 \text{ km (日本の海岸線)} = O(100) \text{ kilotons}$$





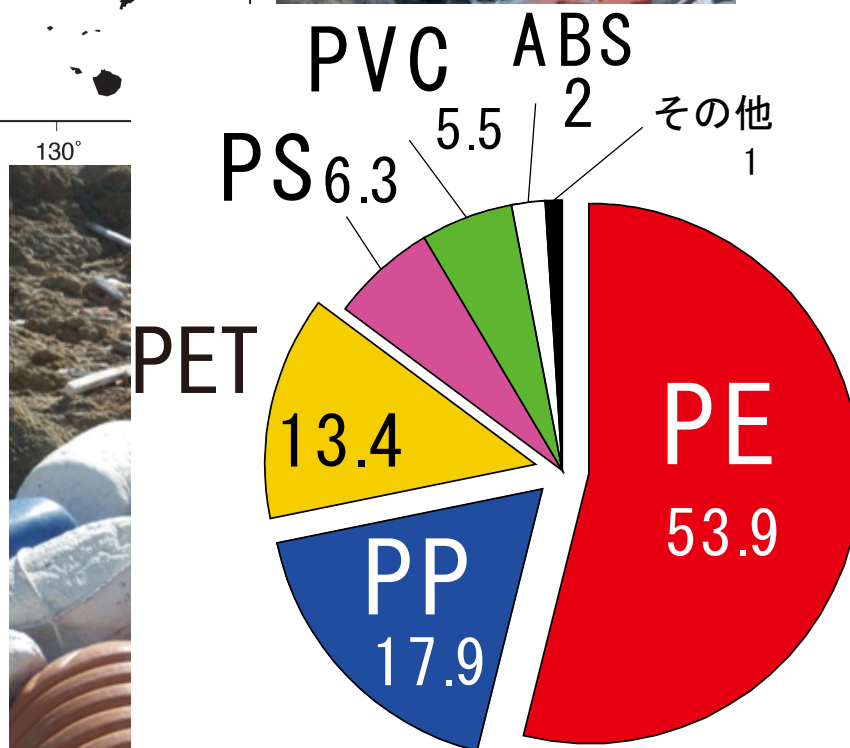
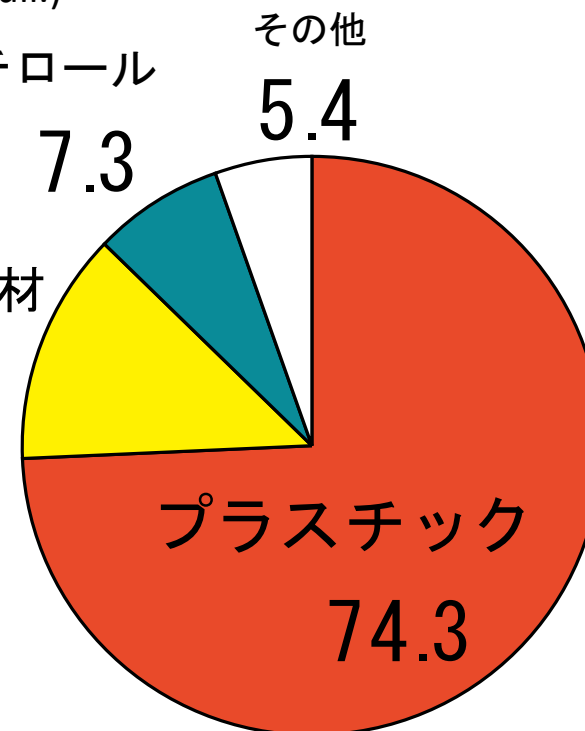
Plastics accounted for 70% of the total weight on the beach

Nakashima et al. (2011, Mar. Pol. Bull.)



発泡スチロール 7.3
その他 5.4

複合素材 13



Derraik (2002, Mar. Pol. Bull.)

Table 1

Proportion of plastics among marine debris worldwide (per number of items)

Locality	Litter type	Percentage of debris items represented by plastics	Source
1992 International Coastal Cleanups	Shoreline	59	Anon (1990)
St. Lucia, Caribbean	Beach	51	Corbin and Singh (1993)
Dominica, Caribbean	Beach	36	Corbin and Singh (1993)
Curaçao, Caribbean	Beach	40/64	Debrot et al. (1999)
Bay of Biscay, NE Atlantic	Seabed	92	Galgani et al. (1995a)
NW Mediterranean	Seabed	77	Galgani et al. (1995b)
French Mediterranean Coast	Deep sea floor	>70	Galgani et al. (1996)
European coasts	Sea floor	>70	Galgani et al. (2000)
Caribbean coast of Panama	Shoreline	82	Garrity and Levings (1993)
Georgia, USA	Beach	57	Gilligan et al. (1992)
5 Mediterranean beaches	Beach	60-80	Golik (1997)
50 South African beaches	Beach	>90	Gregory and Ryan (1997)
88 sites in Tasmania	Beach	65	Gregory and Ryan (1997)
Argentina	Beach	37-72	Gregory and Ryan (1997)
9 Sub-Antarctic Islands	Beach	51-88	Gregory and Ryan (1997)
South Australia	Beach	62	Gregory and Ryan (1997)
Kodiak Is, Alaska	Seabed	47-56	Hess et al. (1999)
Tokyo Bay, Japan	Seabed	80-85	Imehiro et al. (1995)
North Pacific Ocean	Surface waters	86	Laist (1987)
Mexico	Beach	60	Lara-Dominguez et al. (1994)
Transkei, South Africa	Beach	83	Madzena and Lasiak (1997)
National Parks in USA	Beach	88	Manski et al. (1991)
Mediterranean Sea	Surface waters	60-70	Morris (1980)
Cape Cod, USA	Beach/harbour	90	Ribic et al. (1997)
4 North Atlantic harbors, USA	Harbour	73-92	Ribic et al. (1997)
Is. Beach State Park, New Jersey, USA	Beach	73	Ribic (1998)
Halifax Harbour, Canada	Beach	54	Ross et al. (1991)
Price Edward Is., Southern Ocean	Beach	88	Ryan (1987b)
Gough Is., Southern Ocean	Beach	84	Ryan (1987b)
Heard Is., Southern Ocean	Beach	51	Slip and Burton (1991)
Macquarie Is., Southern Ocean	Beach	71	Slip and Burton (1991)
New Zealand	Beach	75	Smith and Tooker (1990)
Two gulfs in W. Greece	Seabed	79-83	Stefatos et al. (1999)
South German Bight	Beach	75	Vauk and Schrey (1987)
Bird Is., South Georgia, Southern Ocean	Beach	88*	Walker et al. (1997)
Fog Bay, N. Australia	Beach	32	Whiting (1998)
South Wales, UK	Beach	63	Williams and Tudor (2001)

Results are arranged in alphabetical order by author.

* 76% of total consisted of synthetic line for long-line fisheries.

Marine Plastic Pollution

漂着ゴミの約70%程度はプラスチック製であって、これは軽く、頑丈で、分解しない特性が海ごみになりやすいことによる。

漂着ゴミ問題
～廃プラスチック問題である。

プラスチックゴミの60-70%は、海水よりも比重の軽いポリエチレン(PE)とポリプロピレン(PP)、さらに6%程度の発泡スチロール(PS)である。すなわち、これらは容易に遠距離輸送される。

Table 1

Classes of plastics that are commonly encountered in the marine environment.

Plastic Class		Specific Gravity	Percentage production*	Products and typical origin
Low-density polyethylene	LDPE LLDPE	0.91-0.93	21%	Plastic bags, six-pack rings, bottles, netting, drinking straws
High-density polyethylene	HDPE	0.94	17%	Milk and juice jugs
Polypropylene	PP	0.85-0.83	24%	Rope, bottle caps, netting
Polystyrene	PS	1.05	6%	Plastic utensils, food containers
Foamed Polystyrene				Floats, bait boxes, foam cups
Nylon	PA		<3%	Netting and traps
Thermoplastic Polyester	PET	1.37	7%	Plastic beverage bottles
Poly(vinyl chloride)	PVC	1.38	19%	Plastic film, bottles, cups
Cellulose Acetate	CA			Cigarette filters

* Fraction of the global plastics production in 2007 after (Brien, 2007).

Andrady (2011, Mar. Pol. Bull.)

Marine debris motion = ocean currents (< 1 m/s) + winds (leeway drift)

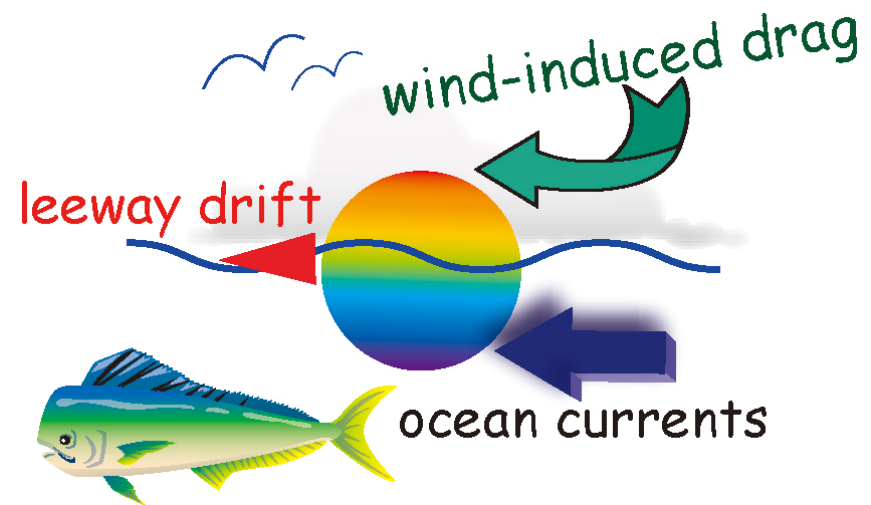
Leeway drift 風圧流速
$$U = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w}} \sqrt{\frac{A_a}{A_w}} \sqrt{\frac{C_a}{C_w}} W$$

ρ : density 密度 A : projected area 投影面積 C : drag coef 抵抗係数

W : wind speed 風速 The subscript a means air, and w does seawater.

大気密度/海水密度 $\sim 10^{-3}$, 抵抗係数比 ~ 1 , 10 m/sの風速とすると、
風圧流速は、投影面積比1では**30 cm/s (~ 1 km/h)**

投影面積比10(ほぼ大気中)では、**1m/s (3.6 km/h)**



Marine debris motion = ocean currents (< 1 m/s) + winds (leeway drift)

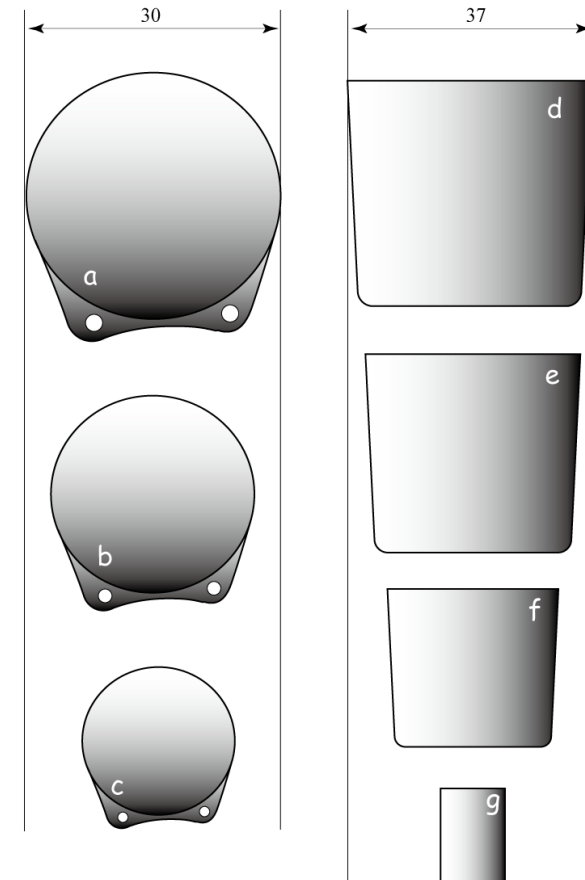
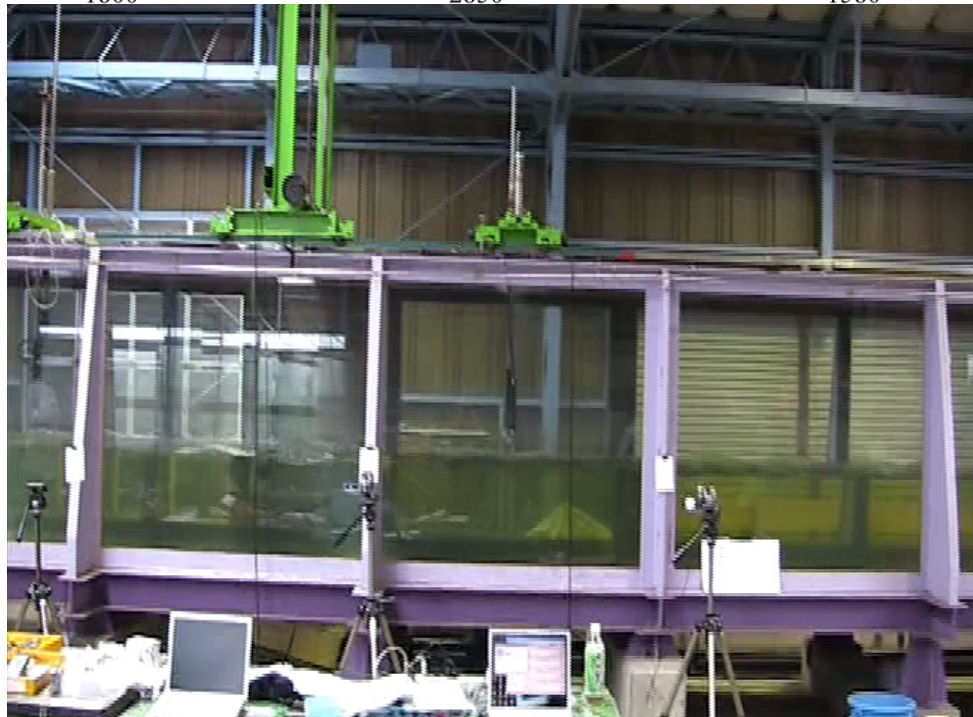
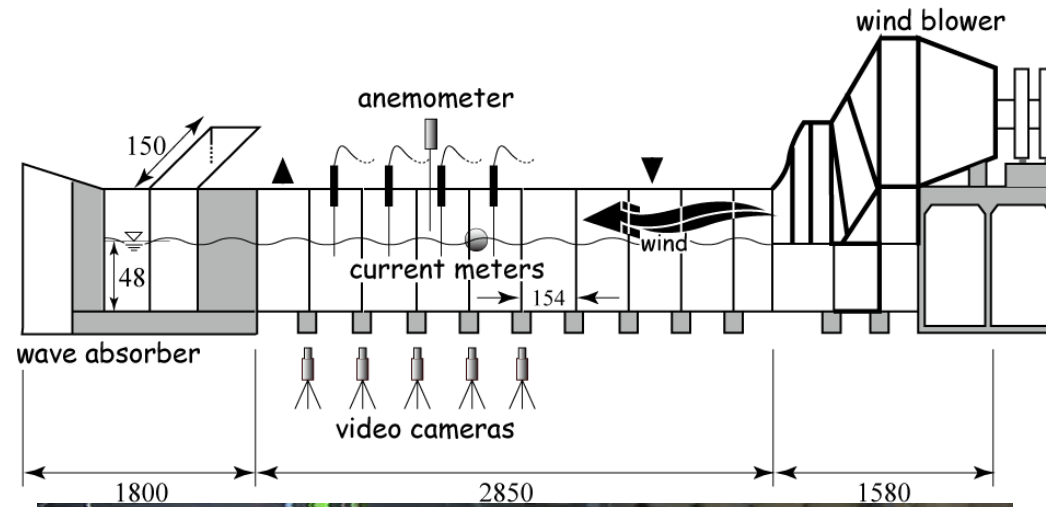
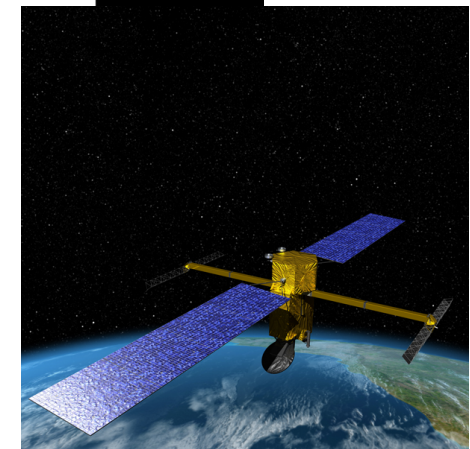
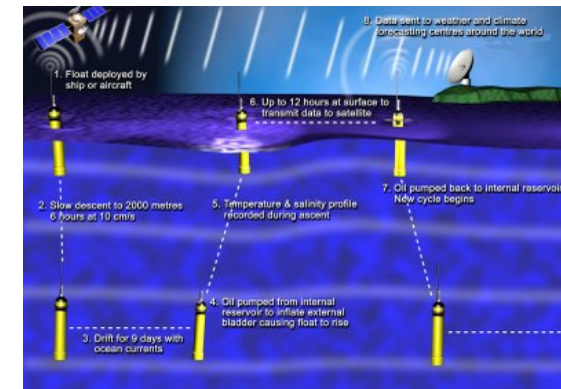
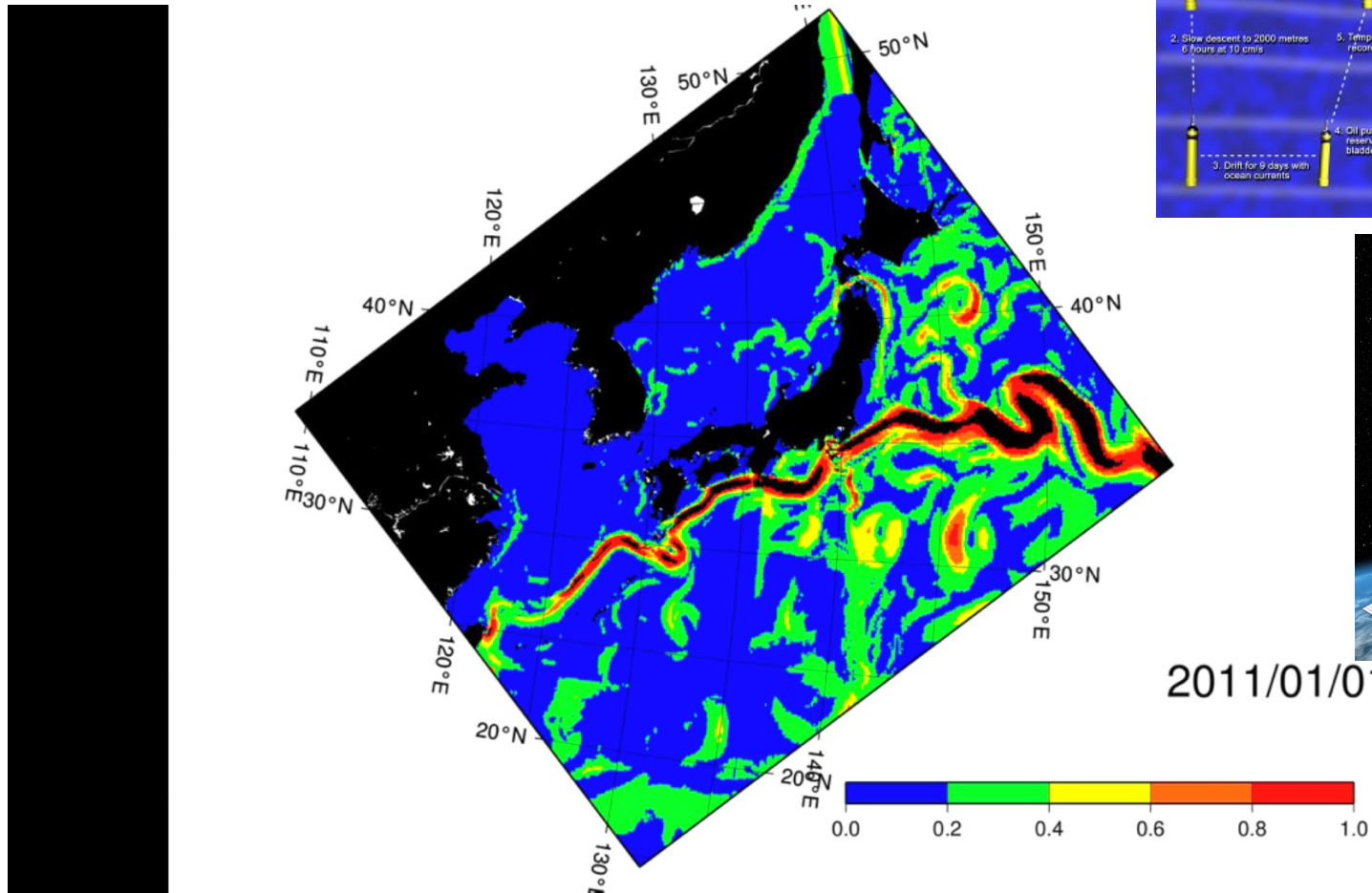


Figure 4. Size (cm) and shape of the samples (spheres *a-c* and circular cylinders *d-g*; see table 1).

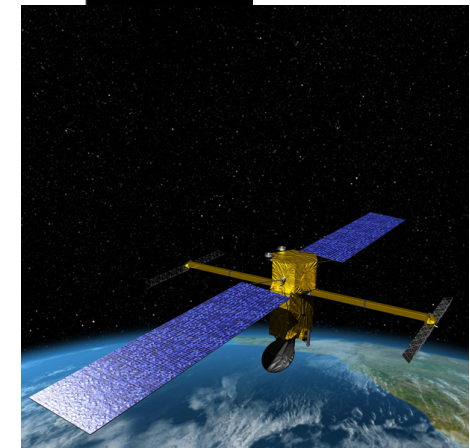
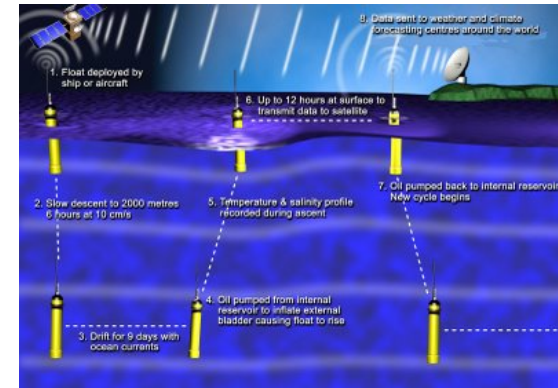
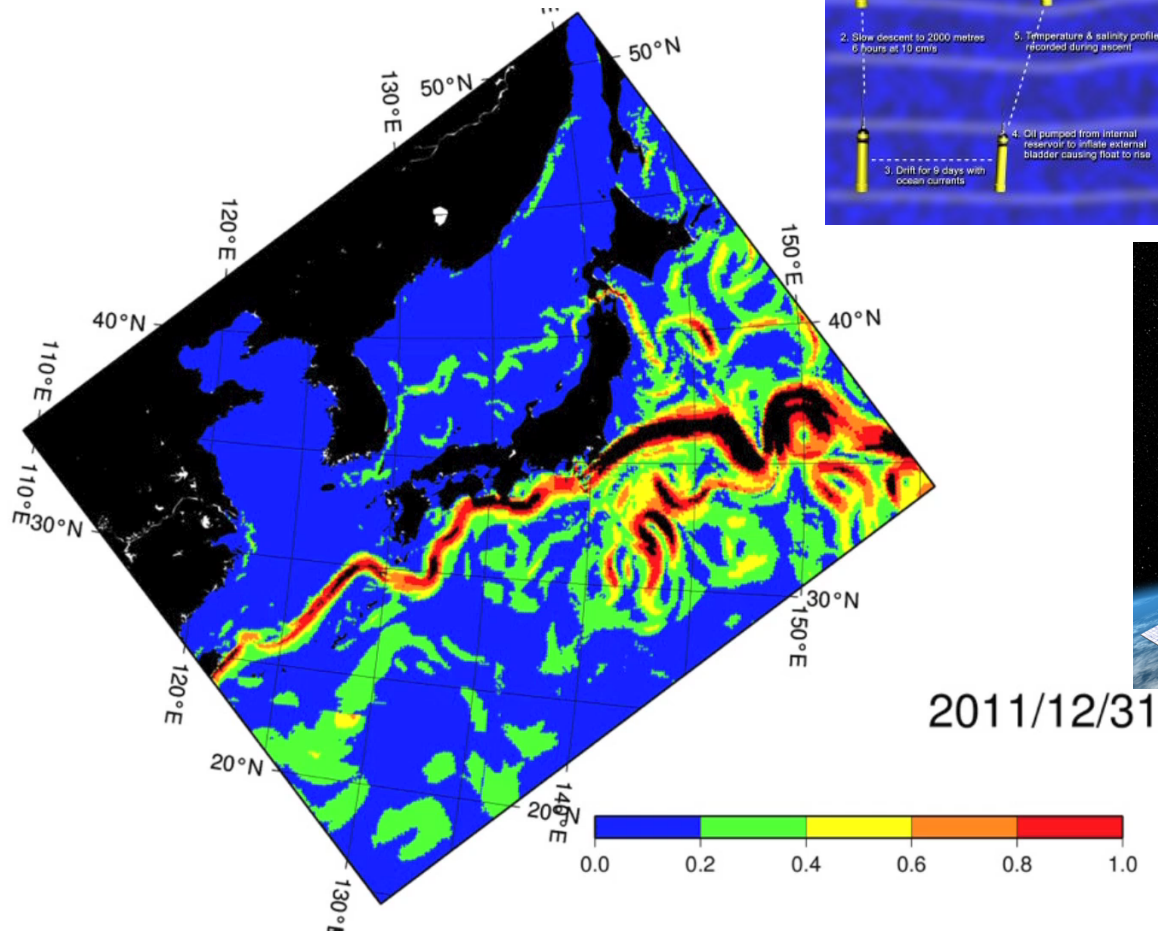
Animation of ocean current speed reproduced using a reanalysis product, which is an ocean circulation model of which computational errors are autonomously reduced on the basis of actual data observed by satellites and ocean observing robots (Argo > 3500 robots are now working over the world oceans!)



海洋同化プロダクトが与える2011年の海面流速分布

計算した海流分布が、人工衛星や海洋ロボット(3500基以上が世界の海に展開済み)の観測データとズレてくれば、自動的に誤差を補正するプログラムを装着した、コンピュータシミュレーション。このデータは、実観測データとして扱える程に正確(特に表層)であって、まさに、ハイパフォーマンスな計算機環境と衛星観測、そして高速・大容量データ配信を可能にしたインターネットは、海洋学を変えたと言える。

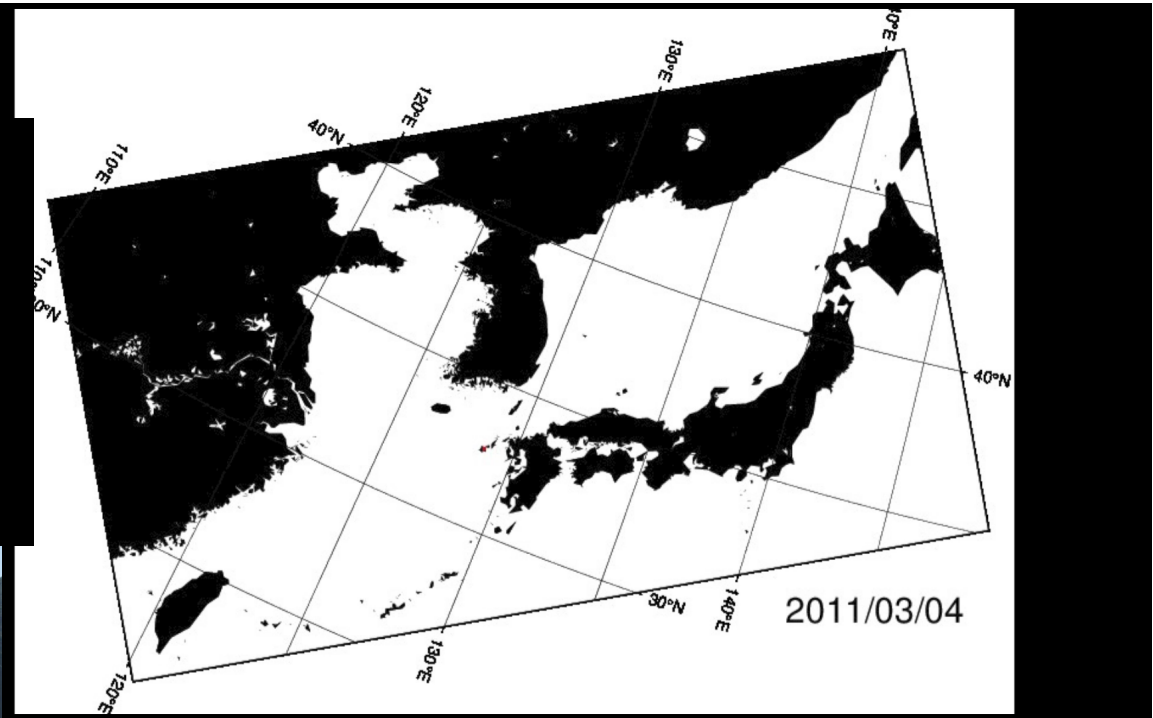
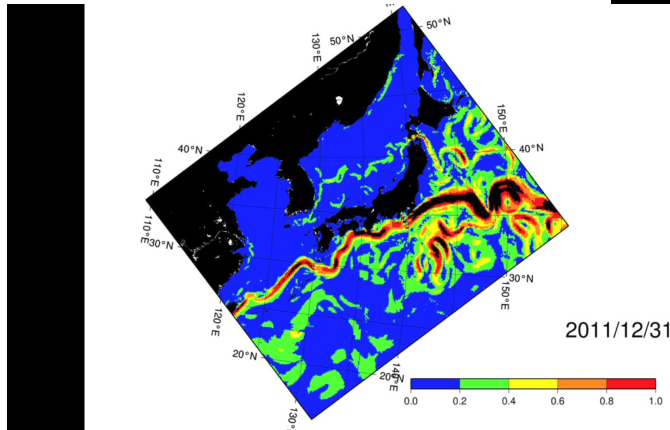
Animation in which the ocean currents are reversed in sign.



海洋同化プロダクトが与える2011年の海面流速分布(流れを逆向きにしたもの)

計算した海流分布が、人工衛星や海洋ロボット(3000基以上が世界の海に展開済み)の観測データとズレてくれば、自動的に誤差を補正するプログラムを装着した、コンピュータシミュレーション

Deduction of “origins” of marine debris using the reanalysis product combined with a particle tracking numerical model



五島列島奈留島に2011年3月に漂着したゴミの起源推定

ゴミを模した仮想粒子をコンピュータで再現した海
(流れは逆向き)に話して、発生場所に戻す実験

数週間から一年程度かかって、海洋を移動している。

Kako al. (2010, J. Oceanogr.; 2011, Mar. Pol. Bull.)

海岸漂着ゴミは、海岸で捨てられるものだけではない。ゴミは川を経て海に至り、海流と風に流され世界を回る。We can find that a nonnegligible fraction of litter returns to the Changjiang river mouth. Rivers are an important source of marine debris.



時間変化の大きな海ゴミ漂着量は、正確な推定が難しい。大串海岸の推定値から概算すれば、日本全国で10万トン程度が上限か？一方で環境省の最新の推定は20-50万トン。

It is a difficult task to determine the total weight (volume) of marine debris on a beach, because the quantities of debris vary drastically in time.

Table 1 Beach-litter measurements using a balloon on the Ookushi beach

	Areas covered by litter (m ²)	mass per unit area (kg/m ²)	total mass (kg)
22 October 2009	123.5	5.8 ± 2.1	716 ± 259
31 July 2010	490.8	8.2 ± 2.6	$4,025 \pm 1276$
5 March 2011	248.0	11.5 ± 2.7	$2,852 \pm 670$

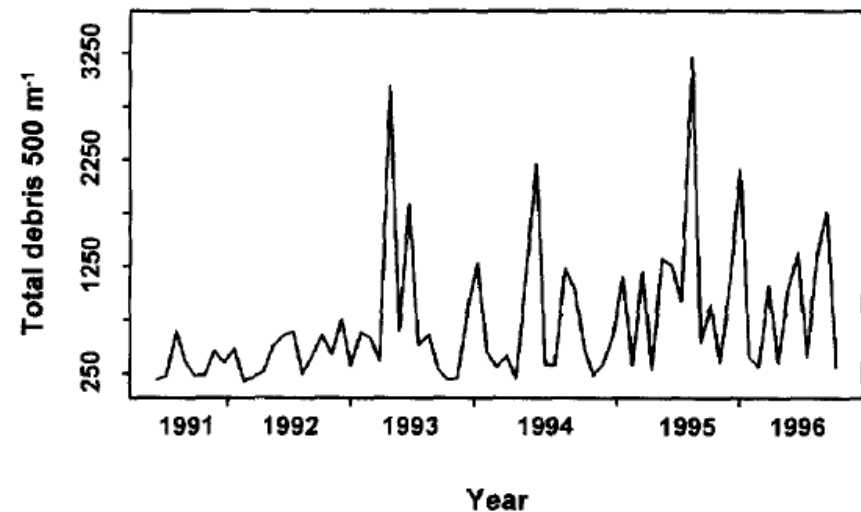


Fig. 2 Total debris per 500 m versus time for 71 surveys done at Island Beach State Park, New Jersey, USA.

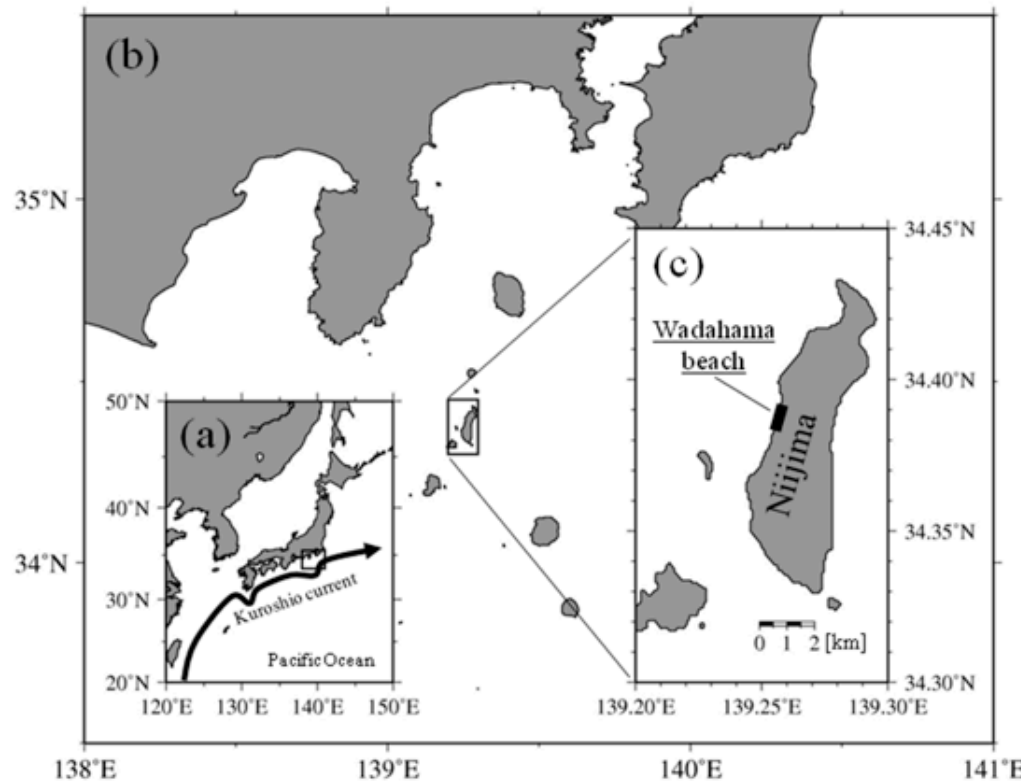
Monthly monitoring by Ribic, 1998 (MPB)
based on in situ surveys by voluntary
activities. 毎月のボランティアベースによる漂着量調査

海ごみの交換時間

Turnover time of marine debris on a beach

愛媛大学工学部 日向博文教授のグループ

Kataoka et al., (2013, Mar. Pol. Bill.)



新島和田浜海岸での、漂着ゴミ個
体識別追跡実験

海岸に漂着した3タイプの手ゴミの全て
にラベルを貼り、1-3ヶ月に一度ずつの
全量調査を続けた実験

An experiments were conducted to investigate the turnover time of marine debris on Wadahama beach. The specific types (below photos) of debris were all labeled in each survey, and their reducing numbers over the beach was observed in the following repeated surveys.

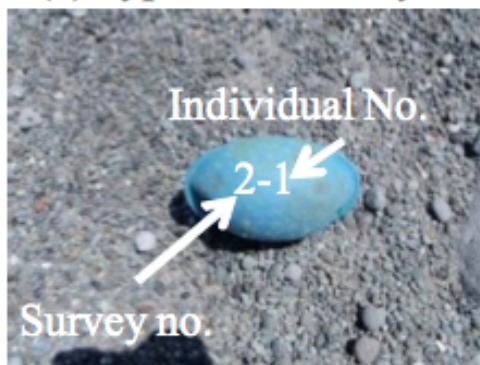
2011年: 9/30、10/27、11/24・26、

2012年: 1/26、3/23、6/29、8/21

11/8、12/27

2013年: 2/27

(a) Type1: Blue buoy



(b) Type2: Blue buoy



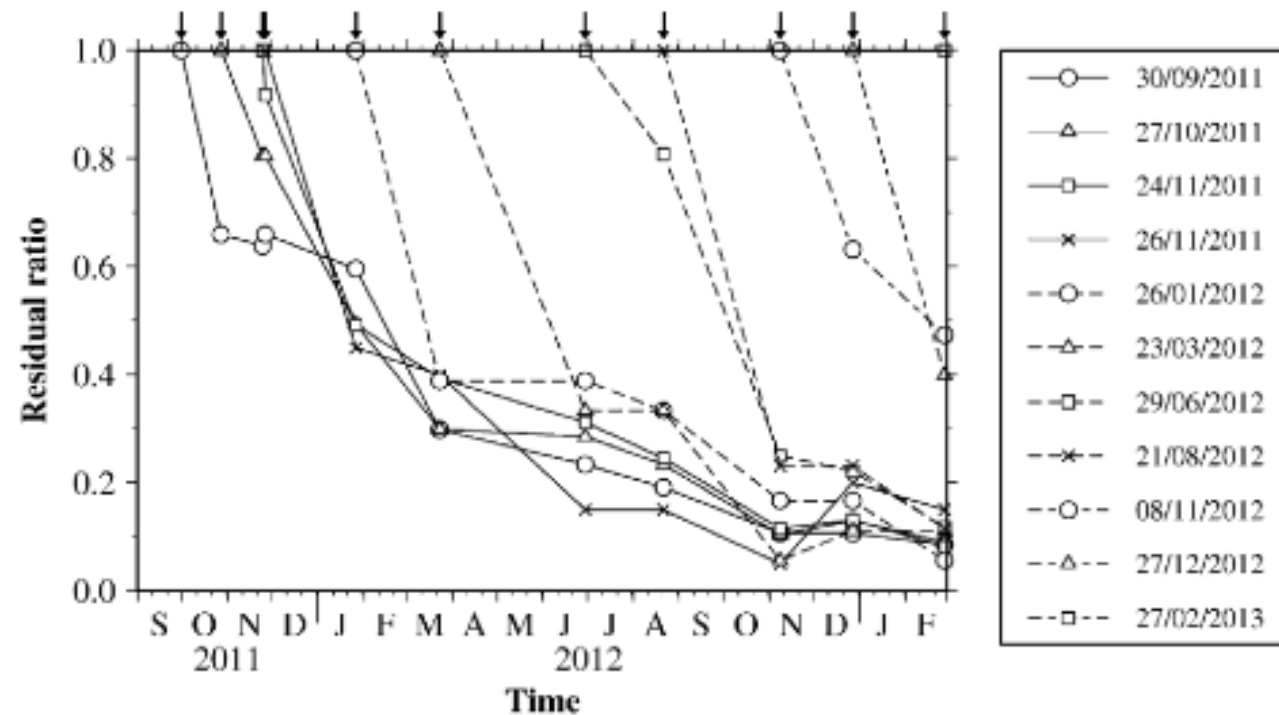
(c) Type3: Orange buoy

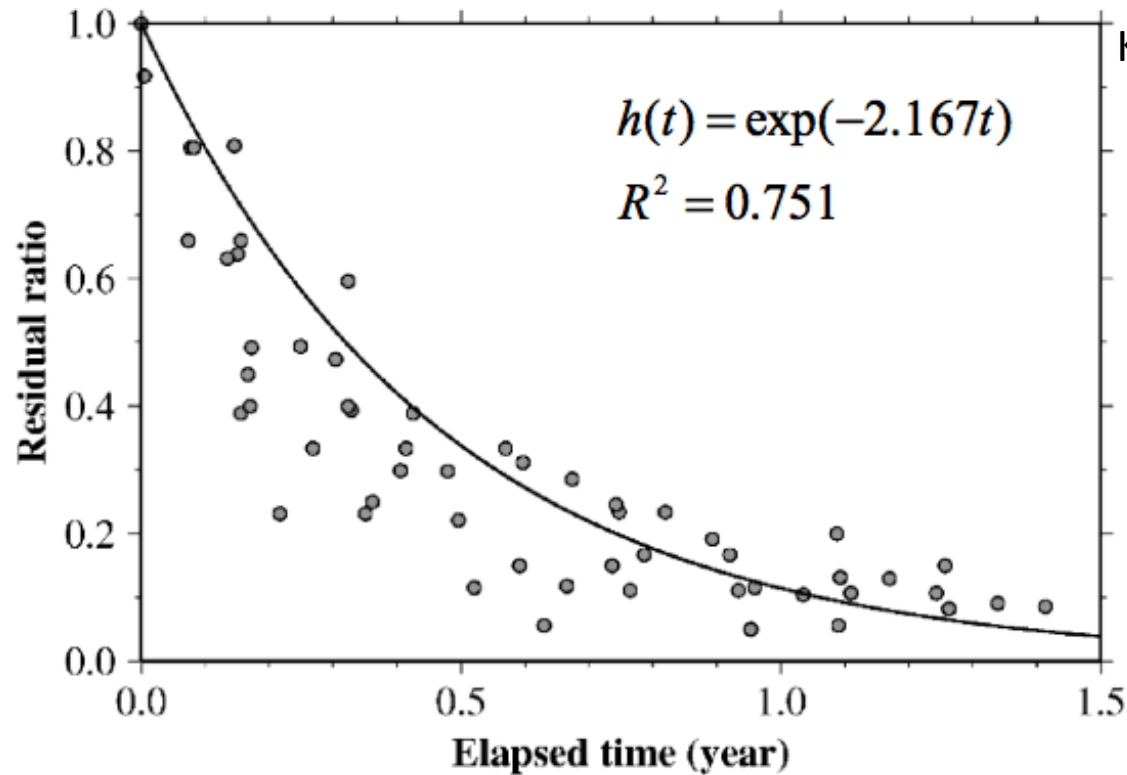


全タイプを用いて得たゴミ総量の時間変化曲線

＝最初に識別番号をつけたゴミの総量(1とする)が徐々に減っていく様子(残余関数)

Remnant functions of all debris numbers (normalized by initial numbers). We can found that the total number of debris reduced exponentially in time.





Kataoka et al., (2013, Mar. Pol. Bill.)

$$\int_0^{\infty} h(\tau) d\tau$$

~200days

新島和田浜海岸の場合、海岸に漂着している(ブイ程度の大きさの)海ゴミは、平均すれば**約半年**で新たに漂着したものと入れ替わっている。

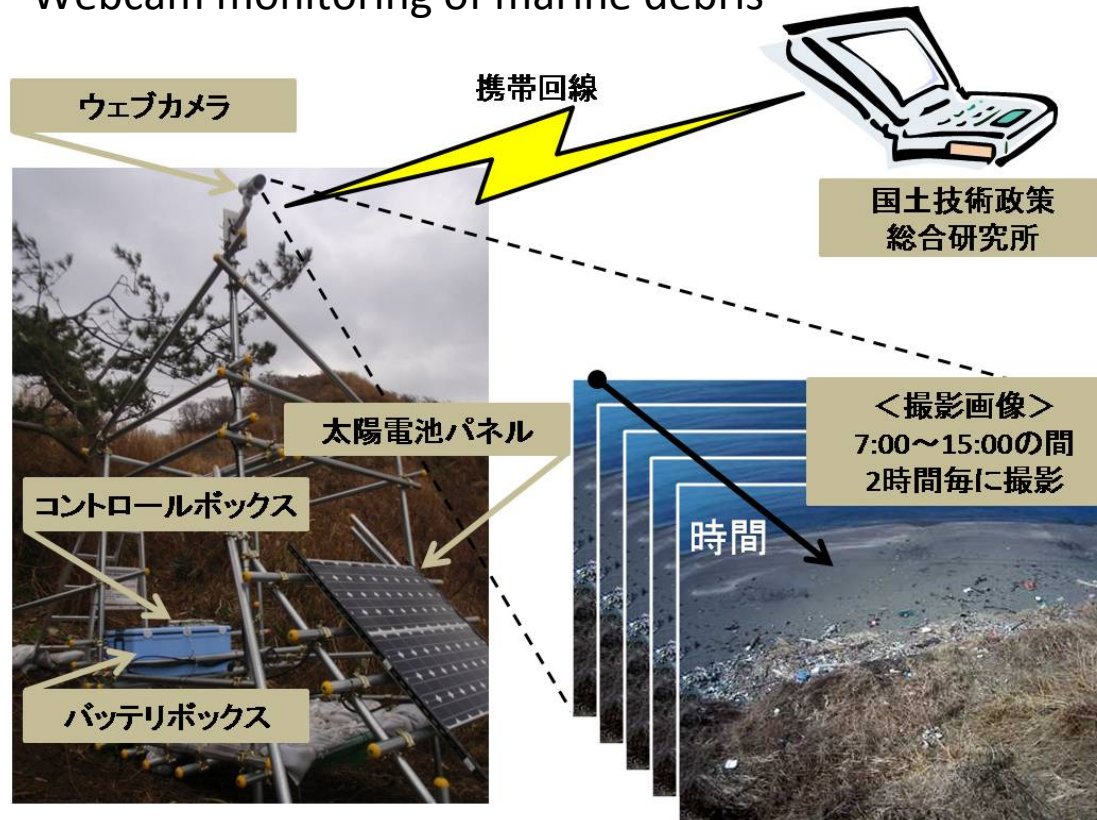
On average, marine debris washed ashore on the Wadahama beach all exchanges to other debris on a timescale of 200 days.

実際に海ごみが漂着する状況をモニタリングする手法を開発したい。

A monitoring technique available for marine debris is required.

ウェブカメラによるモニタリング

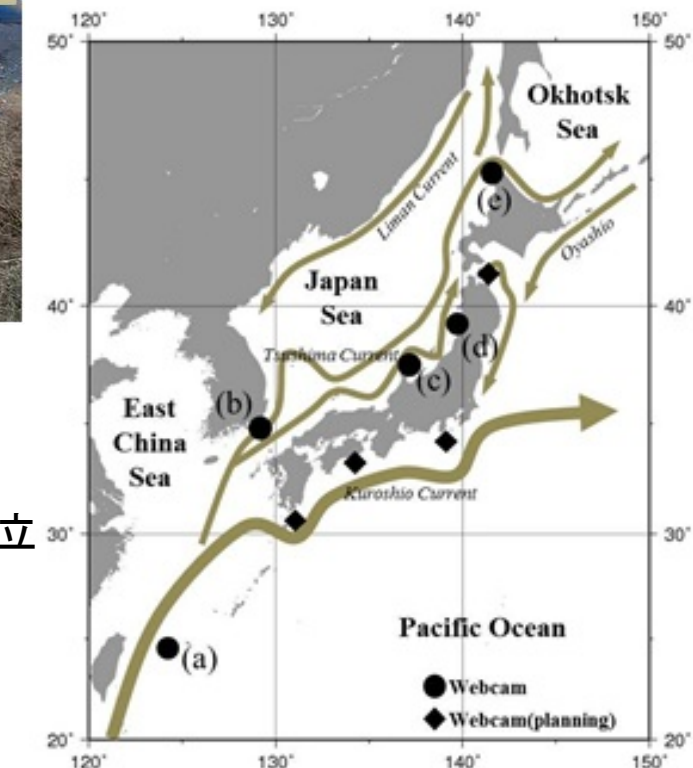
Webcam monitoring of marine debris



漂着ゴミの多い海岸にウェブカメラを設置し、60-90分毎に撮影した画像をネット送信する。

画像解析を経て、人工ゴミも被覆面積(～ゴミ漂着量と見なす)の長期時系列を得る観測

The photos of beaches with marine debris were taken by webcams (driven by solar panels) with every 60-90 min. The photos were converted to areas covered by litter. This system provides an index of long-term variations of marine debris quantities on the beaches.



Kako et al., (2010, Mar. Pol. Bill.)

被覆面積を計量する画像処理技術の確立

Kataoka et al. (2012, Mar. Pol. Bull.)

色空間での色差を用いて、人工ゴミを選り分ける技術の確立

2008年の5月より開始。一部は現在も継続中

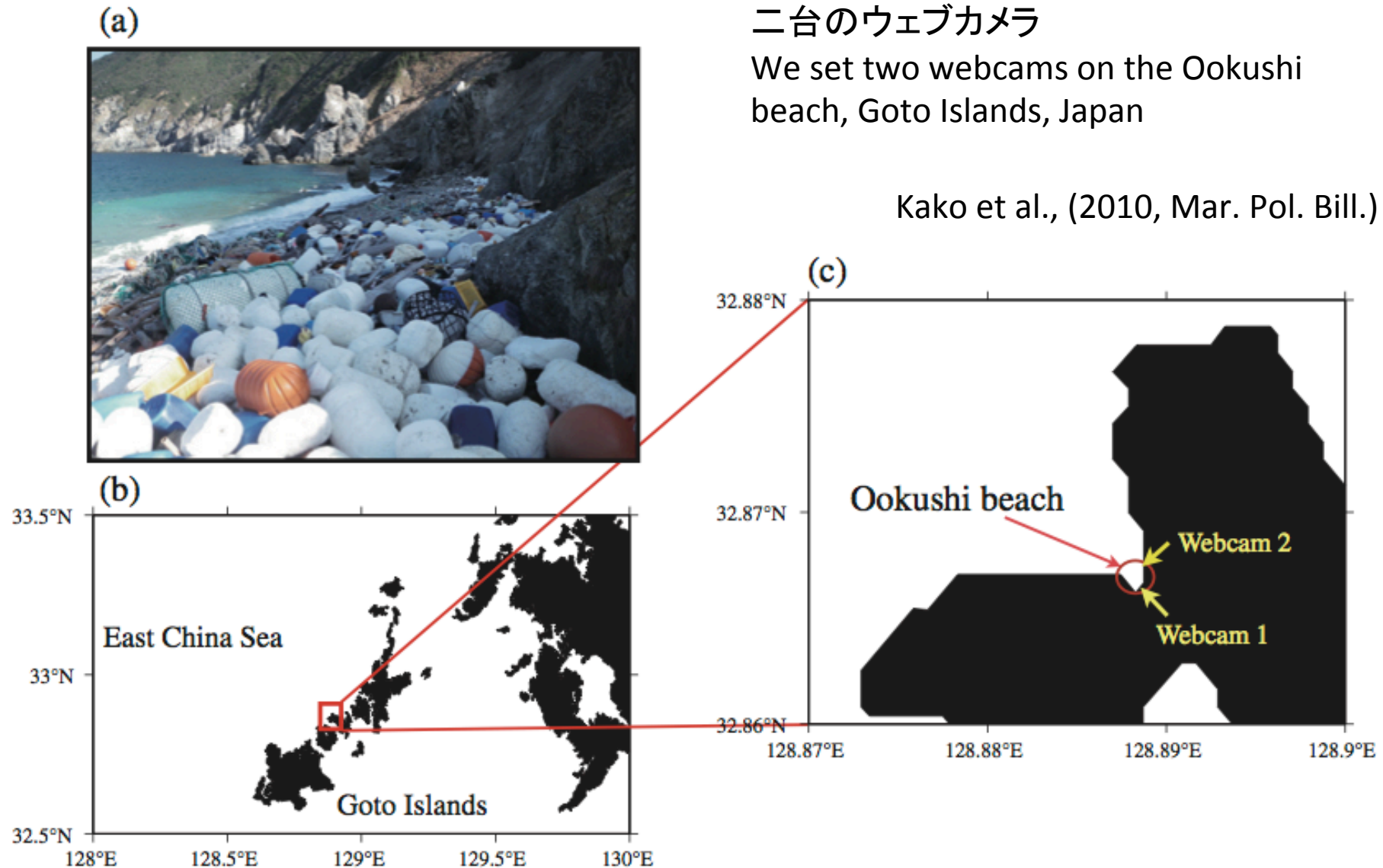
ウェブカメラによるモニタリング

Webcam monitoring of marine debris

長崎県五島列島大串地区に設置した
二台のウェブカメラ

We set two webcams on the Ookushi
beach, Goto Islands, Japan

Kako et al., (2010, Mar. Pol. Bill.)



ウェブカメラによるモニタリング

Webcam monitoring of marine debris

Kako et al., (2010, Mar. Pol. Bill.)

長崎県五島列島大串地区に設置した
二台のウェブカメラ(上は近距離)

(a)

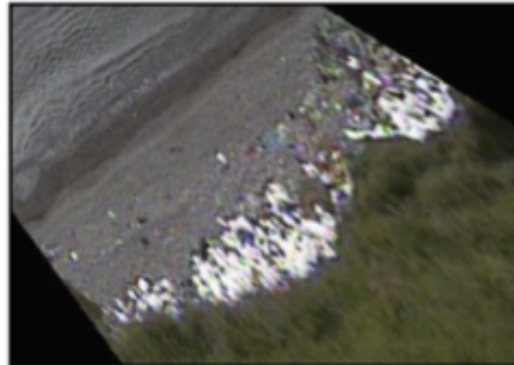


(b)

Photos taken by webcam

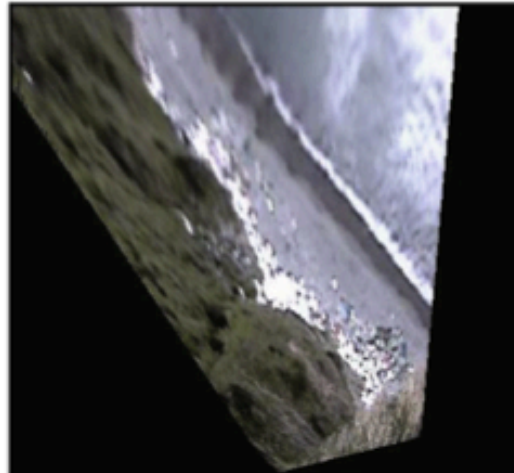


(c)

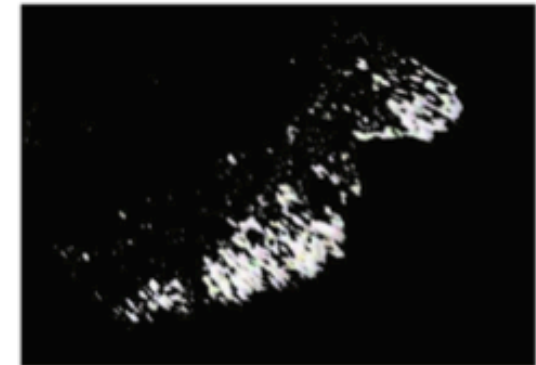


(d)

Geo-referencing

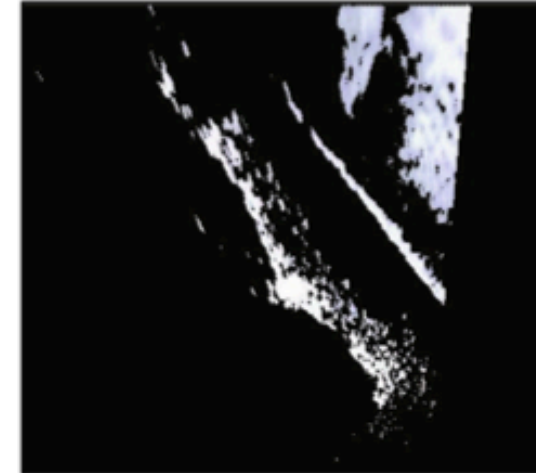


(e)



Extraction of pixels representing marine debris

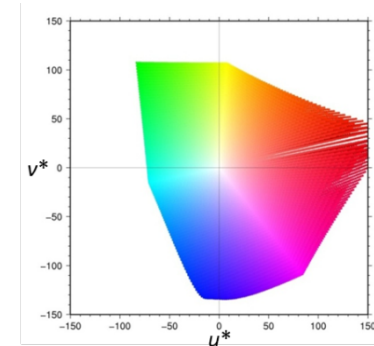
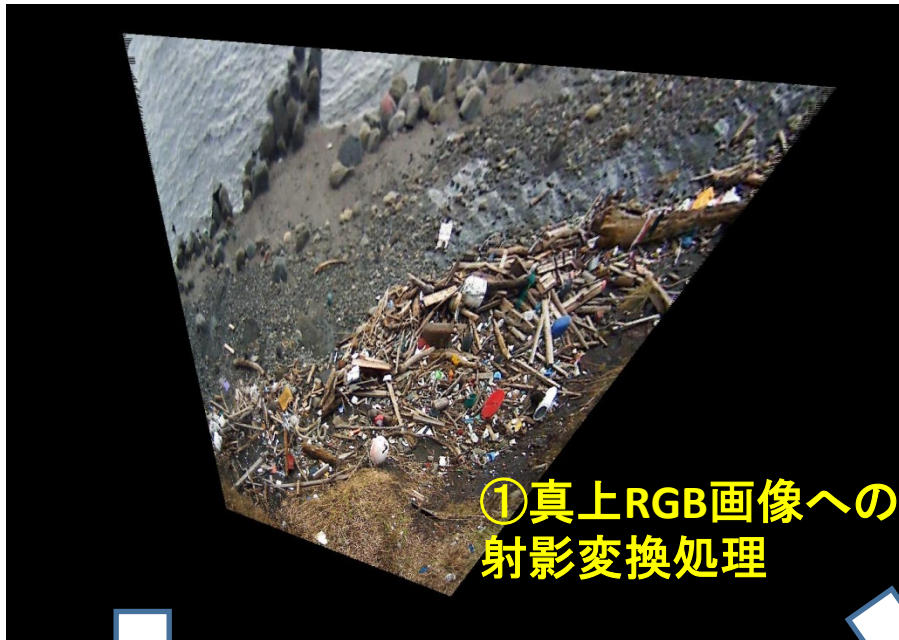
(f)



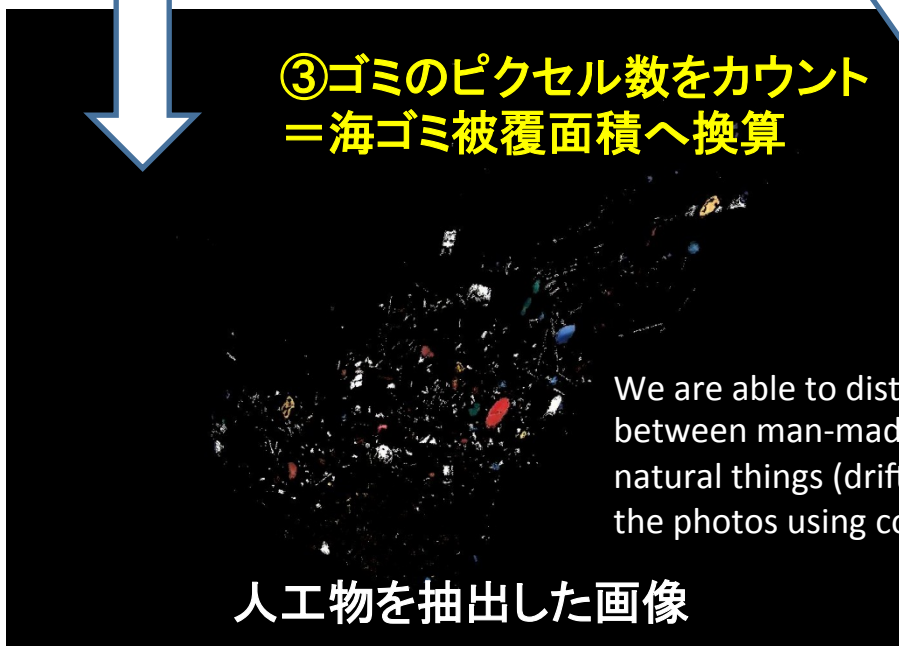
左は生画像で、中央は真上からの画像に射影変換処理を施したもの
右は輝度情報に変換してゴミを表す高輝度画素のみを抽出したもの＝面積を計量

ウェブカメラによるモニタリング

Kataoka et al. (2012, Mar. Pol. Bull.)



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



ウェブカメラによるモニタリング



長崎県五島列島奈留島大串地区で撮影された90分毎の画像をつなげたムービー

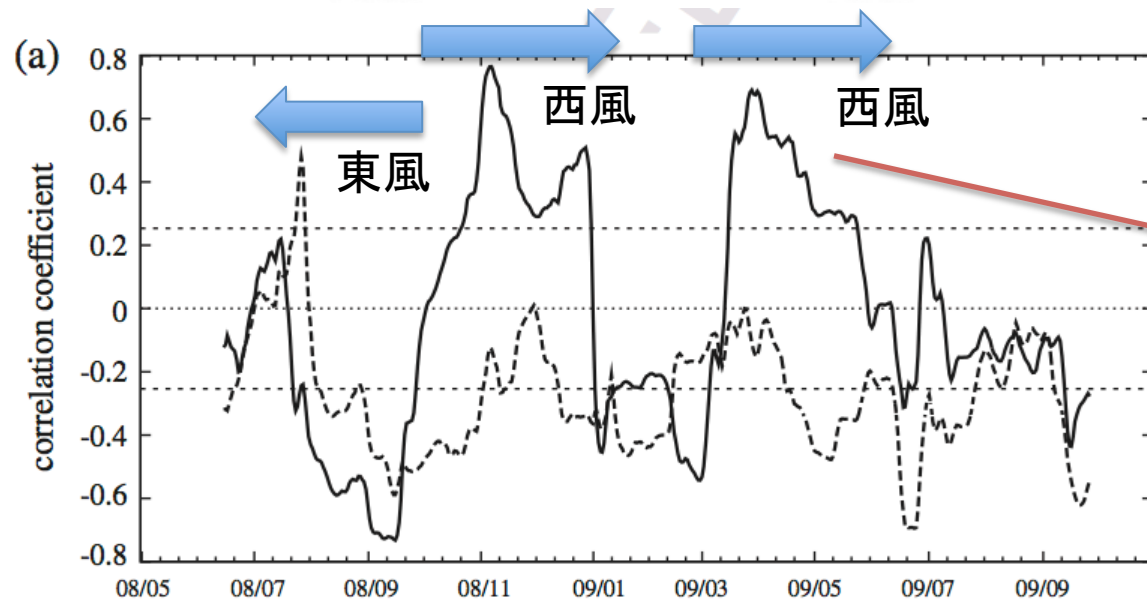
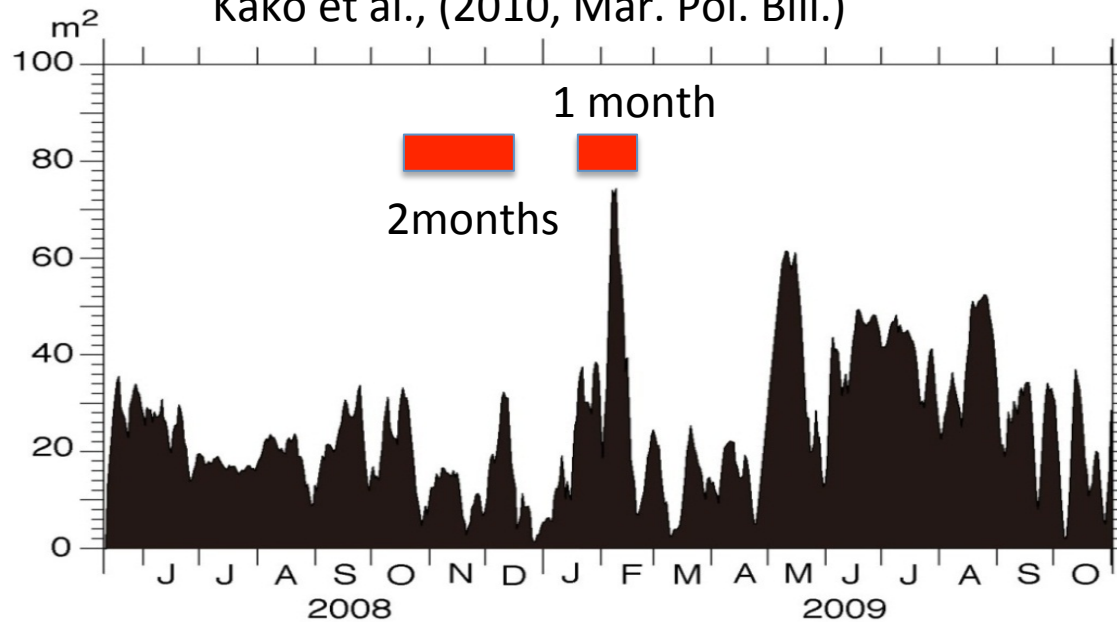
汀線の移動は潮汐を表していて、約12時間周期である。左は生画像から、右は射影変換処理を施した真上画像から作成した。

大潮・満潮で、悪天候時に、一度に大量のゴミが漂着する様子が分かる。

The above movies are produced by photos taken during one year on the Ookushi beach. The movement of shoreline occurs not by waves, but by tides. A large amount of debris were washed shore under the stormy weather conditions at spring and flood tides,

ウェブカメラによるモニタリング

Kako et al., (2010, Mar. Pol. Bill.)

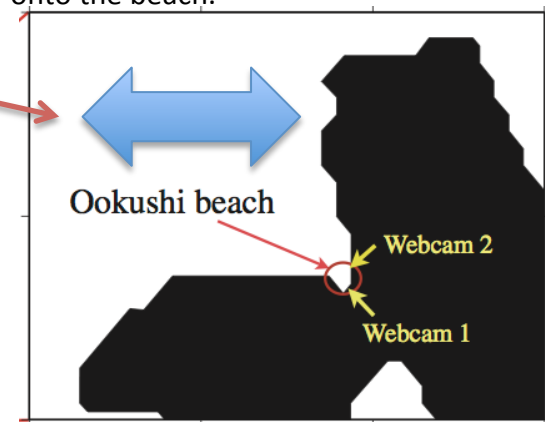


大串地区での
海ごみ被覆面積の時系列

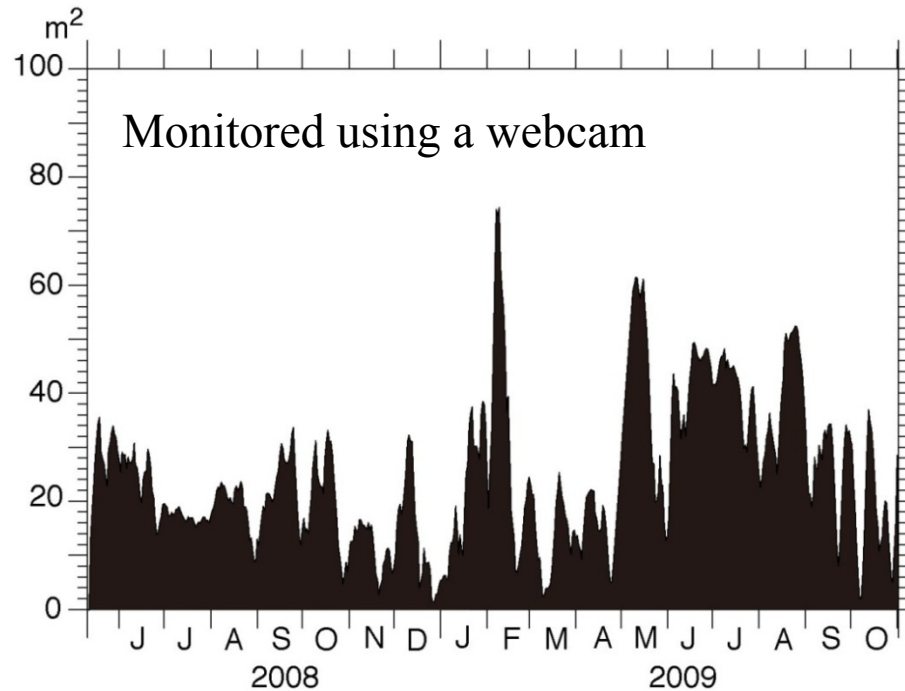
ゴミ総量として、数週間から一か月程度の時間スケールでの増減が目立つ。海と陸との出入りが大きい。海ゴミは海岸に定着しない。

西風で増加し、東風で減少する有意な相関がある。

Time series of areas covered by litter on the Ookushi beach. The temporal variation on timescales from a few weeks to one month is remarkable. Also shown in the lower panel is the correlation coefficient between areas and wind speed. It is found that westerly winds carried marine debris onto the beach.



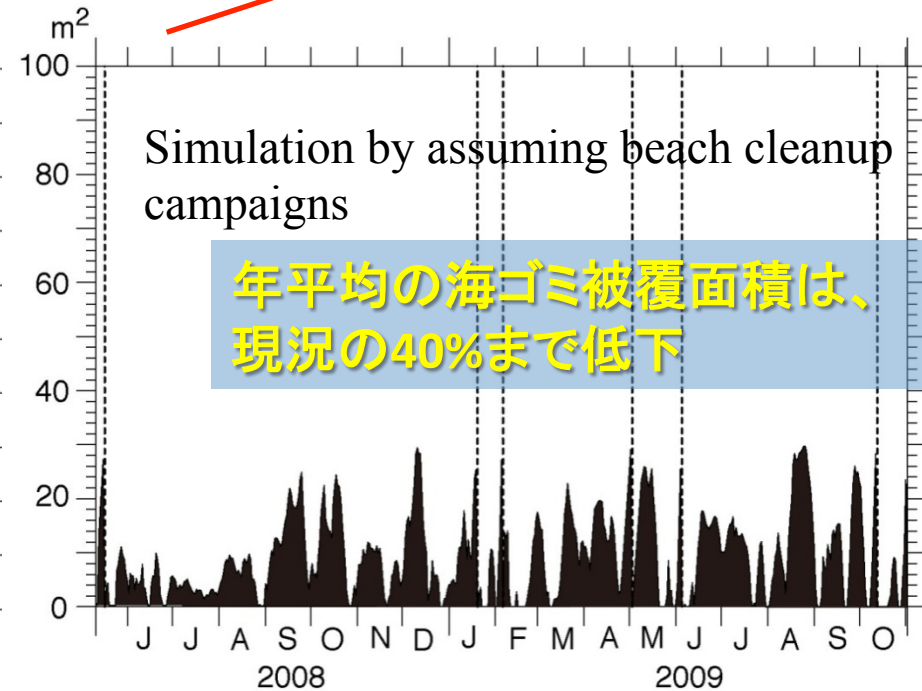
ウェブカメラによるモニタリング



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

We substitute 0 (assuming the cleanup)
when the area reached to 30m²

面積が30m²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...



年平均の海ゴミ被覆面積は、
現況の40%まで低下

We use webcam-monitored areas
(*f*) in reality

The simulation says that the
annually-averaged area covered by
litter was reduced to **40%**. Of
particular importance is well-planned
cleanup activities using sequentially-
monitored *in situ* data

3.11津波漂着物のウェブカメラによるモニタリング@オレゴン州

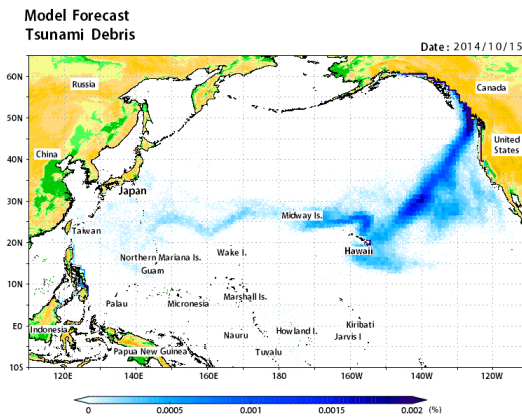
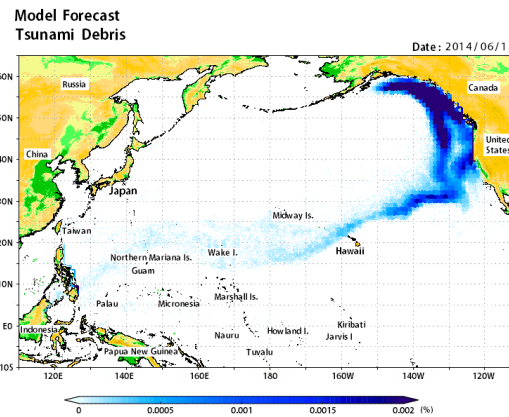
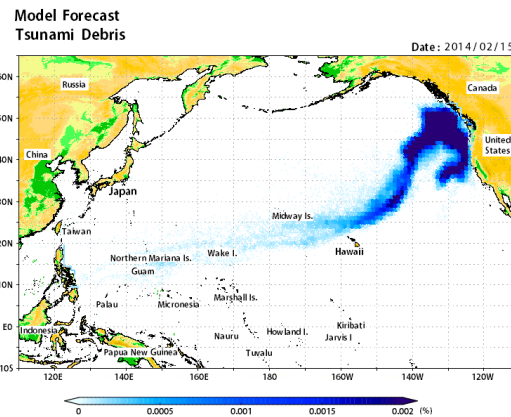
Webcam monitoring of Tsunami debris at the Oregon coast

PICES (NORTH PACIFIC MARINE SCIENCE ORGANIZATION) PROJECT ON “EFFECTS OF MARINE DEBRIS CAUSED BY THE GREAT TSUNAMI OF 2011”

日本/米国/カナダ

震災漂流物による外来生物種の輸送

Invasive species carried by tsunami debris crossing the N. Pacific



浮き桟橋



2012年6月 オレゴン州
(処理費用680万円)



2013年1月 ワシントン州
(処理費用5,589万円)

漁船



2012年3月 ブリティッシュコロンビア州
(米国沿岸警備隊により撃沈)



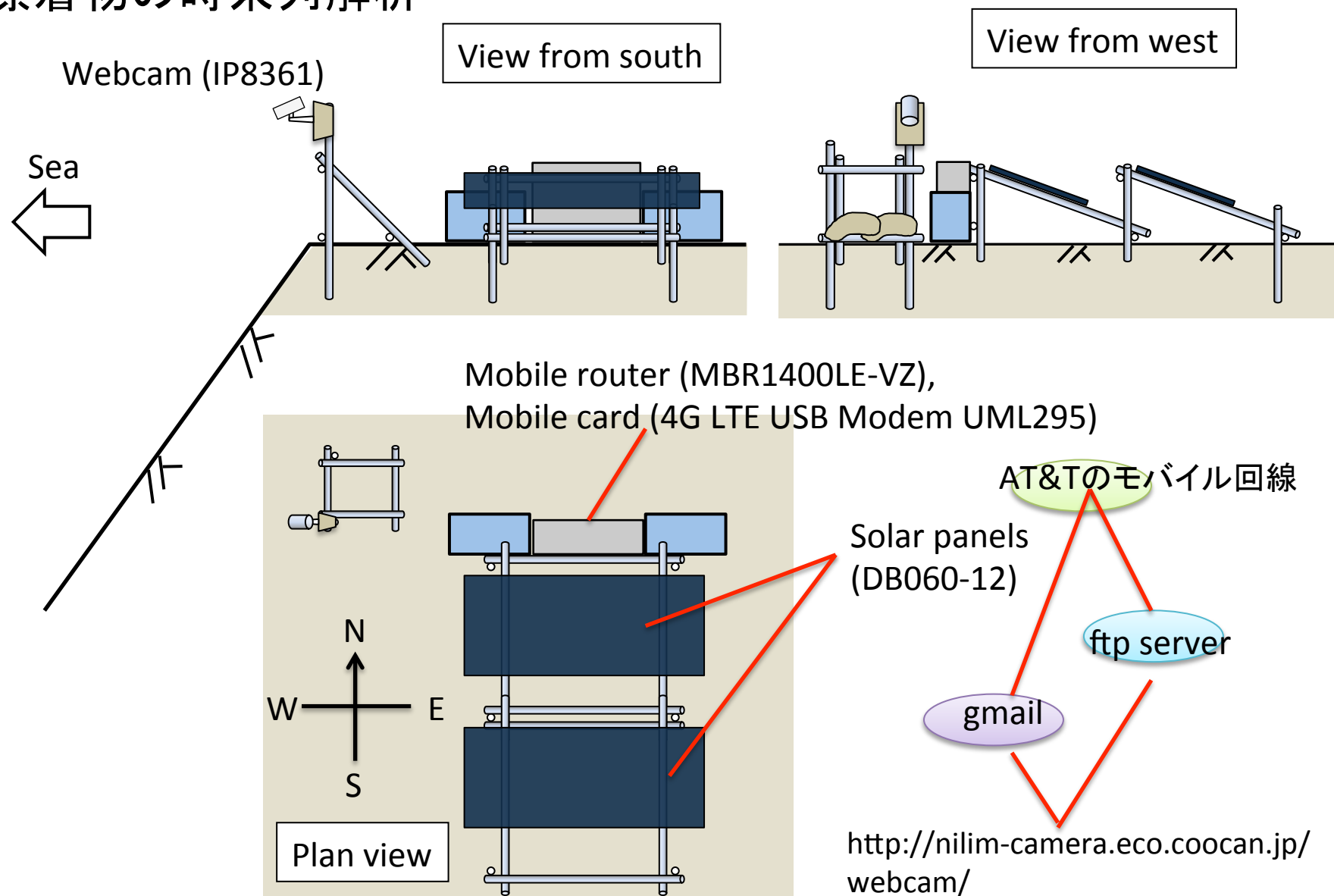
2015年4月9日にオレゴン州ニューポート沖に廃船が漂着して、結構な騒ぎになりました。震災起源かどうかは不明ながら、西海岸が非常に神経質になっているのは事実 Floating hulk found off Newport, OR, on April 9 this year.



webcam installation at Newport, OR

オレゴン州ニューポートでのウェブカメラ設置

漂着物の時系列解析





ウェブカメラモニタリング
本年4月からデータ公開
現地日中の一時間毎の画像
射影変換後の漂着物解析中

Our webcam monitoring at
Newport is on going since last
April. All hourly images during
the daytime are available on the
website

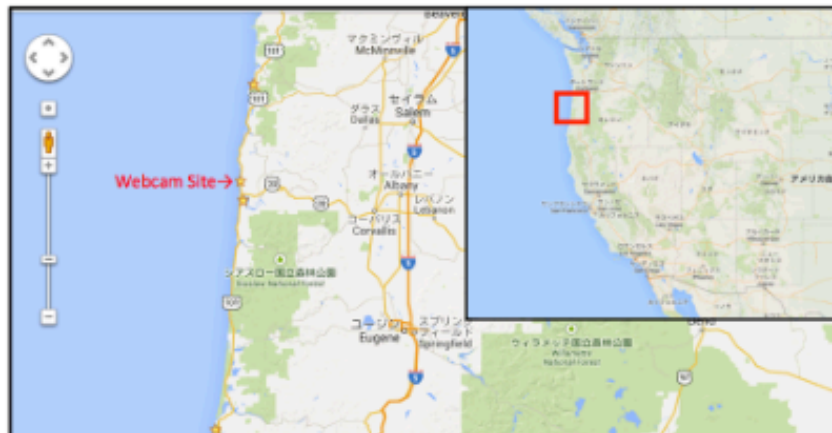


[TOP](#)[Webcam images](#)[Research](#)

About webcam monitoring

Thank you for visiting our website and your interest in our research

We are monitoring tsunami debris using a webcam installed on a beach in the Oregon Coast. We will provide quantities of marine debris littered on beaches using the webcam data ([Kako et al., Mar. Pol. Bull., 2010](#); [Kataoka et al., Mar. Pol. Bull., 2012](#)). The webcam is operated every one hour for 9:00 to 18:00 (PST), and the webcam data is sent to our server via the Internet. We will put the last webcam data on this website.



Our webcam system

2015年1月11ー15日 現地踏査でカメラ設置海岸決定
2015年2月15ー21日 ウェブカメラの設置作業開始
2015年4月3日ー 修理・画像のインターネット配信開始
ー2017年3月 漂着物量の画像解析



July 13, 1700LST



July 15, 1700LST



July 23, 1700LST

問題点

●AT&Tが提供するモバイル回線では、ウェブカメラに固定IPを割り当てる**ダイナミックDNSサービス**が提供されていない。ために、リアルタイムの動画配信や設定の遠隔操作ができない。何かアクセス環境を整えるよい方法がないか。。

●地味な色合いの流木や材木が主な漂着物なので、**色空間上での識別では、漂着物の検出が、やりにくい**。画像の立体化？画素データの時間差分？検出の新手法開発。

- ネットが使えない環境(無人島など)でのモニタリングは？衛星通信の利用？
- レンズの汚れ、人の手による破損

<PROBLEMS>We have met many difficulties in monitoring marine debris using webcams outside Japan. AT&T does not provide dynamic DNS service to assign a static IP address to a specific webcam, so we cannot control the webcam remotely. Dark color debris in US coast is difficult to detect on a color space. We now have know way to establish the webcam system in the absence of the Internet. maintenance, vandalism

Our on-going research project on microplastics



元の製品がわかるプラスチックゴミ macroplastics

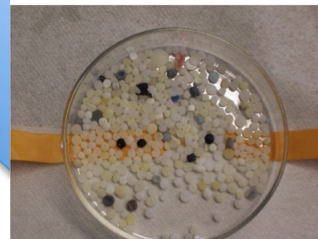
マクロ・プラスチック

Andrady (2011, MPB)



>0.5 mm程度のプラスチック細片 mesoplastics
中間材料のプラスチック・レジンペレット

メソ・プラスチック

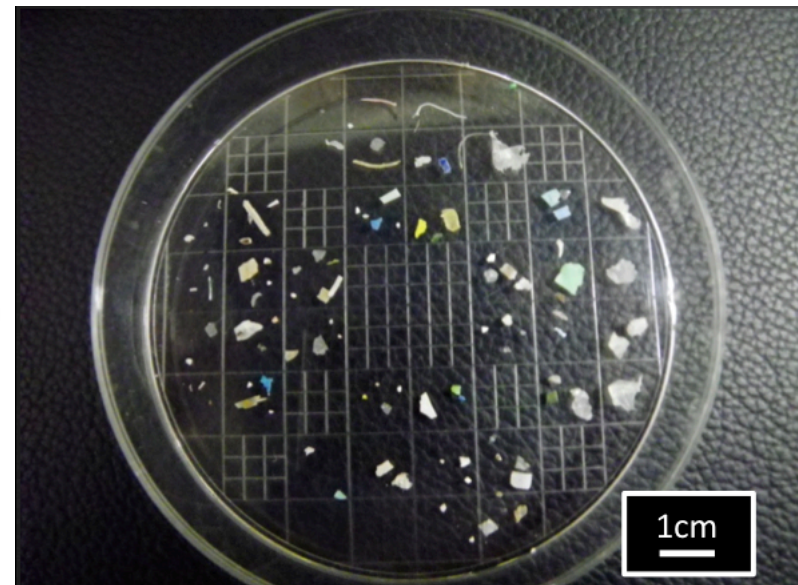


おそらくは海岸での紫外線や物理的な刺激、あるいは温度差による劣化で、微細化していくらしい。

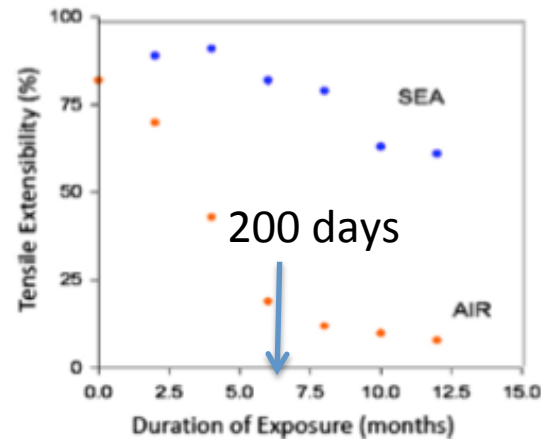
<0.5 mm程度のプラスチック微細片

Microplastics 化学汚染物質の生態系への輸送媒体？

マイクロ・プラスチック



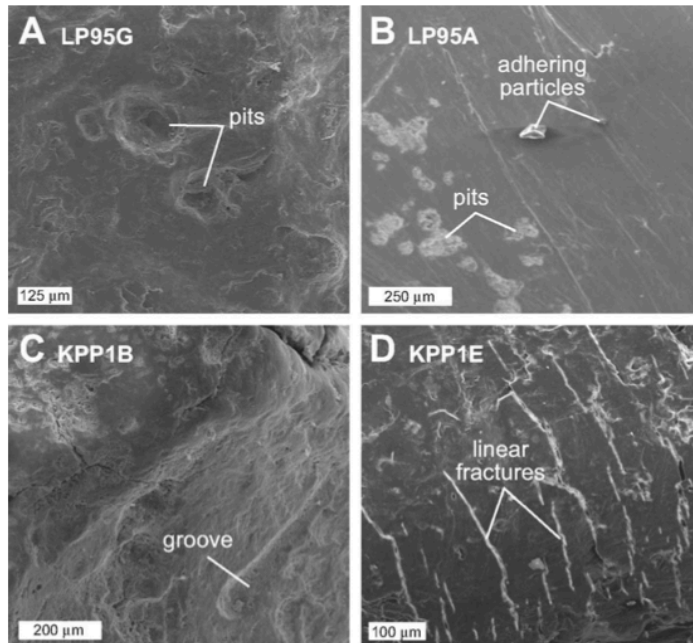
Our on-going research project on microplastics



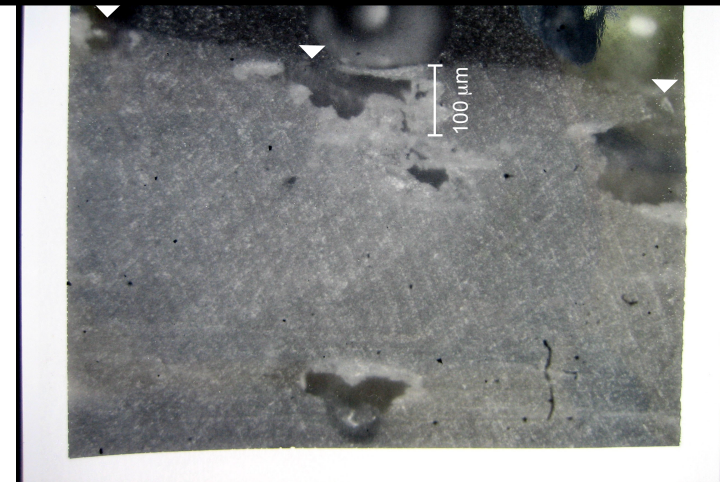
劣化実験の結果
Andrady (2011, MPB)

プラスチックゴミは、海岸での紫外線や温度差、物理的な摩耗によって微細片化する。

Plastics debris are degraded to microplastics due to exposure to ultraviolet radiation and mechanical erosion on beaches



ハワイに漂着したプラスチックゴミ
表面の拡大顕微鏡写真
Corcoran et al. (2009, MPB)



石垣島で採取したPVC
フロート表面の拡大顕
微鏡写真
Nakashima et al., (未発表)

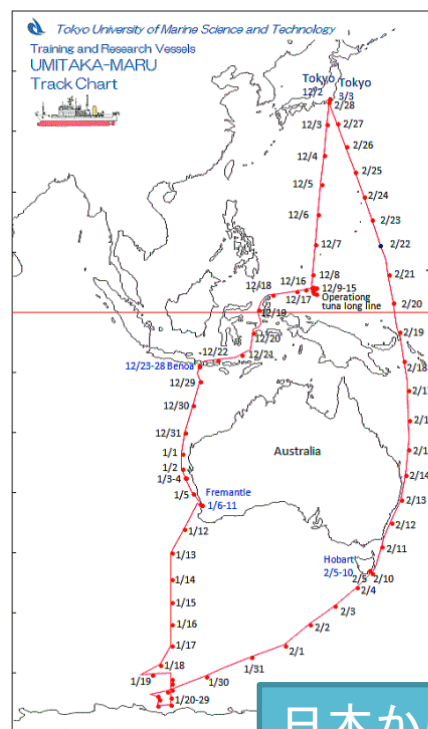


環境省・環境研究総合推進費 The Ministry of Environment, Environmental Research & Tech. Development Fund

Year 2015-2017:

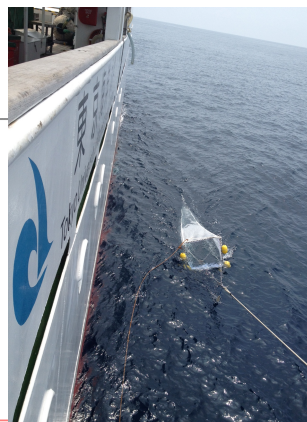
沿岸から大洋を漂流するマイクロプラスチックの動態解明と環境リスク評価

“Study on behavior and environmental risk of microplastics drifting in coastal waters and open oceans”



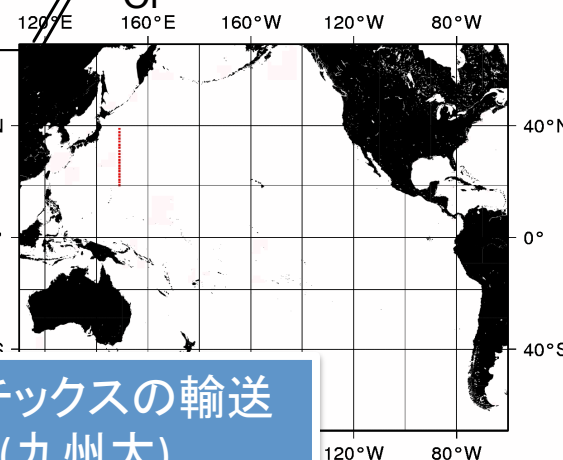
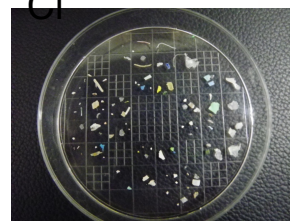
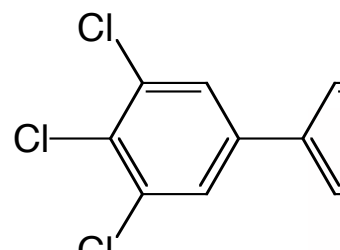
日本から南極海に至る分布調査(東京海洋大)

Surveys in the western Pacific, and Antarctic Oceans (Tokyo Univ of Marine Sci & Tech)



海岸や浅海域での輸送過程の解明(愛媛大) Surveys on beaches and shallow seas (Ehime Univ)

化学汚染物質の輸送過程(東京農工大) Chemical pollutants carried by microplastics (Tokyo Univ of A&T)



マイクロプラスチックの輸送シミュレーション(九州大)

Numerical tracking simulation of microplastics (Kyushu Univ)

2000/01/01