

海岸漂着ゴミの滞留時間と 海岸清掃の効果

国土技術政策総合研究所

片岡 智哉

日向 博文

背景

REGION1
Ocean Currents & Wind
Dominated Regime

REGION2
Wind Waves (WWs) &
WW-derived Currents & Wind
Dominated Regime

REGION3
Wind Waves (WWs) & Wind
Dominated Regime

“沖合漂流量”

“新規漂着量”

漂着

“存在量”

Time

**Numerical
models**
(e.g. Kako et al.,
2011)

再漂流
(e.g. Bowman et al., 1998)

再漂流過程

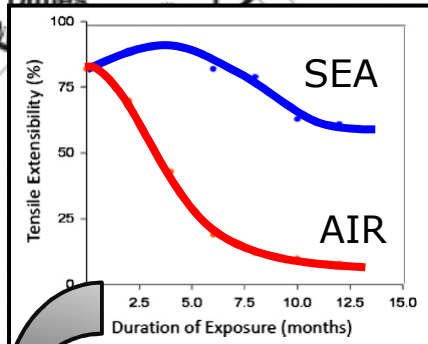
?

**Webcam
monitoring**
(e.g. Kataoka et al.,
2012)

MHWL
MSL
MLWL

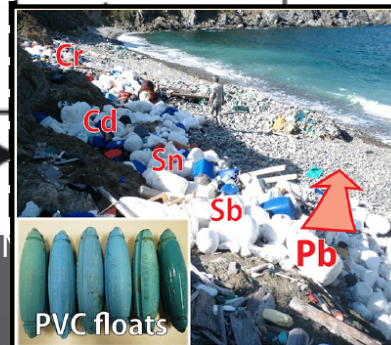
Closure depth d_L

重金属の溶出
(e.g. Nakashima et al.,
2012)

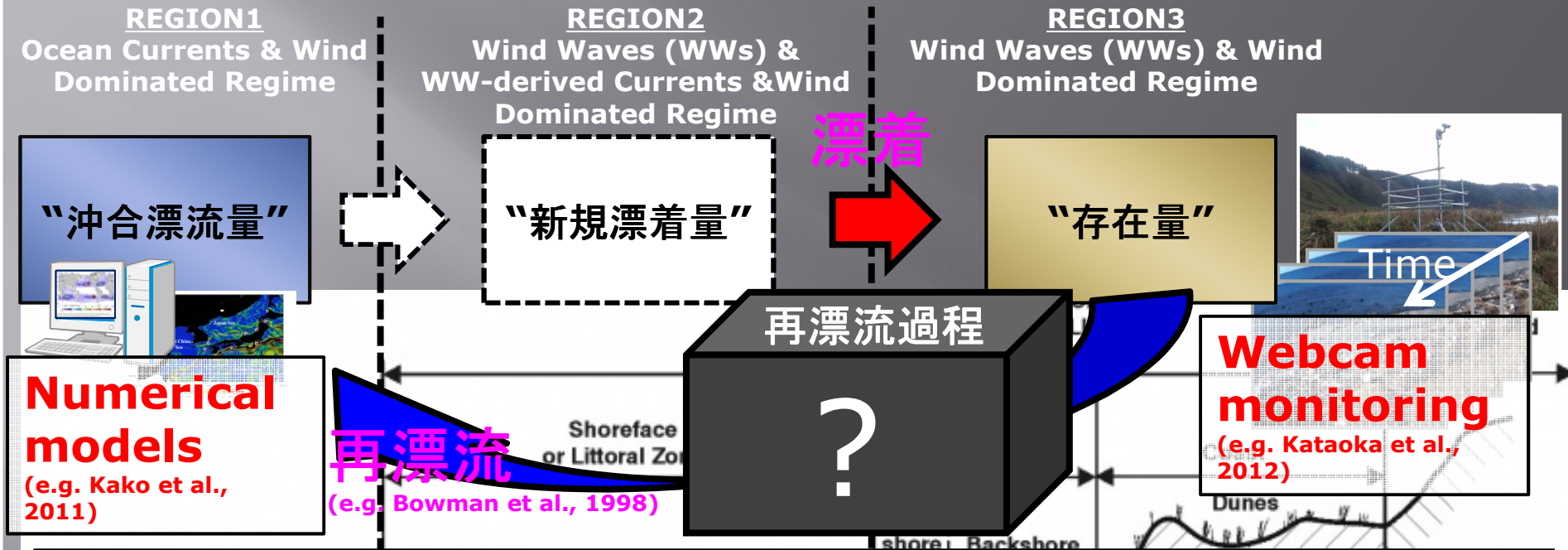


紫外線劣化
による細分化
(e.g. Andrady, 2011)

滞留時間は？



目的

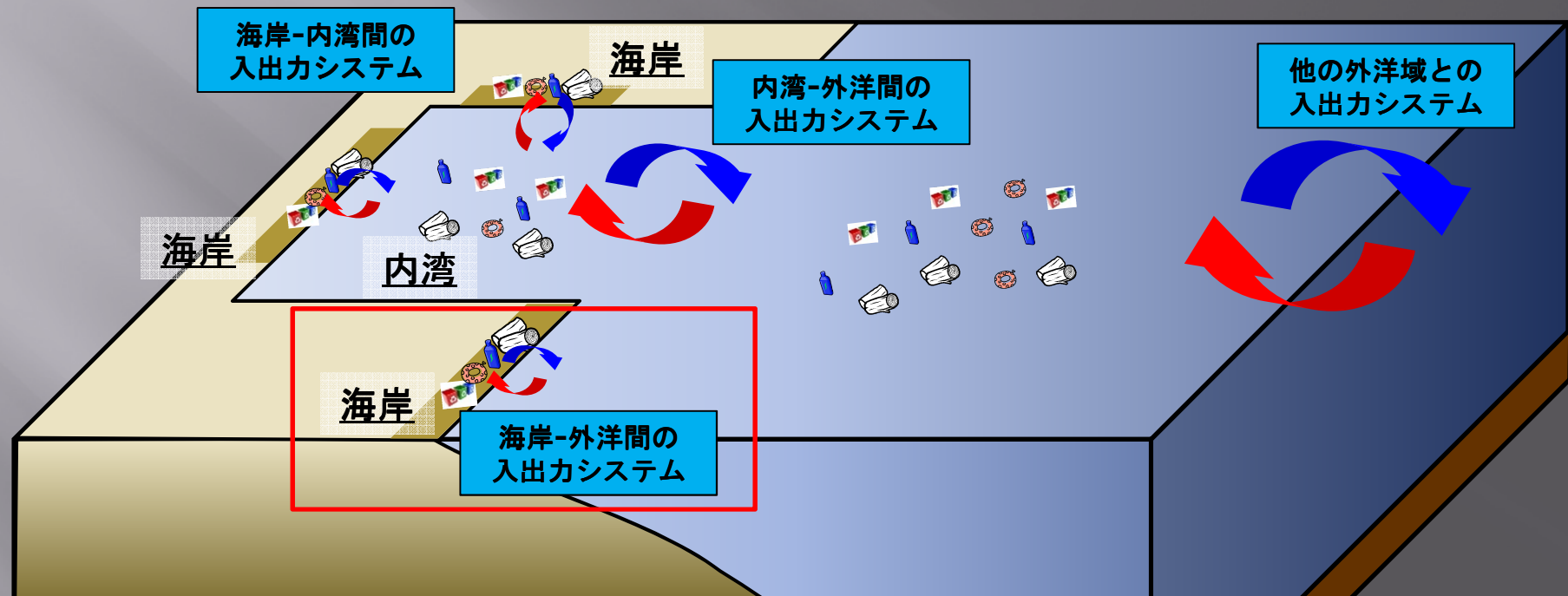


1. 海岸におけるゴミの滞留時間を計測する
2. システム解析に基づいて“新規漂着量”に対する“存在量”の応答関係を明らかにする
3. 海岸清掃効果の定量的な評価手法を示し、システム特性を考慮した効果的な海岸清掃について提言する

ゴミの動態に関する入出力システム

入力：対象領域へのゴミの移入量

出力：対象領域におけるゴミの存在量

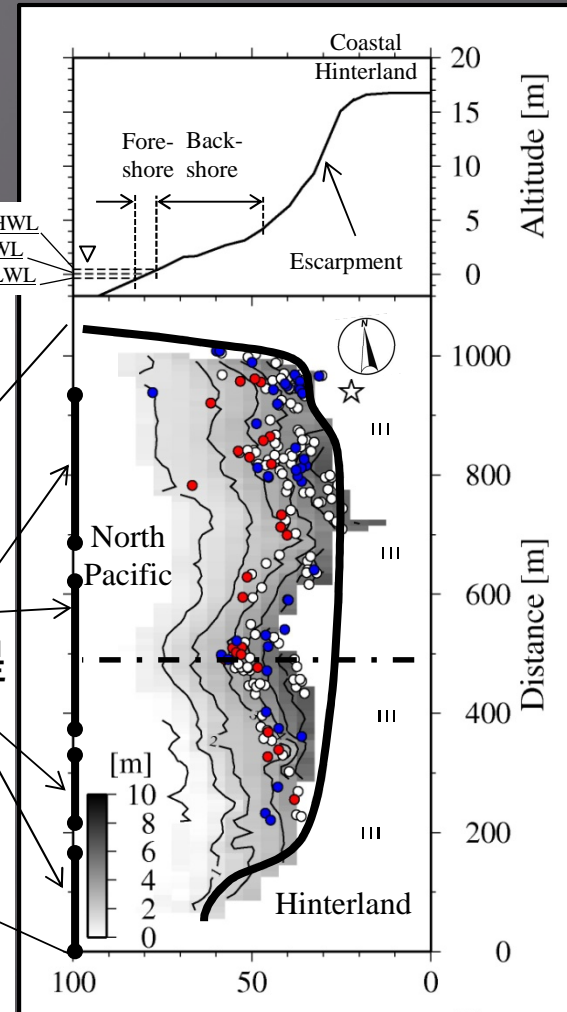
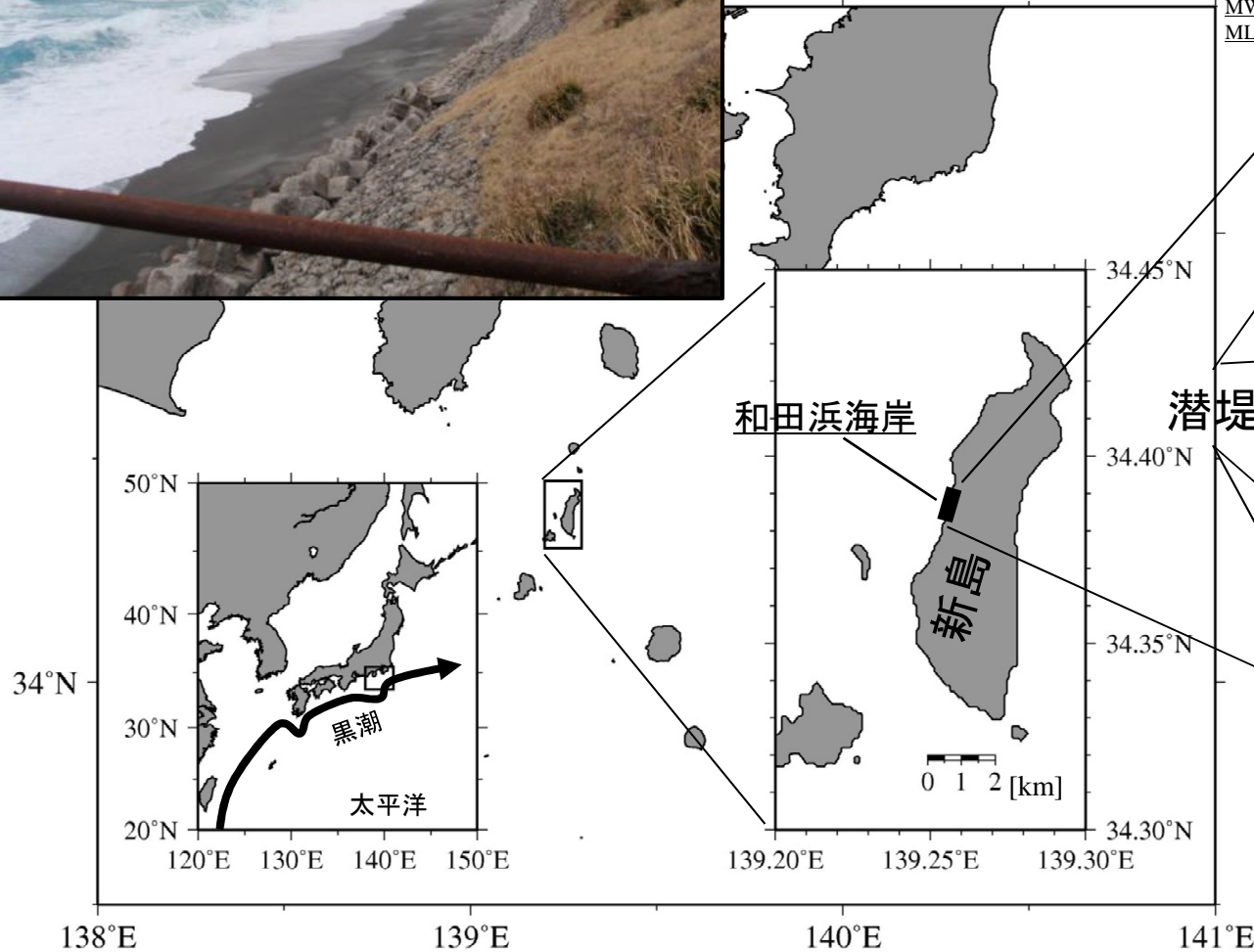


本研究では、海岸-外洋間の入出力システムに着目する。

研究フィールド



新島和田浜海岸



- 残存量
- 新規漂着量
- 再漂流量

滞留時間の計測方法 (海ゴミ個体識別調査)

- 海ゴミ個体識別調査：

調査項目：識別番号の採番 → 元に戻す

漂着位置の測量 (ハンディGPS)

調査対象の海ゴミ： 3種類の中国製漁業ブイ

- 調査日：

2011	2012	2013
(1) 9/30-10/1	(4) 1/26-1/28	(10) 2/27-3/1
(2) 10/28-10/30	(5) 3/23-3/25	(11) 5/8-5/10
(3) 11/23-11/26*	(6) 6/28-6/30	(12) 6/27-6/29
	(7) 8/21-8/23	(13) 9/1-9/4
	(8) 11/9-11/10	
	(9) 12/27-12/28	

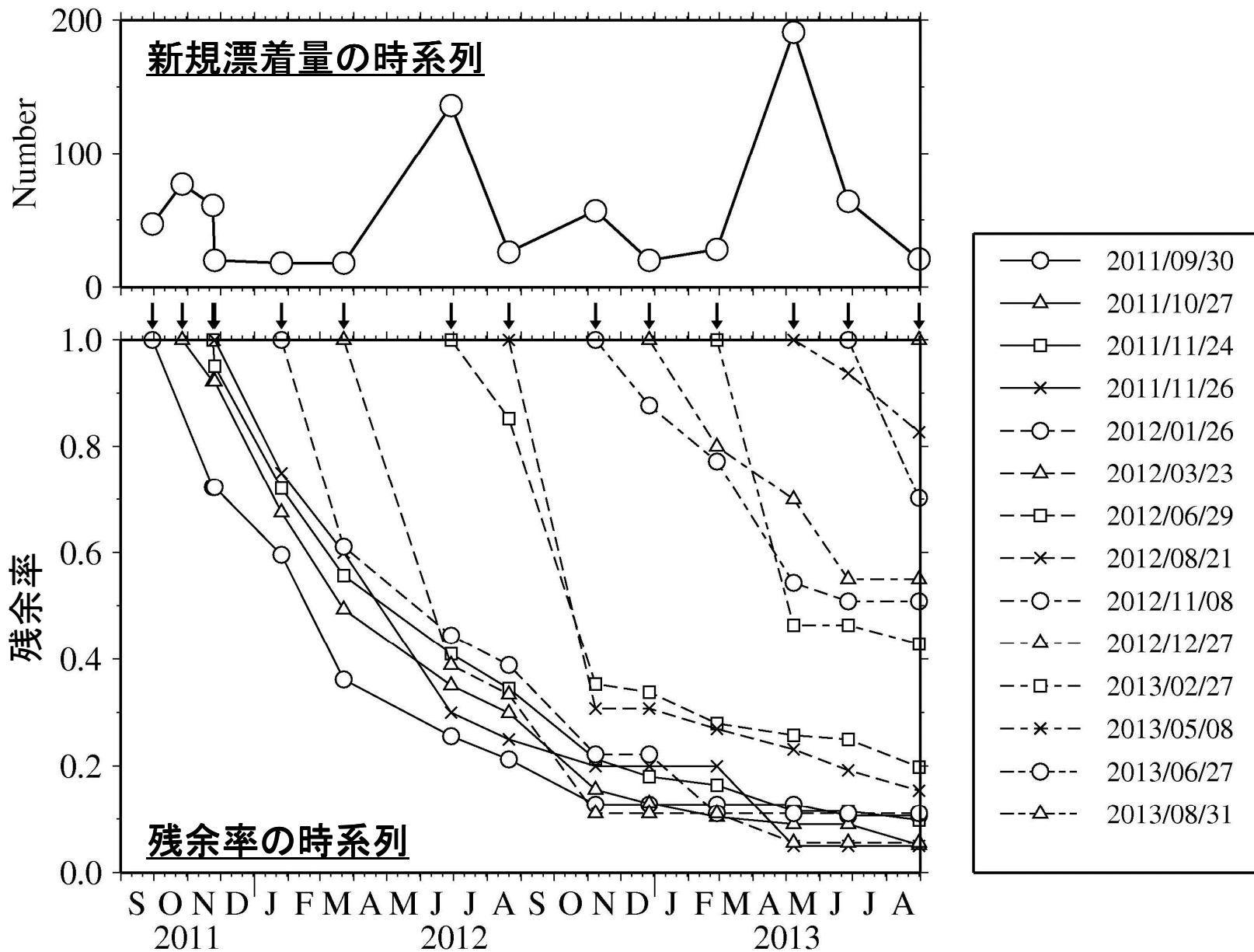
* 調査期間中に時化があり、ゴミの漂着分布が大きく変わったため、海ゴミ個体識別調査を2回実施

- 調査範囲：

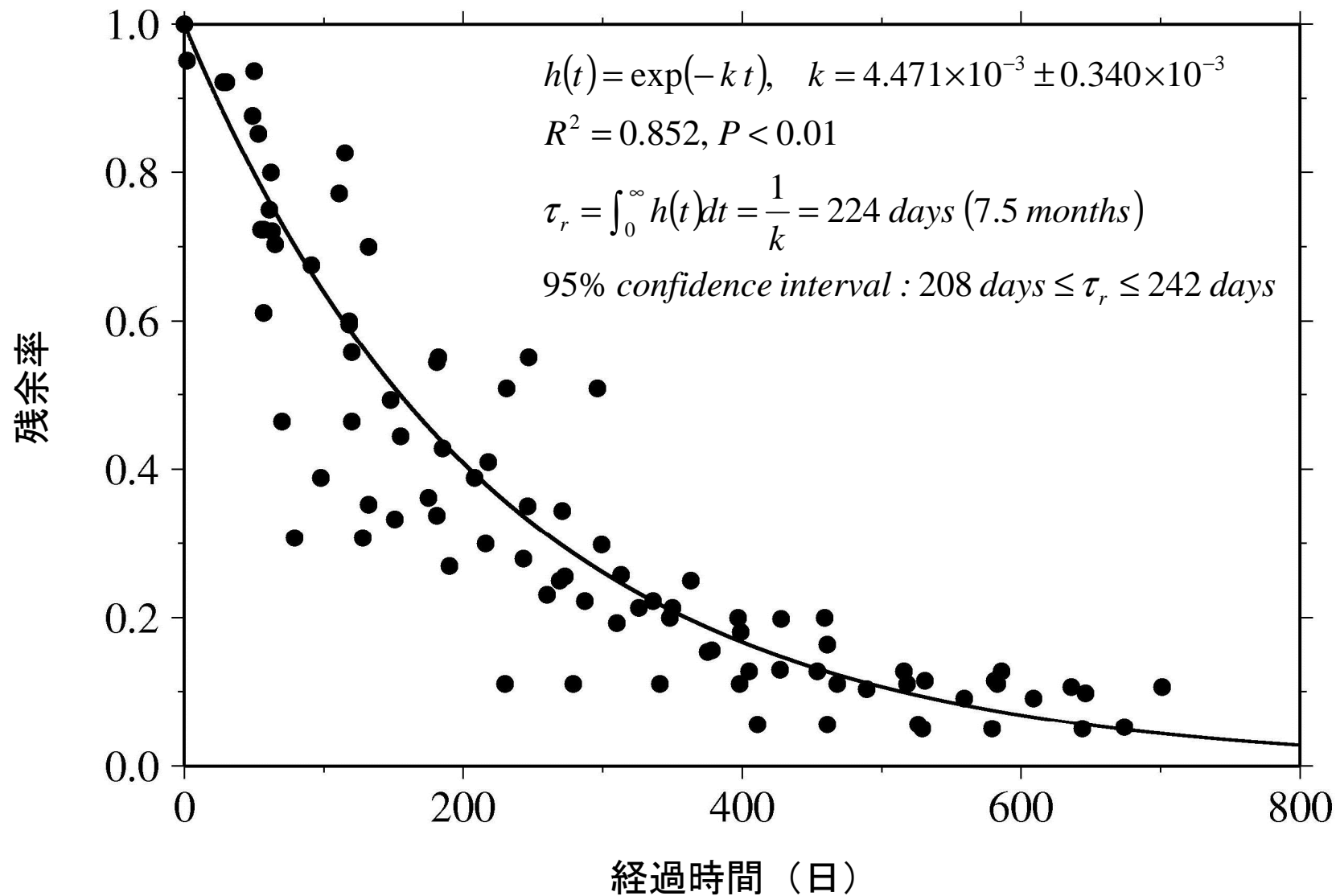
和田浜海岸全延長：約900 m



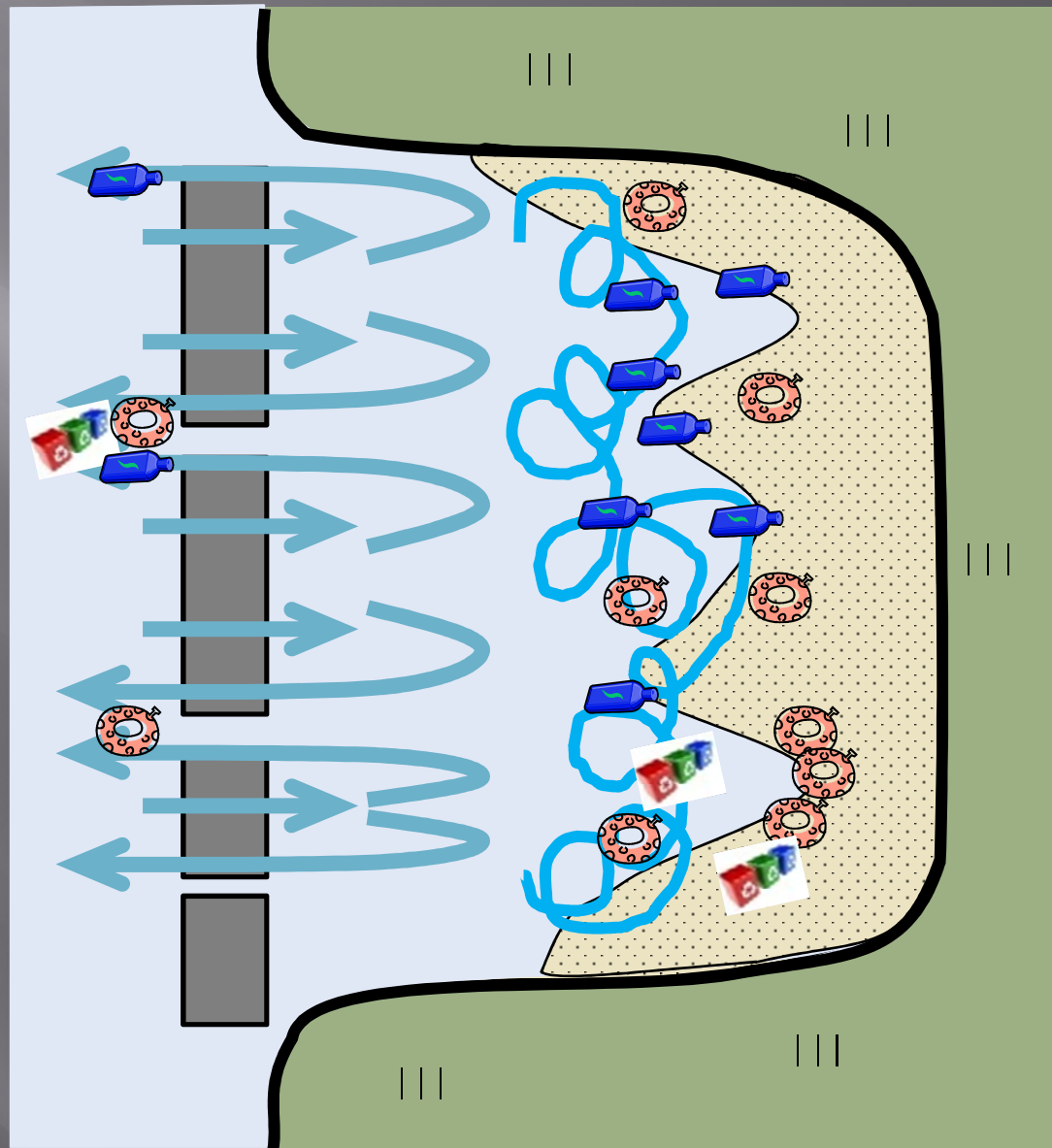
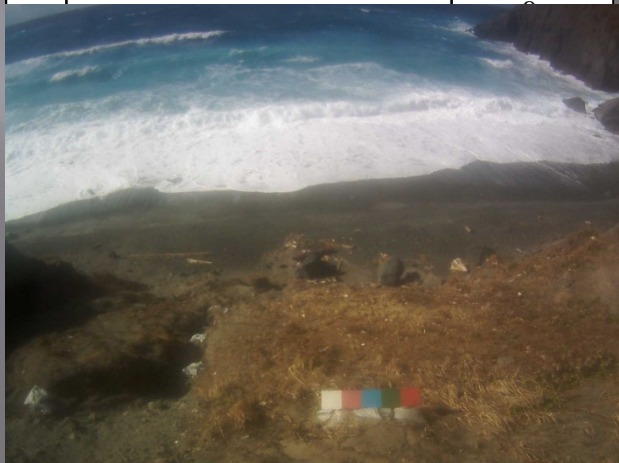
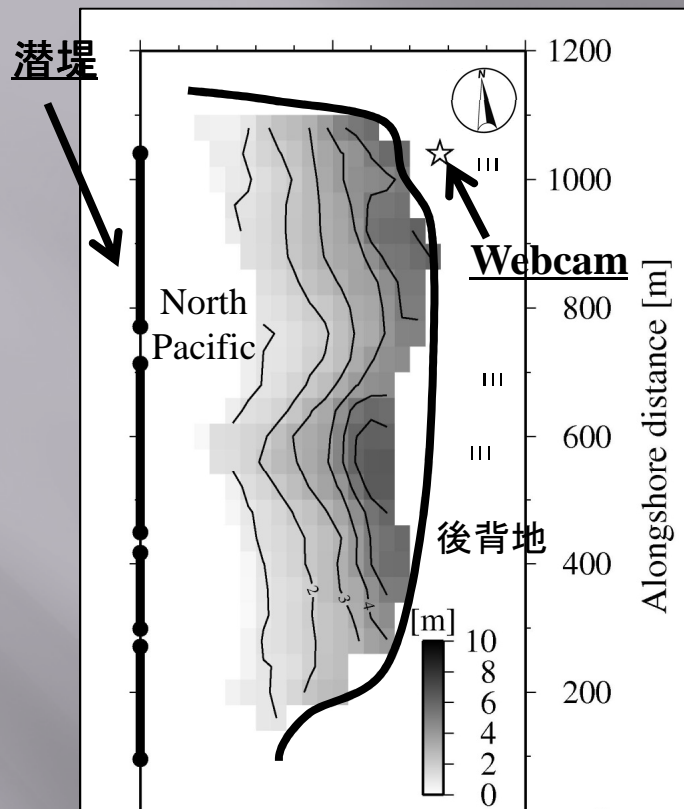
残余率の時系列




残余関数



波によるゴミの挙動と再漂流





Numerical models
(e.g. Kako et al., 2011)



線形応答

Time-domain

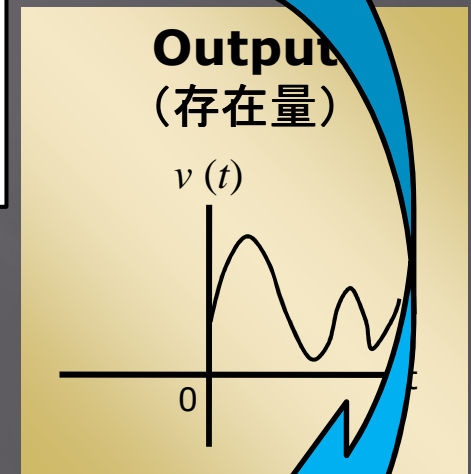
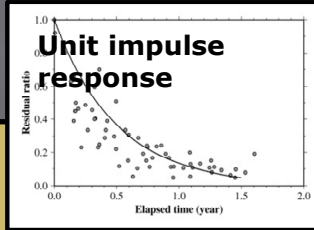
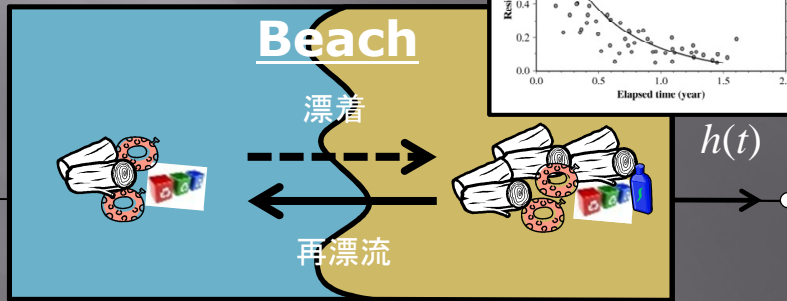
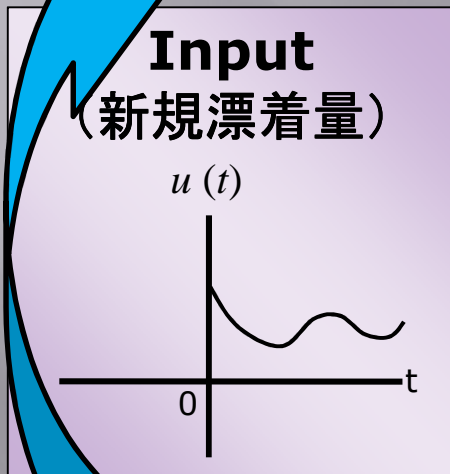


Webcam monitoring
(e.g. Kataoka et al., 2012)

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

$$v(t) = \int_{-\infty}^t u(\tau) h(t-\tau) d\tau$$

Fourier Transform



Inverse Fourier Transform

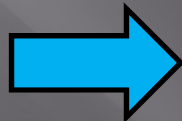
$$U(\omega) = \frac{V(\omega)}{H(\omega)}$$

Frequency-domain

$$V(\omega) = H(\omega)U(\omega)$$

System function

$$H(\omega) = \int_0^{\infty} h(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$



System characteristics

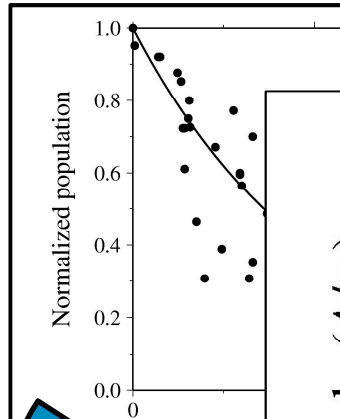
$$A(\omega) = \sqrt{\alpha^2(\omega) + \beta^2(\omega)}$$

$$\theta(\omega) = \tan^{-1} \left(\frac{\beta(\omega)}{\alpha(\omega)} \right)$$

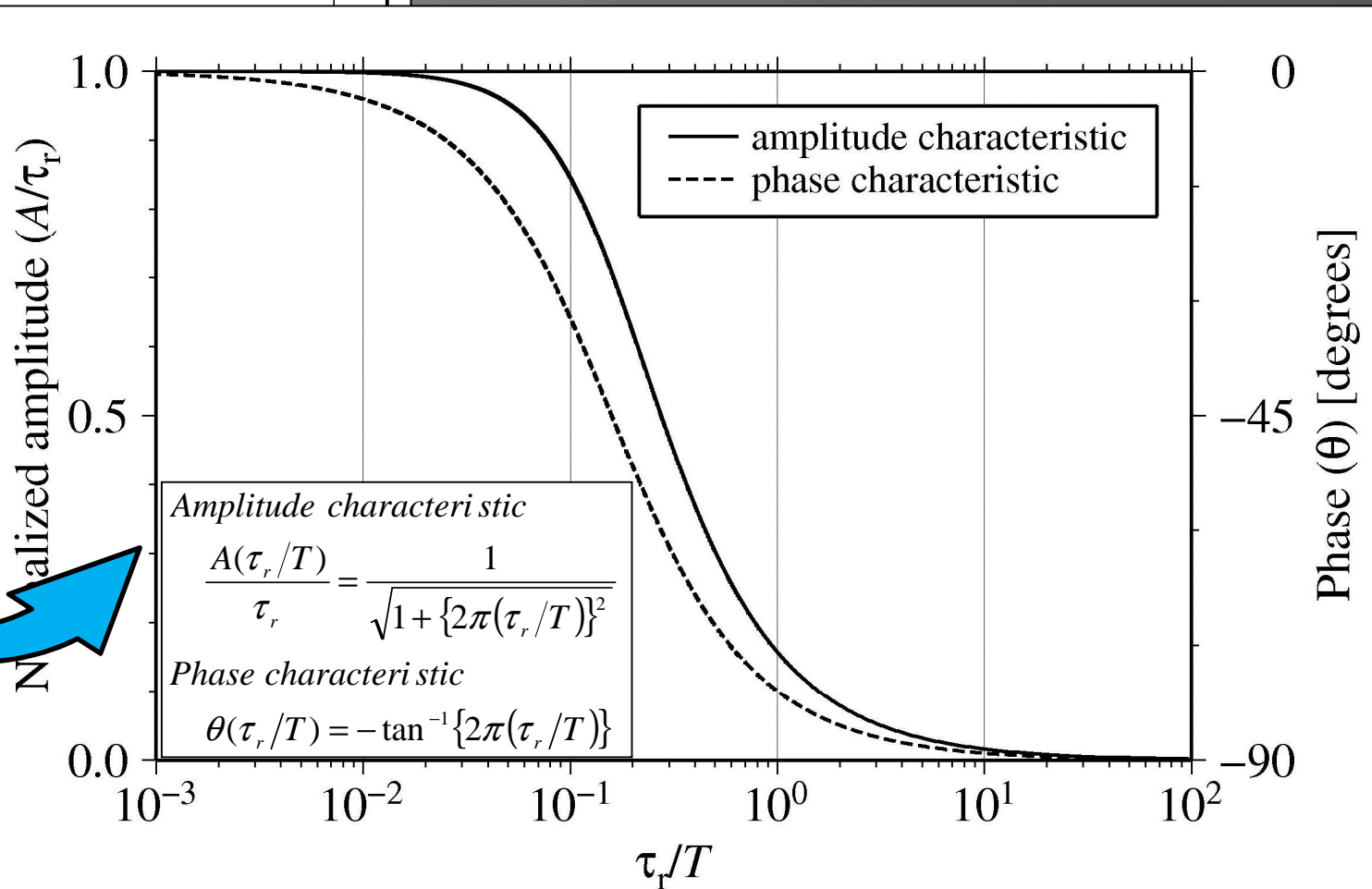
和田浜海岸のシステム特性

単位インパルス応答

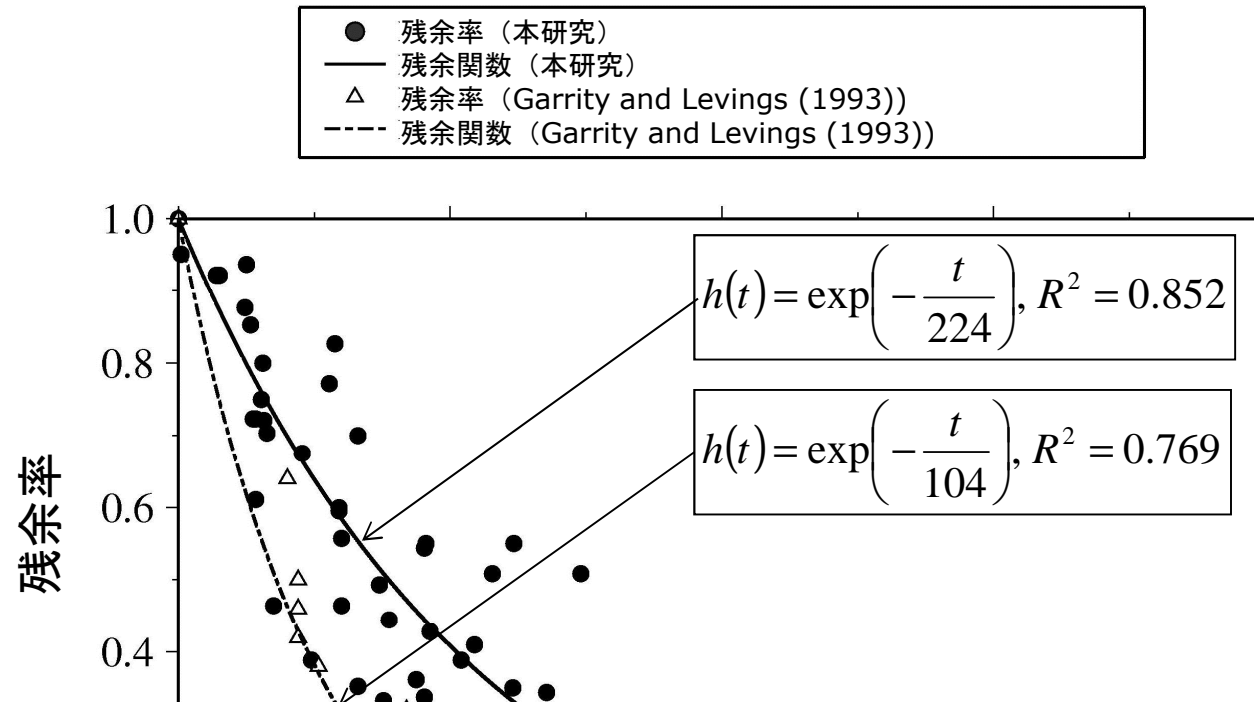
$$h(t) = \exp\left(-\frac{t}{224}\right)$$



Fourier Transform



カリブ海沿岸の4海岸 における残余関数との比較



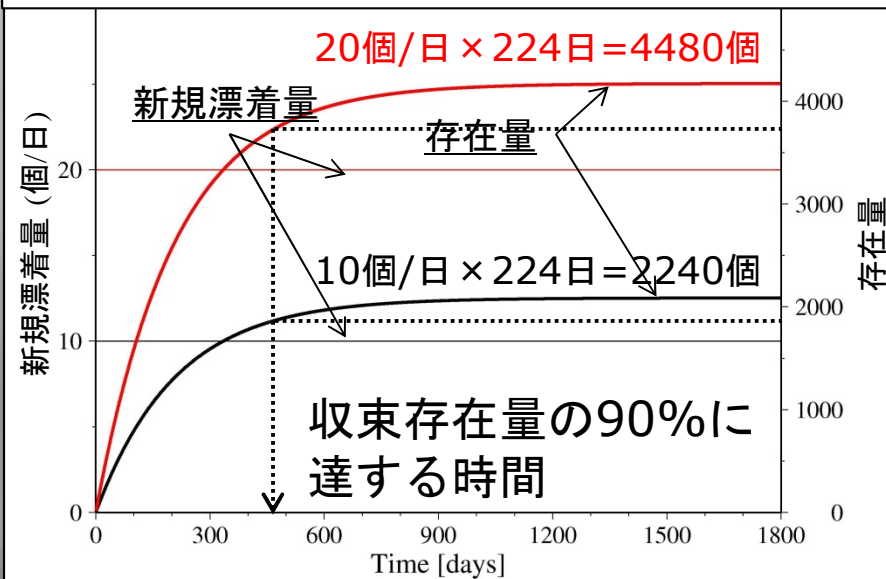
他の海岸-外洋間の入出力システム
→ 指数関数型のシステム特性をもつ
可能性あり

応答計算例

(新規漂着量が一定の場合)

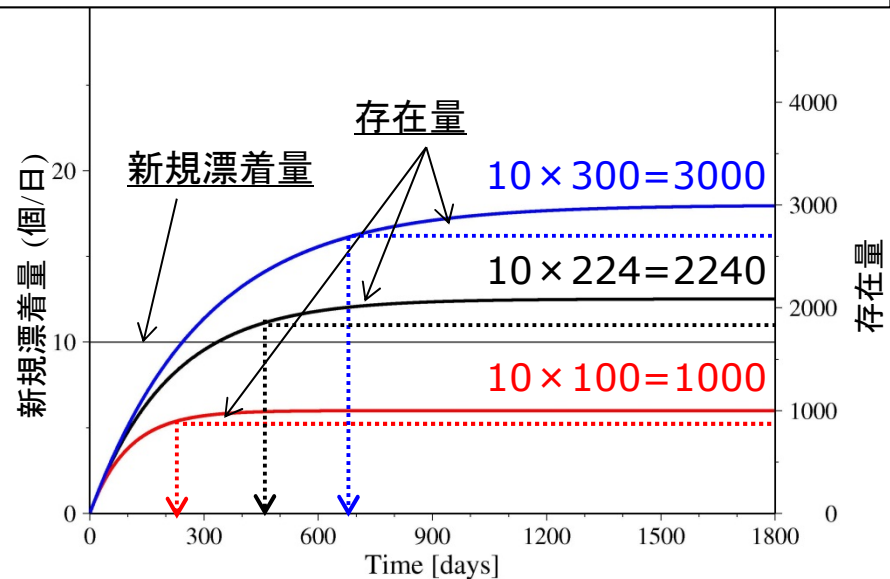
$$v(t) = \int_0^t u(\tau)h(t-\tau)d\tau = \int_0^t u_0 e^{-(t-\tau)/\tau_r} d\tau$$

黒：毎日10個のゴミが漂着する場合
赤：毎日20個のゴミが漂着する場合



- 存在量は[新規漂着量 × 滞留時間]の値に収束する
- 収束時間は新規漂着量に依らない

毎日10個のゴミが漂着する場合
黒：和田浜海岸（滞留時間：224日）
赤：滞留時間が100日の海岸
青：滞留時間が300日の海岸



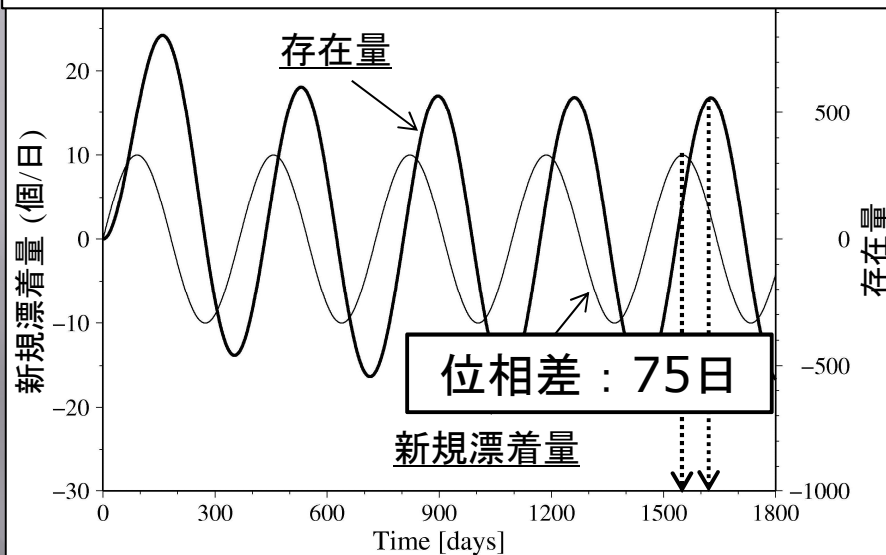
- 存在量の収束値と収束時間 → 滞留時間に依存
- 滞留時間が長い → 存在量の収束値：大，収束時間：長

応答計算例

(新規漂着量が周期的に変動する場合)

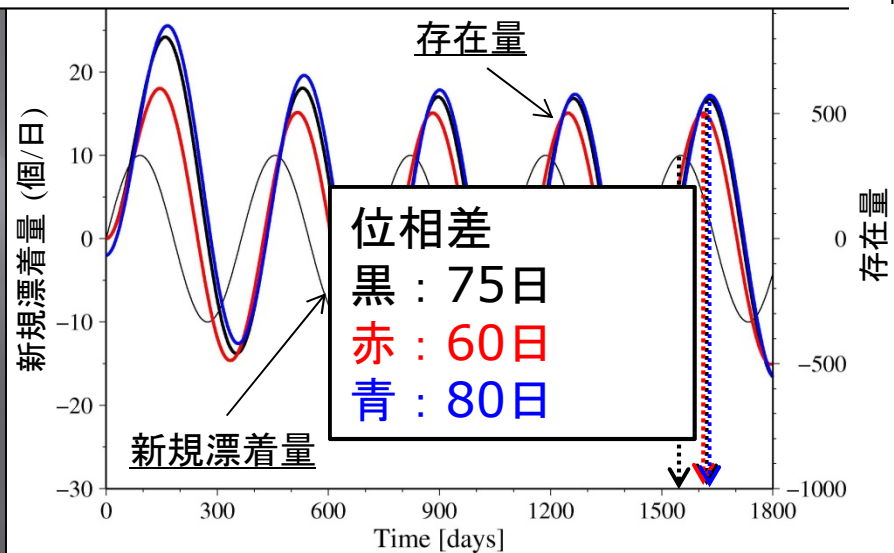
$$v(t) = \int_0^t u(\tau) h(t-\tau) d\tau = \int_0^t u_0 \sin(2\pi\tau/T) e^{-(t-\tau)/\tau_r} d\tau$$

季節変動する新規漂着量の場合
(振幅：10個，周期：365日)



- 存在量のピークは小さくなっていく
- 存在量のピーク時期は新規漂着量に比べ75日遅れる

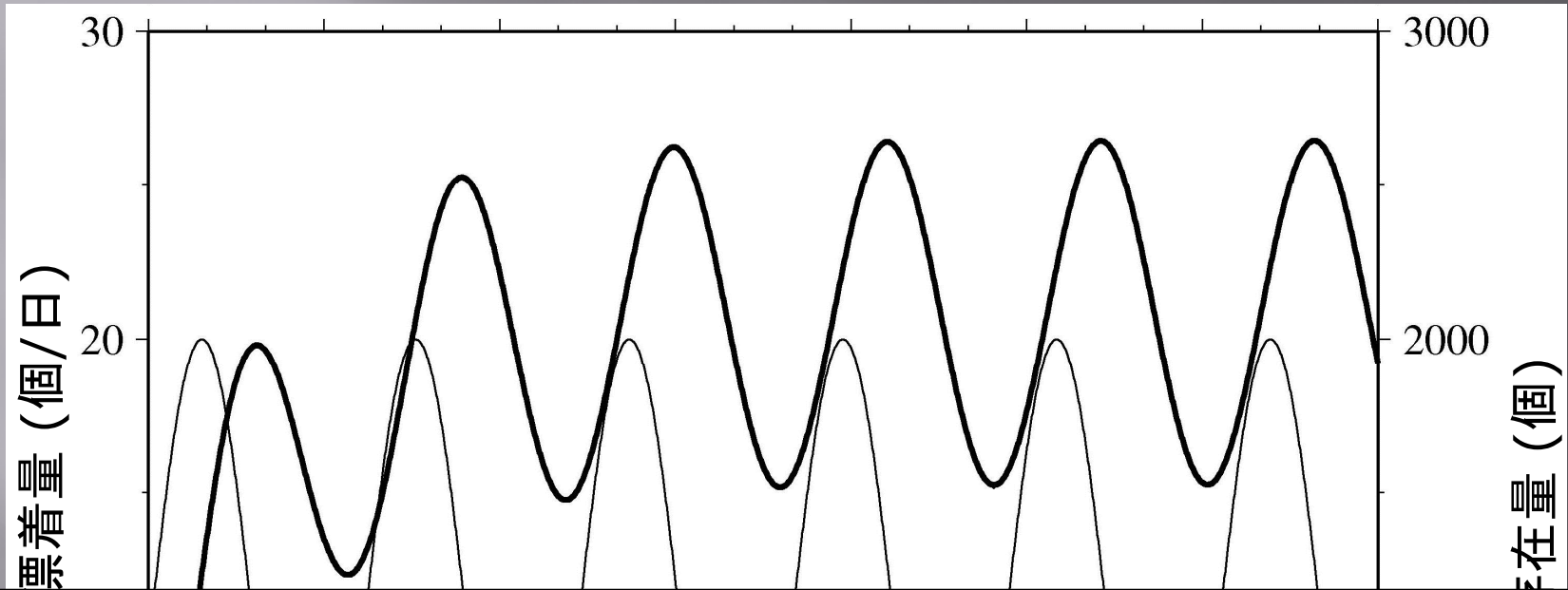
振幅が10個、周期が365日の場合
黒：和田浜海岸（滞留時間：224日）
赤：滞留時間が100日の海岸
青：滞留時間が300日の海岸



- 滞留時間が長い海岸
→ 存在量の振幅，新規漂着量と存在量の位相差：少し大

応答計算例（重ね合わせた新規漂着量）

$$v(t) = \int_0^t u(\tau)h(t-\tau)d\tau = \int_0^t (10 + 10 \sin(2\pi\tau/365))e^{-(t-\tau)/224} d\tau$$

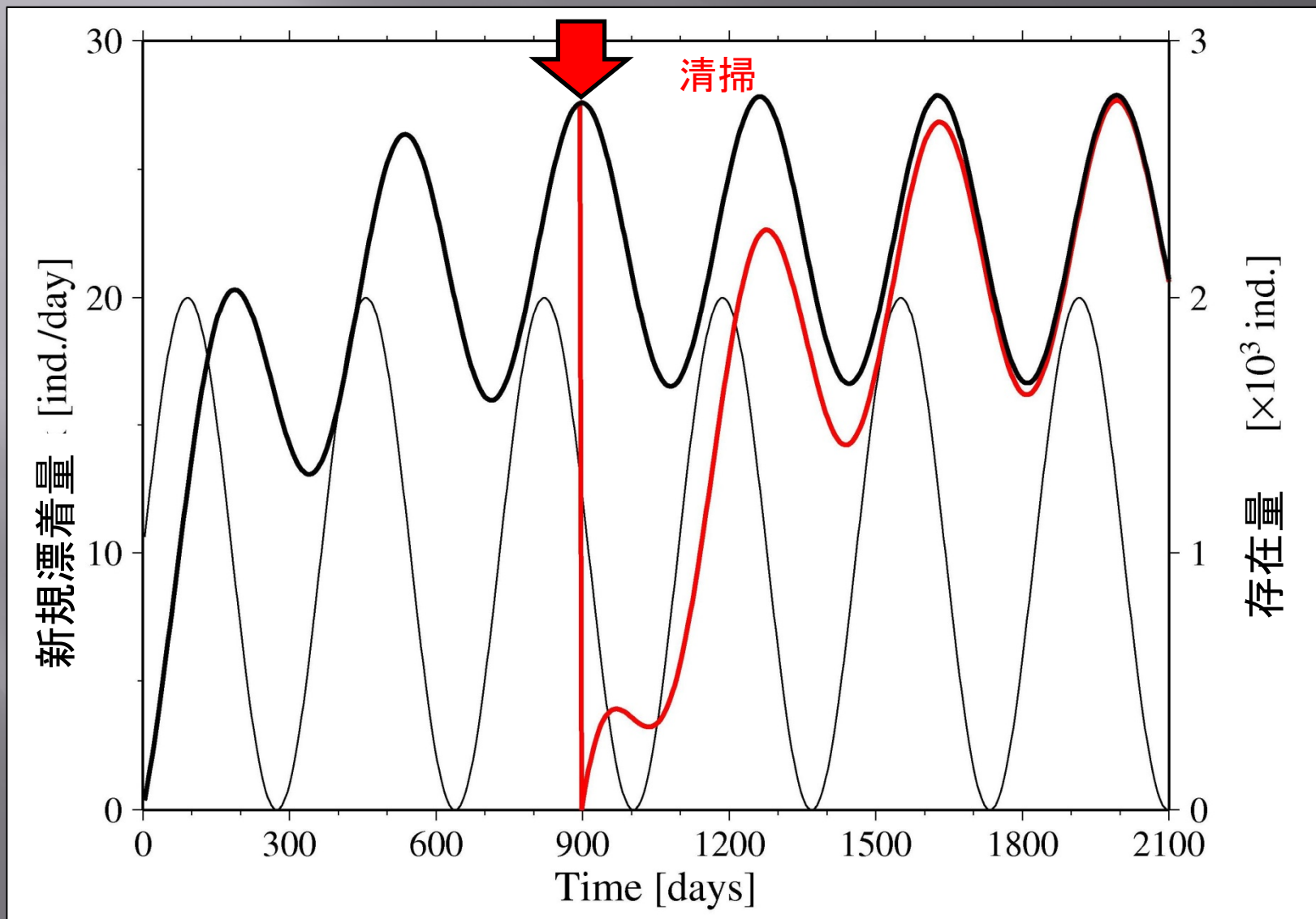


海岸のシステム特性がわかると...

- 様々なシナリオを持つインプットに対する海岸の応答“存在量”を予め調べることができる。
- 応答計算に基づいて効果的な海岸清掃の計画を立案することも可能となる

海岸清掃した場合の応答計算例

$$v(t) = \int_0^t u(\tau)h(t-\tau)d\tau = \int_0^t (10 + 10 \sin(2\pi\tau/365))e^{-(t-\tau)/224} d\tau$$



海岸清掃による3つの効果

□ 海岸の景観改善



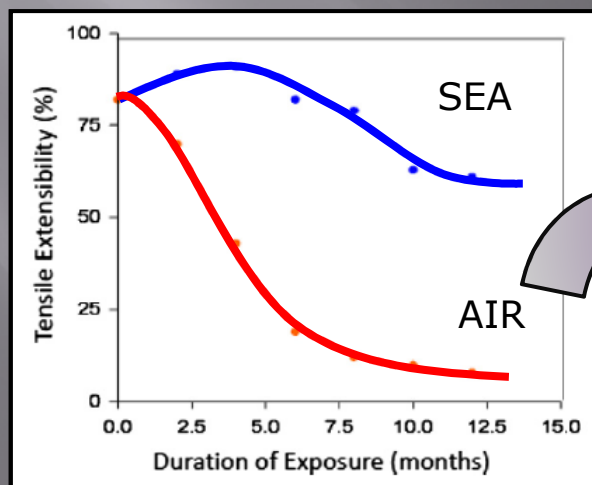
□ 海岸への重金属の溶出量の抑制



Nakashima et al.,
2012

プラスチックに含有する重金属が、降雨等によって溶出する

□ 微細プラスチックの発生量の抑制



プラスチックの耐性は海岸で著しく減少する
→ 海岸が微細プラスチックの主要な発生源



Andrady et al., 2011

海岸清掃効果の評価方法1 (海岸の景観改善)



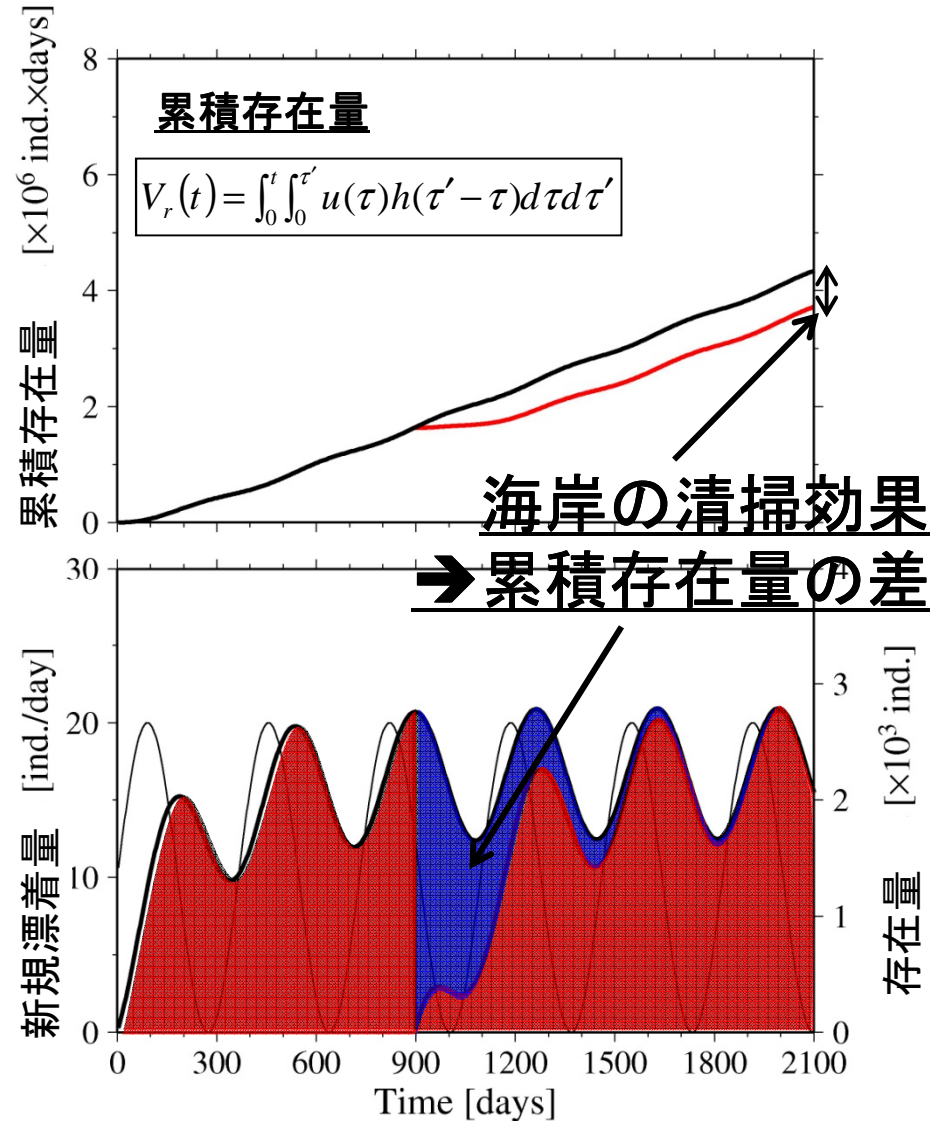
独自調査前 (第1回調査、

海岸清掃

清掃後、時間が経過すると...

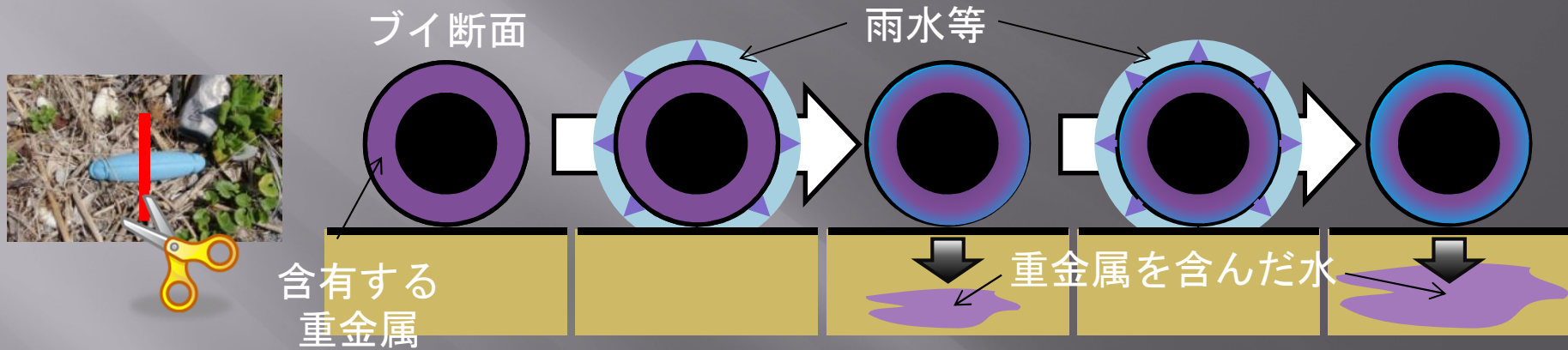


独自調査後 (第1回調査、越高海岸)



海岸への重金属の溶出量

プラスチックゴミから海岸への溶出過程
(Nakashima et al., 2012)



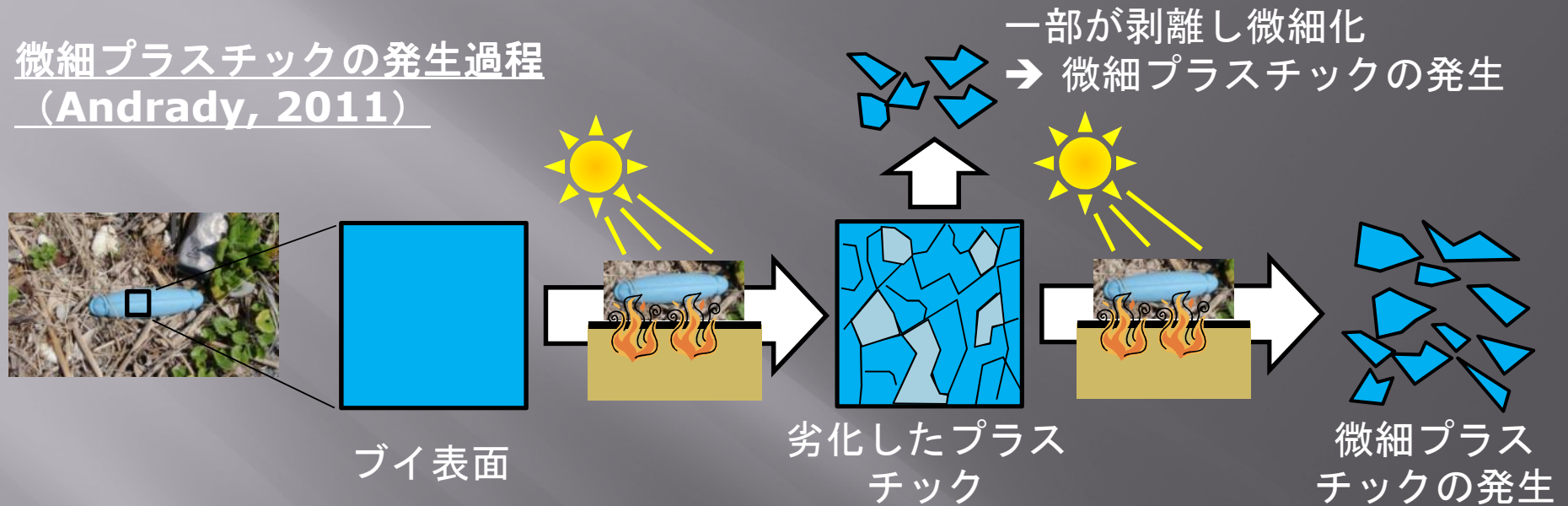
重金属の溶出量 v_{metal} の評価方法

海岸漂着ゴミからの重金属の溶出量 $v_{metal} =$
"1つのブイからの溶出Flux $f(t-\tau)$ " \times "海岸に居続ける時間 (年齢) $(t-\tau)$ "
 \times "ブイの残存量 $u(\tau) \times h(t-\tau)$ "

$$v_{metal}(t) = \int_0^t f(t-\tau) \cdot (t-\tau) \cdot u(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau$$

微細プラスチックの発生量

微細プラスチックの発生過程 (Andrady, 2011)



微細プラスチックの発生量 v_{micro} の評価方法

微細プラスチックの発生量 $v_{micro} =$

"1つのゴミからの微細プラスチックの発生確率 $P(t-\tau)$ " × "海岸に居続ける時間 (年齢) $(t-\tau)$ " × "ゴミの残存量 $u(\tau) \times h(t-\tau)$ "

$$v_{micro}(t) = \int_0^t P(t-\tau) \cdot u(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau$$

海岸清掃効果の評価方法2

(海岸での重金属溶出量や微細プラスチック発生量)

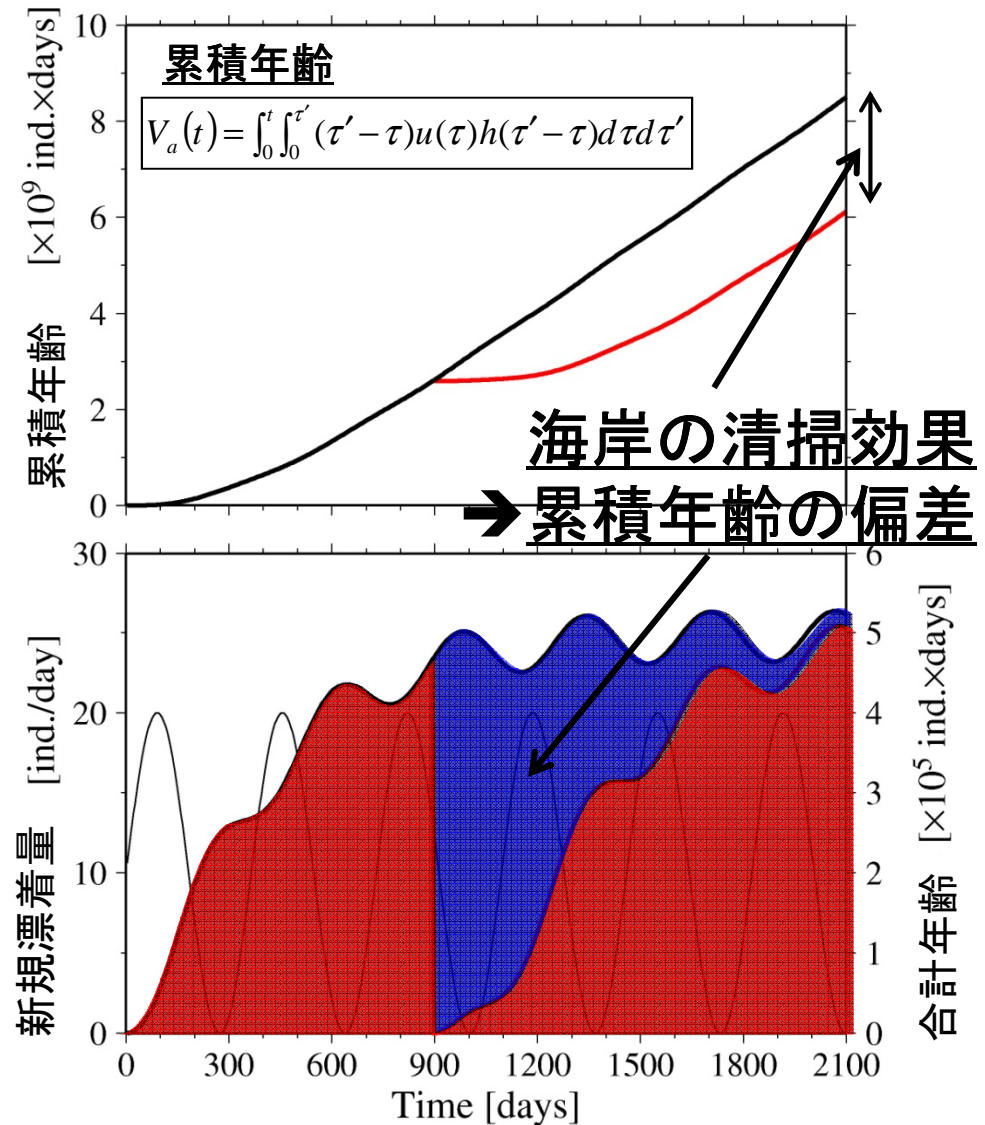
〈海岸への重金属の溶出量〉
溶出Fluxを時間に対して一定であると仮定すると： $f(t-\tau)=f_0$

$$v_{metal}(t) = f_0 \int_0^t (t-\tau) \cdot u(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau$$

〈微細プラスチックの発生量〉
微細プラスチックの発生確率を海岸での年齢に比例すると仮定すると：
 $P(t-\tau)=k(t-\tau)$

$$v_{micro}(t) = k \int_0^t (t-\tau) \cdot u(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau$$

何れも海岸に漂着しているゴミの合計年齢によって評価できる。



周期的な海岸清掃による効果

— No beach clearance
— Regular beach clearance

滞留時間 τ_r : 224日
新規漂着量の周期 T_0 : 365日

累積年齢

$$V_a(t) = \int_0^t \int_0^{\tau'} (\tau' - \tau) u(\tau) h(\tau' - \tau) d\tau d\tau'$$

新規漂着量

合計年齢

$$v_a(t) = \int_0^t (t - \tau) u(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

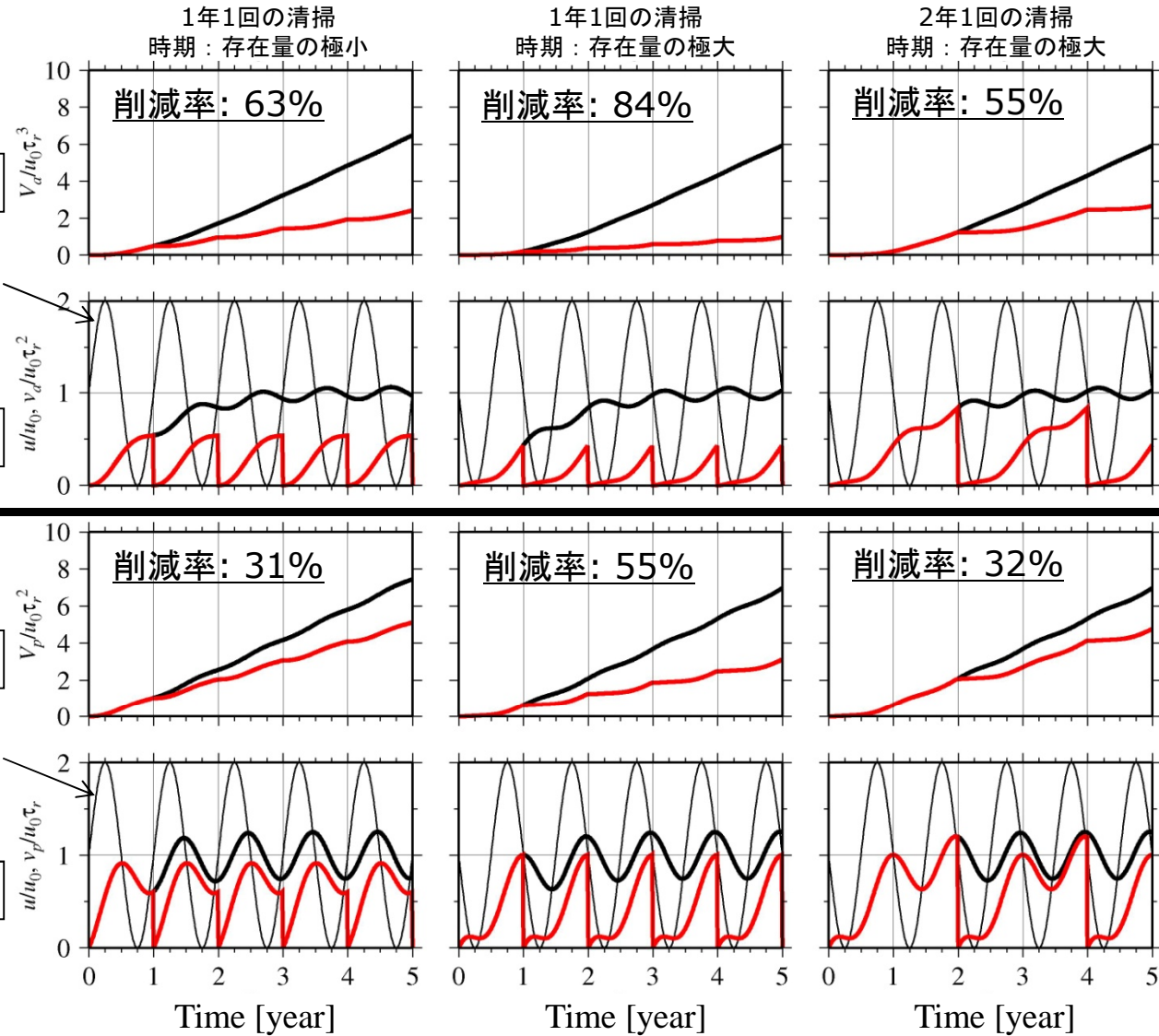
累積存在量

$$V_r(t) = \int_0^t \int_0^{\tau'} u(\tau) h(\tau' - \tau) d\tau d\tau'$$

新規漂着量

存在量

$$v_r(t) = \int_0^t u(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

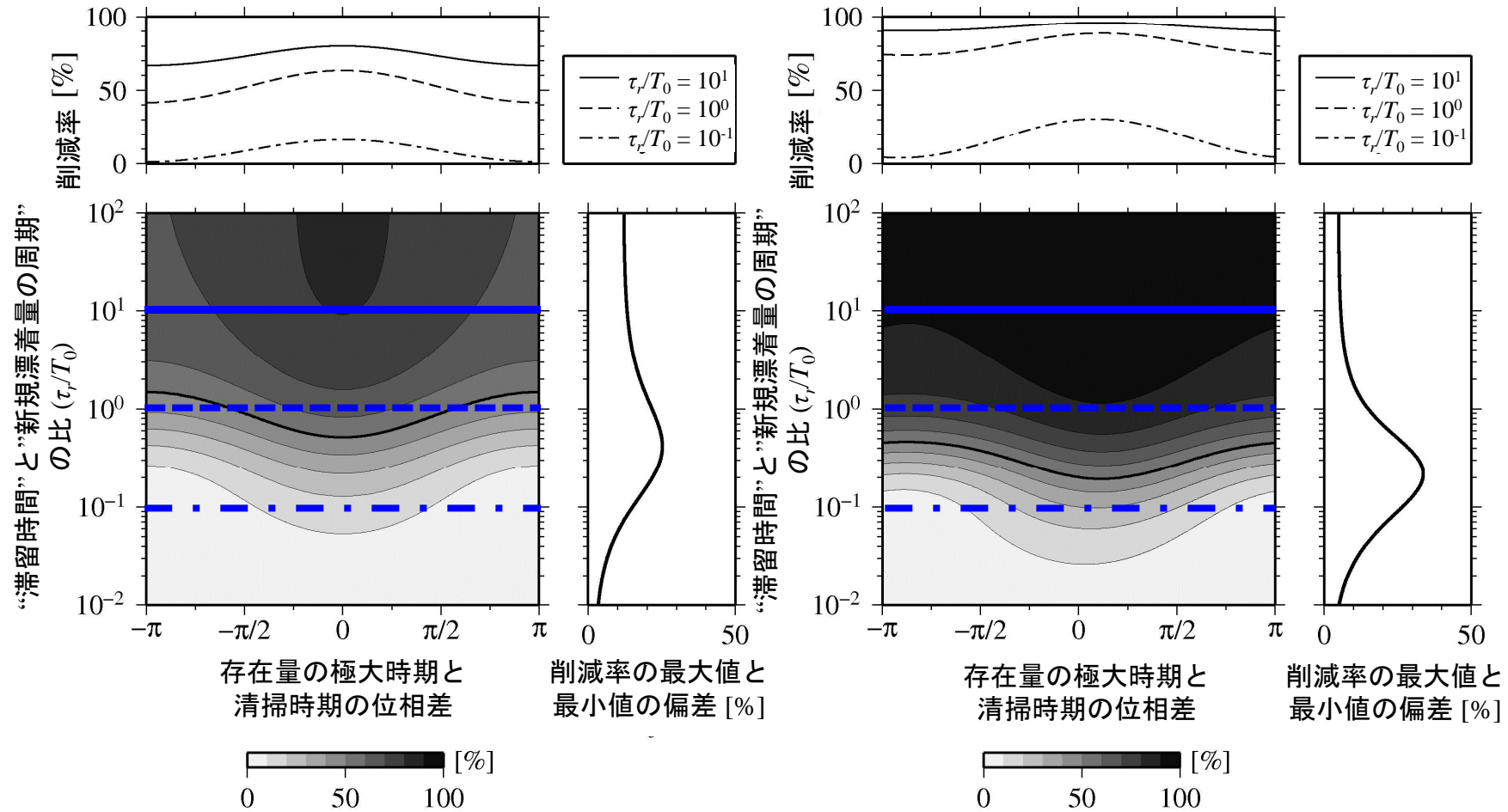


清掃効果の滞留時間依存性

1年周期で5年間清掃した場合の効果

存在量

年齢



まとめ

- 新島和田浜海岸での漁業用ブイの滞留時間
 - 224日 (208日 - 242日)
- 海岸上のブイの残余率の時間変化
 - 残余率の時間変化は、指数関数で近似できる
 - "存在量"は"新規漂着量"に対する線形応答
- ゴミの"存在量"に関する海岸の線形システム特性 ("新規漂着量"に対する"存在量"の増幅特性と位相特性)
 - 滞留時間と新規漂着量の周期に依存する
 - τ_r/T_0 が小さい: 増幅率は τ_r に近づき、位相差は0度に近づく
 - τ_r/T_0 が大きい: 増幅率は0に近づき、位相差は90度に近づく
- 海岸清掃の効果 (景観改善・重金属の溶出抑制・微細プラスチックの発生抑制)
 - 清掃時期に依存し、存在量の極大時期における清掃が効果的
 - 滞留時間が (新規漂着量の周期より) 長い海岸での清掃が効果的
 - $\tau_r/T_0 \geq 10^0$: 清掃効果が高く、清掃時期に対する効果の依存性が低い
 - $10^{-1} < \tau_r/T_0 < 10^0$: 清掃効果が低く、清掃時期に対する効果の依存性が高い
 - $10^{-2} < \tau_r/T_0 < 10^{-1}$: 清掃効果が著しく低い

ご静聴ありがとうございました

Acknowledgement:

本研究は、環境省環境研究総合推進費（B-1007, 平成22～24年度）及び科研費（25820234, 平成25-27年度）の助成を受けて実施しています。