

破壊をもたらす環境場とマイクロプラスチックの生成
を繋ぐ物理モデリング
～海が持つ除去プロセスの理解に向けて

青木 邦弘、古惠 亮、Ettore Barbieri、丸岡 敬和
(海洋研究開発機構)

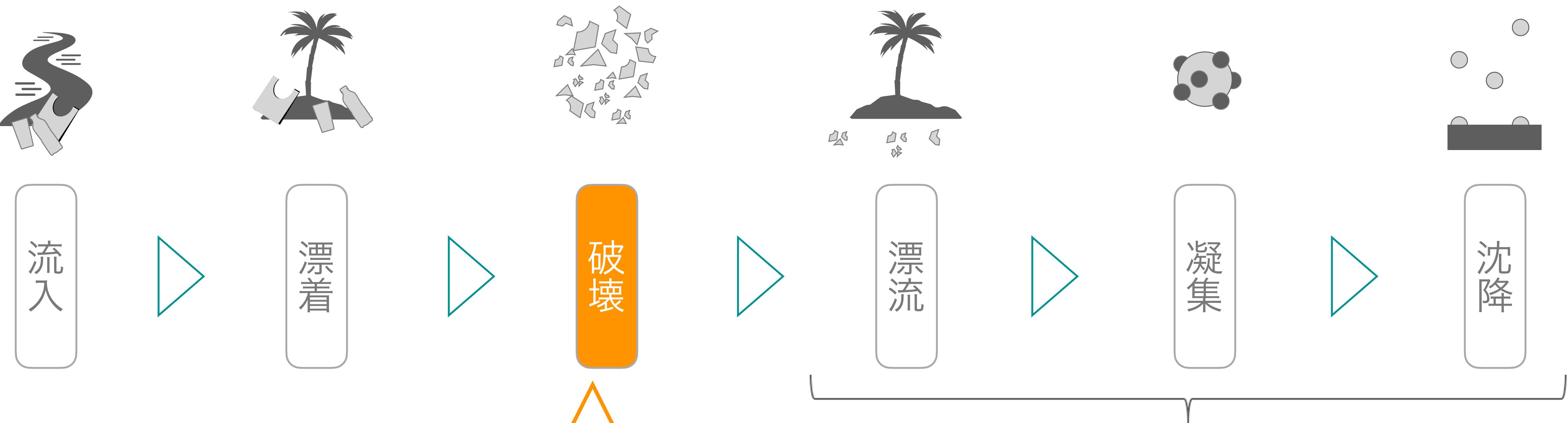
スライドの構成と文献について

本スライドは、マイクロプラスチックのサイズ分布に関する拙著に基づいて構成されている。

Aoki K., and R. Furue (2021): A model for the size distribution of marine microplastics: a statistical mechanics approach, PLOS ONE, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259781>

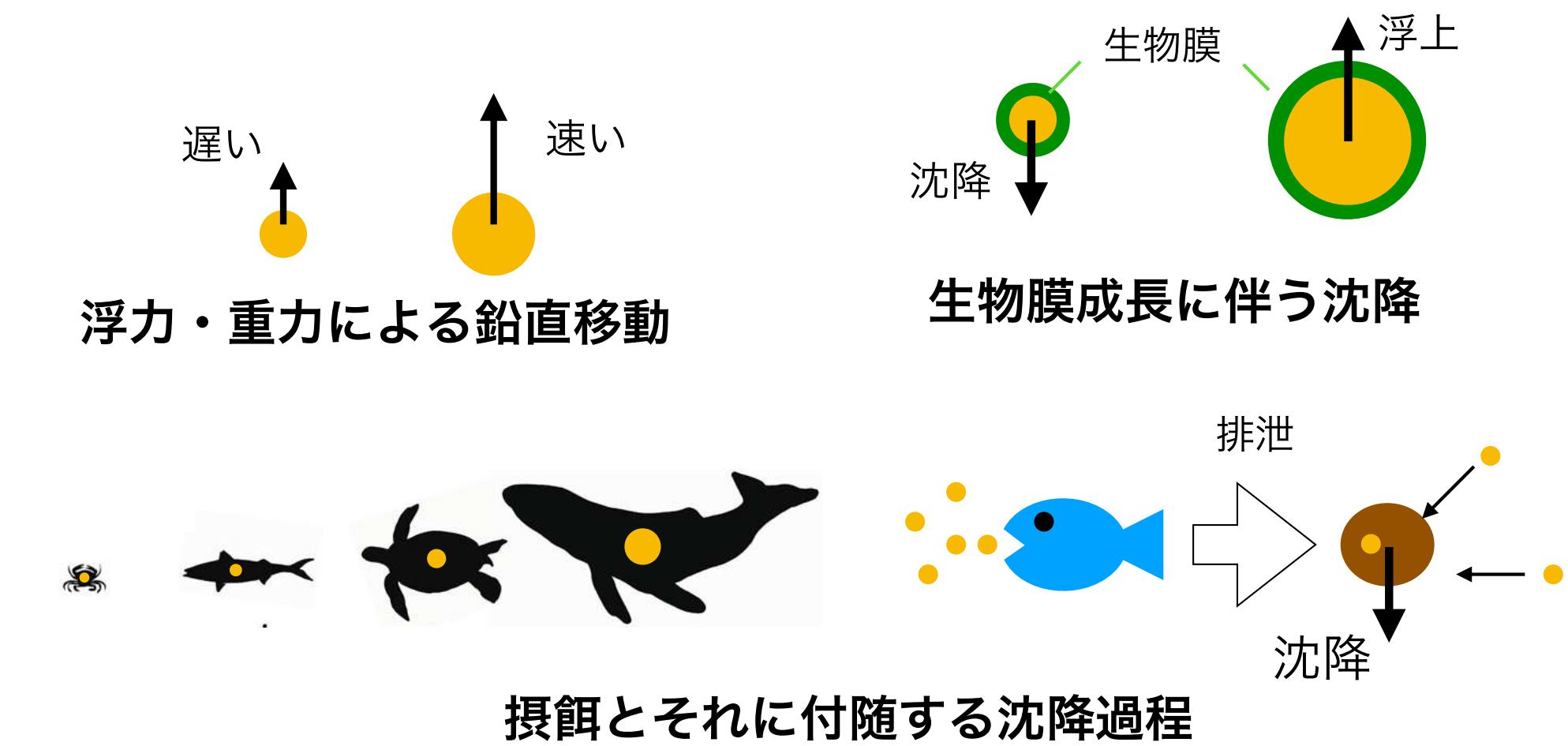
そのため、海洋プラスチック研究はじめ、高分子や破壊に関する話題は、本論文に関係する(しそうな)ものだけに限られていることご了承いただきたい。上記論文および引用文献についてはスライドの中でリンクを貼っておいた。スペースの都合上、引用文献には、極力、レビュー論文や教科書を挙げてある。各専門領域で重要なオリジナル文献にはそこから辿っていくことができると思う。また、そのいくつかは上記論文の中でも引用しているので参考にされたい。以上、文献収集の際の参考になれば幸いである。

海洋プラスチック変遷の概観



Question

破壊によって、
どのサイズの破片が
何個生成されるか？

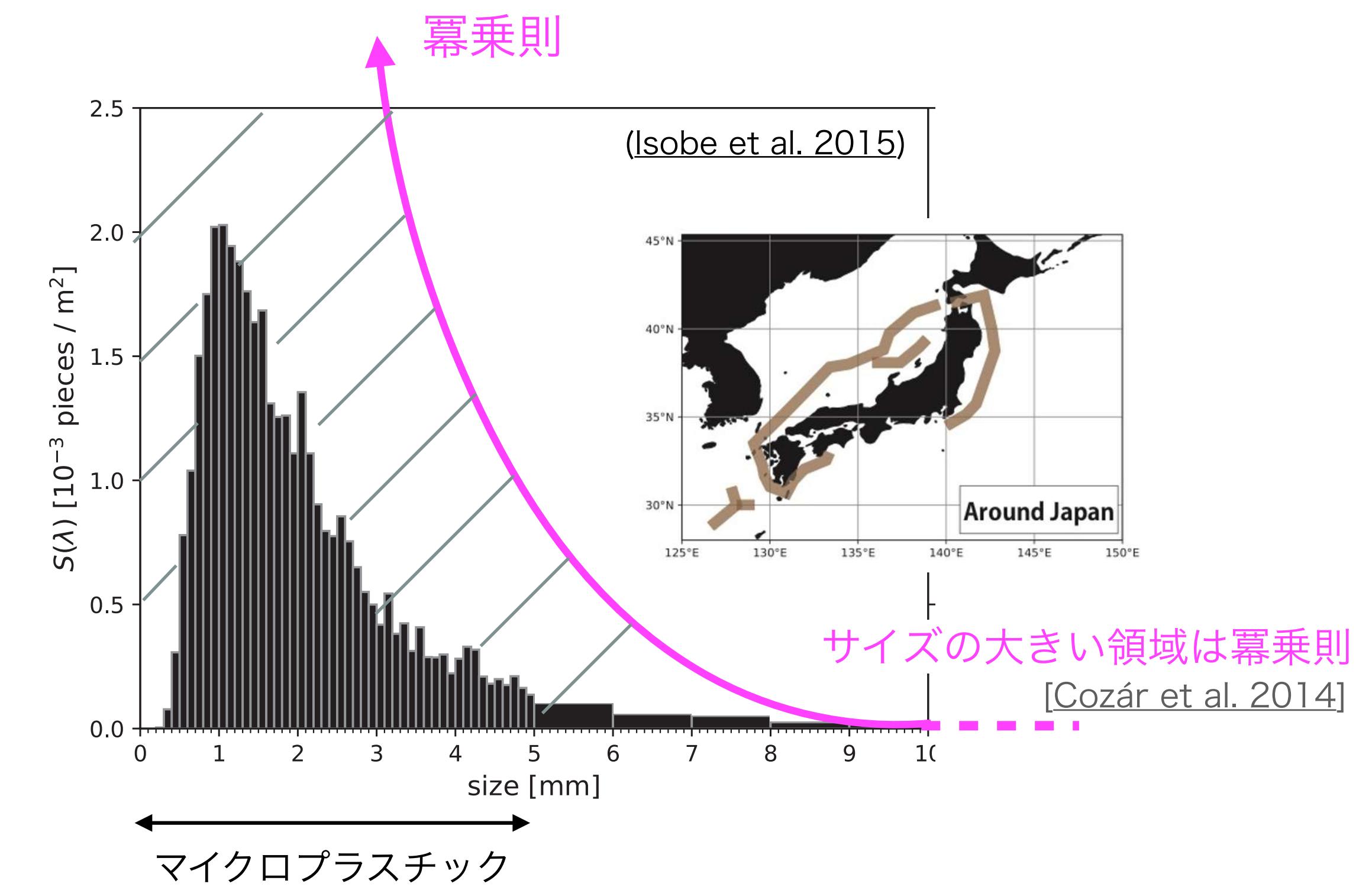
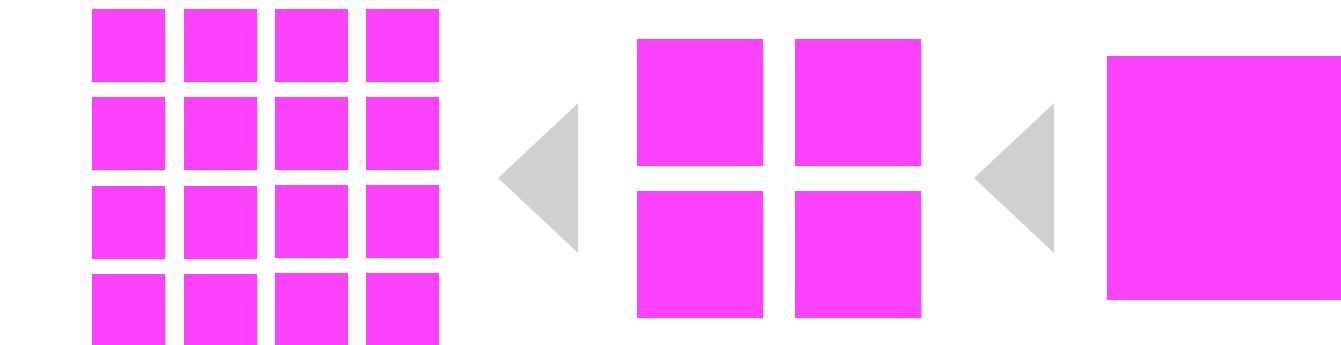


(e.g., van Sebille et al. 2020)

マイクロプラスチックのサイズ分布(粒径分布)



[撮影：青木・藤元 (於 かいめい航海)]

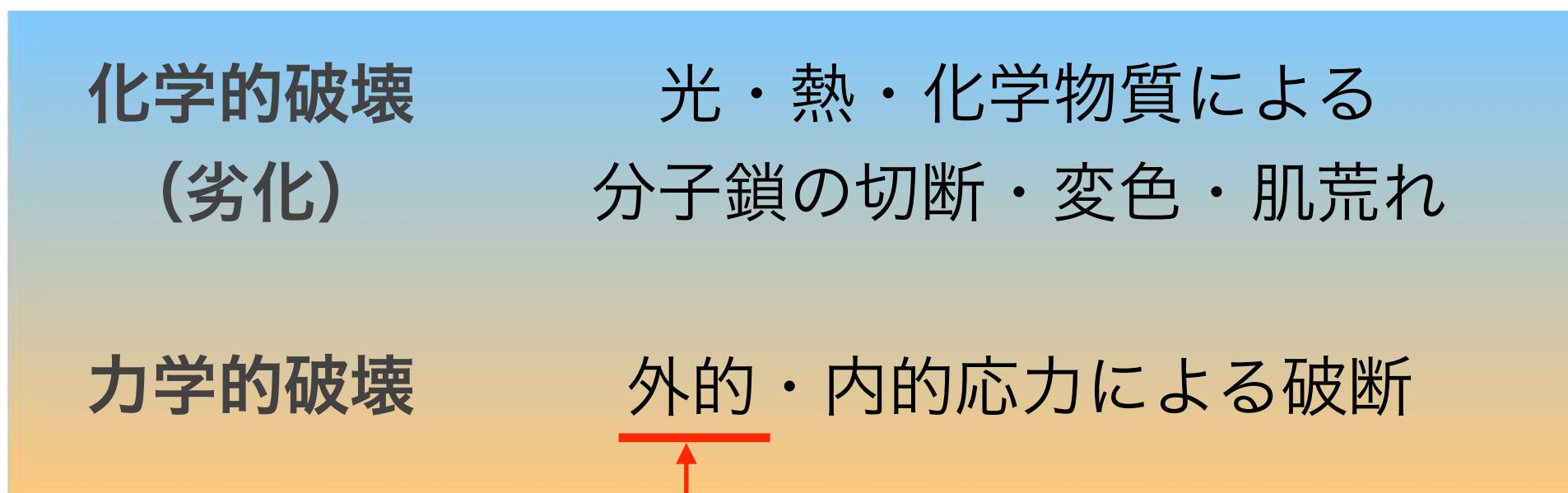


環境場とマイクロプラスチックの生成

“紫外線等によって劣化し、
波などの物理的衝撃によって破壊される”

——マイクロプラスチックの生成についての一般的見解

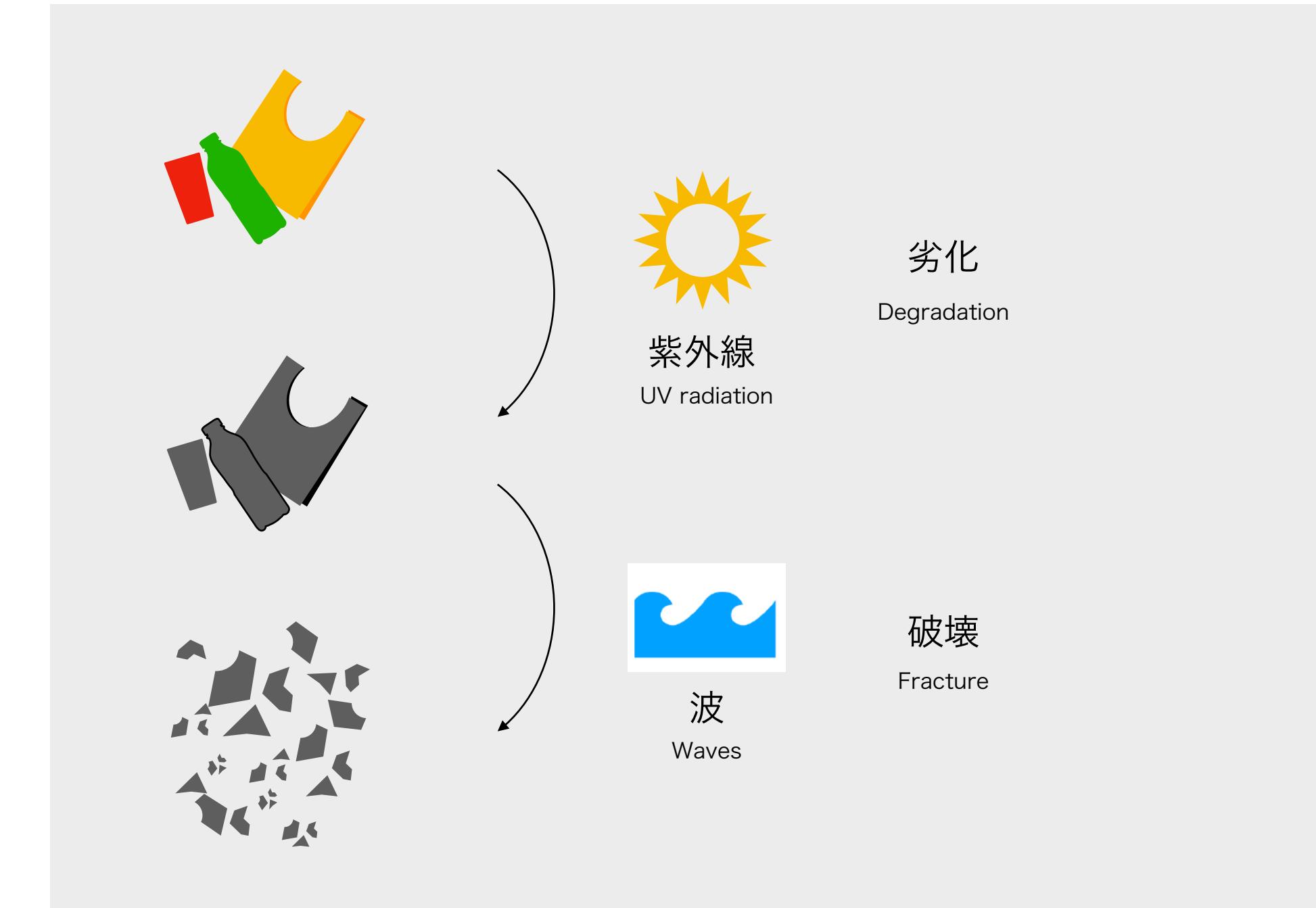
● 劣化と破壊



● 物理的衝撃といつても..

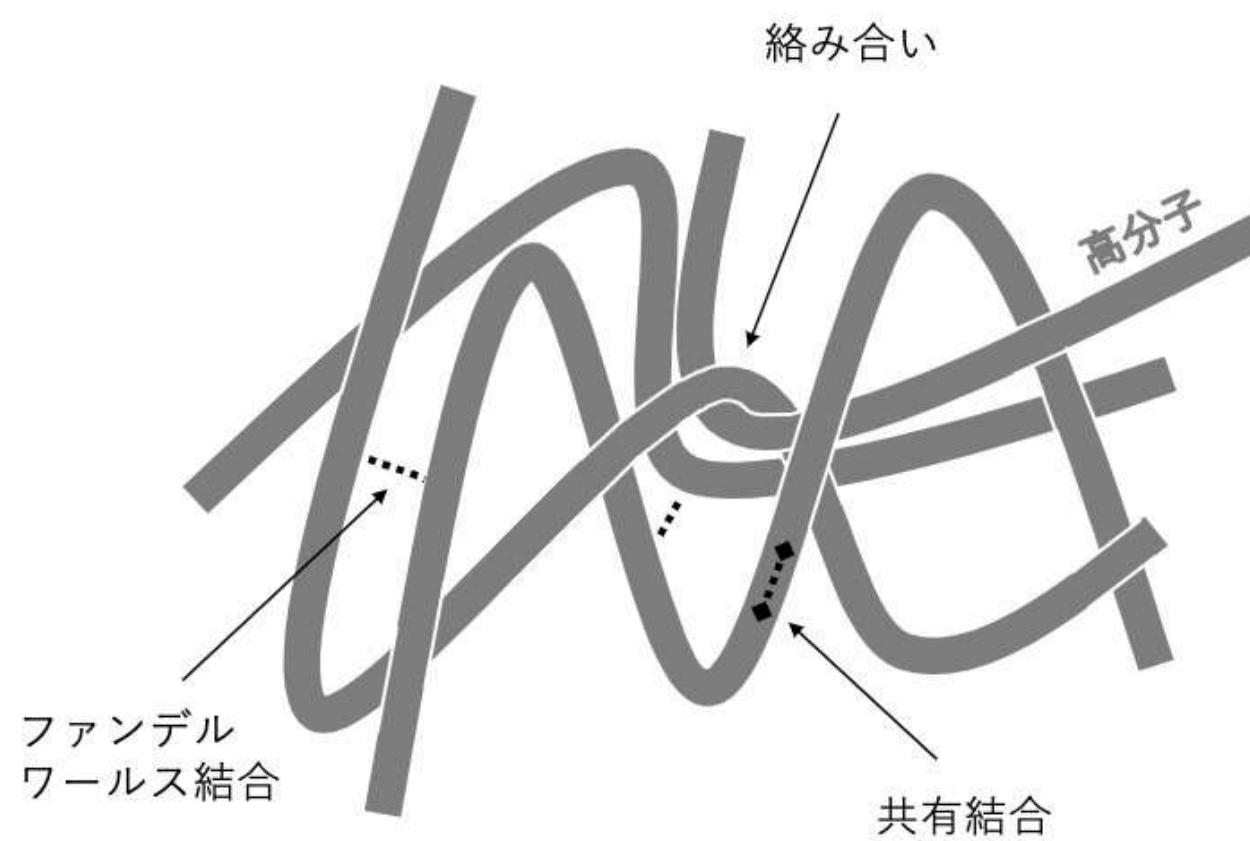
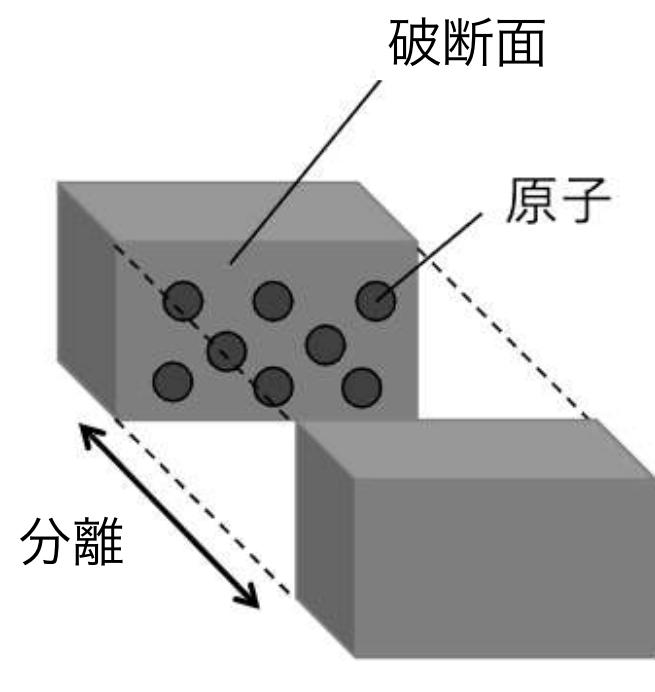
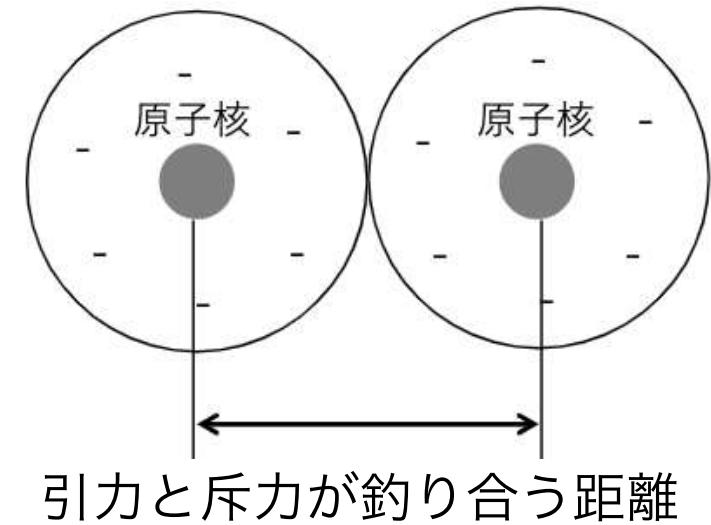
- ・プラスチックの置かれた状況に依る(例. 砂/岩礁)
- ・プラスチックの素材や形状に依る

これらに依らないモデリングが必要



一回のサンプリングで得られた様々な種類のプラスチック(於 かいめい航海)

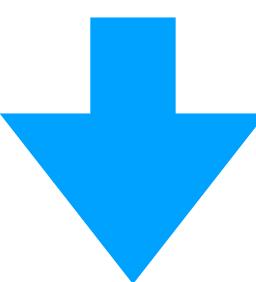
エネルギーという視点



破壊

結合エネルギー以上の「力」で物体を切斷すること

今知りたいのはこれ



表面エネルギー

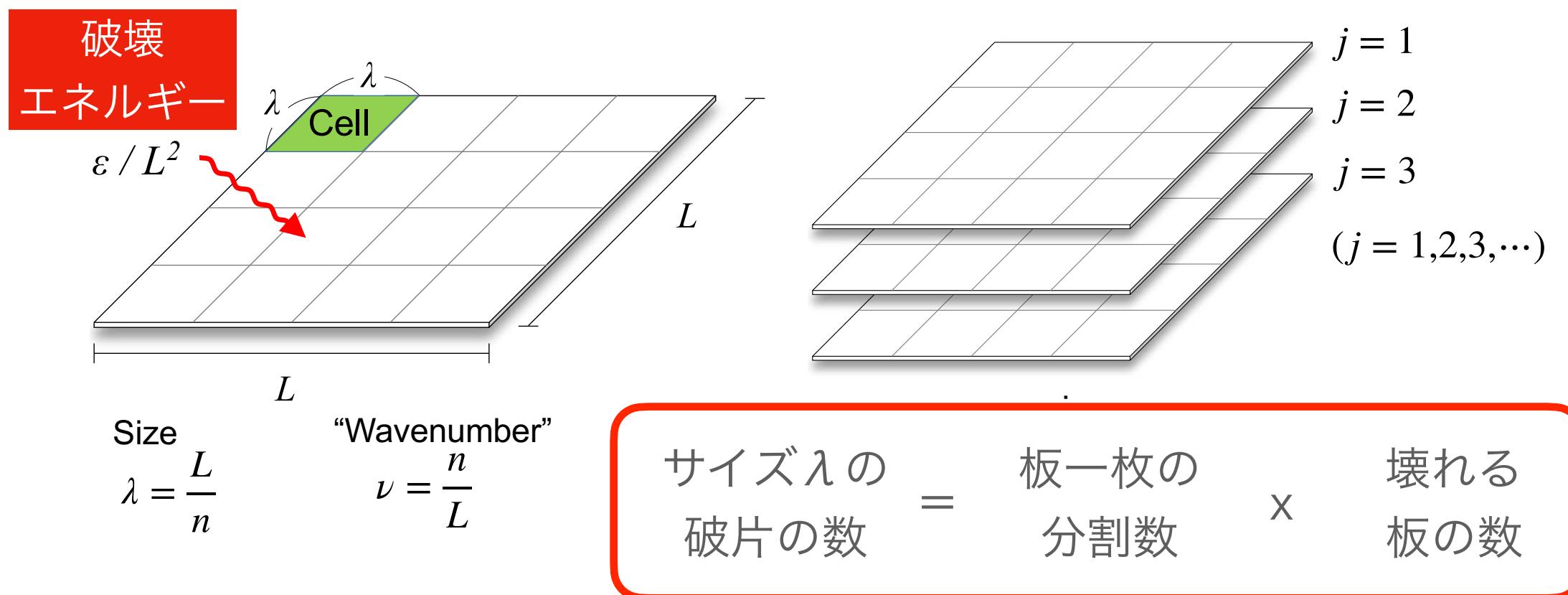
(破壊に必要な下限として)

破壊に必要なエネルギーは、
表面エネルギーで定義できる

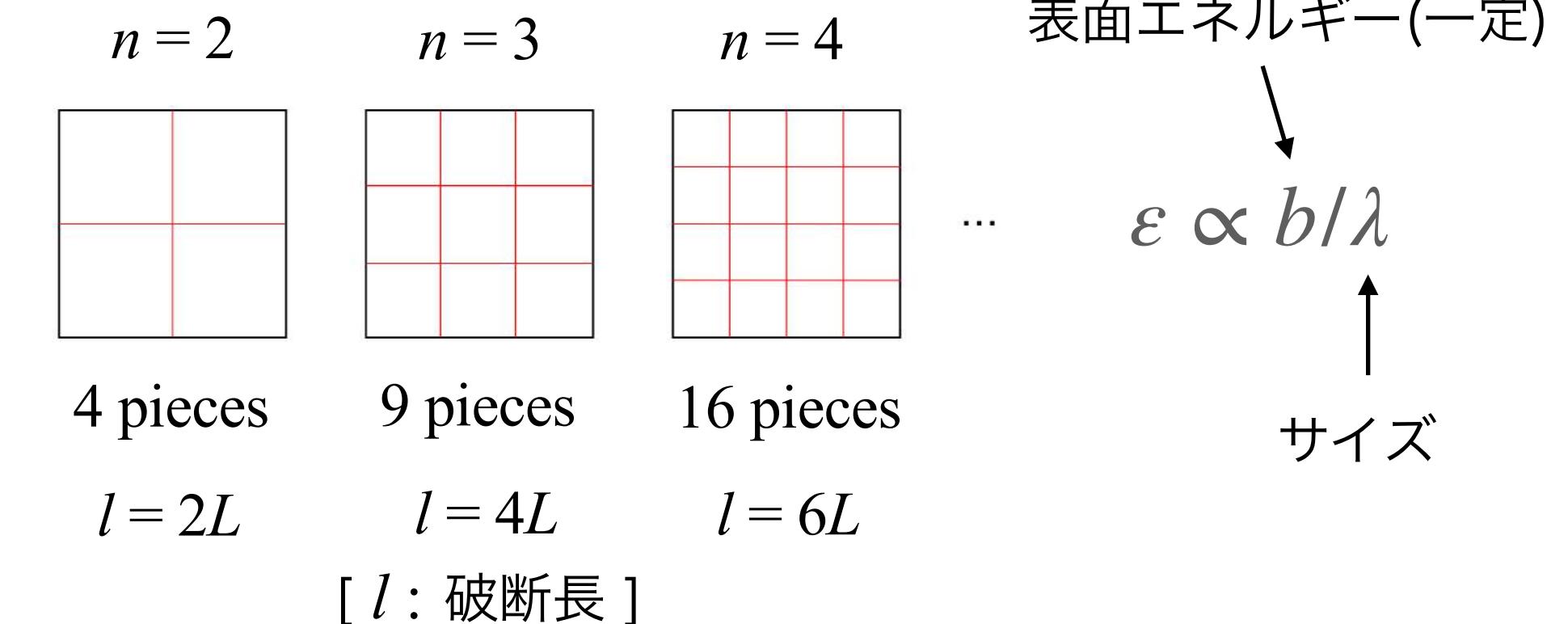
本研究の理論モデル

(Aoki & Furue 2021, with thx to Barbieri)

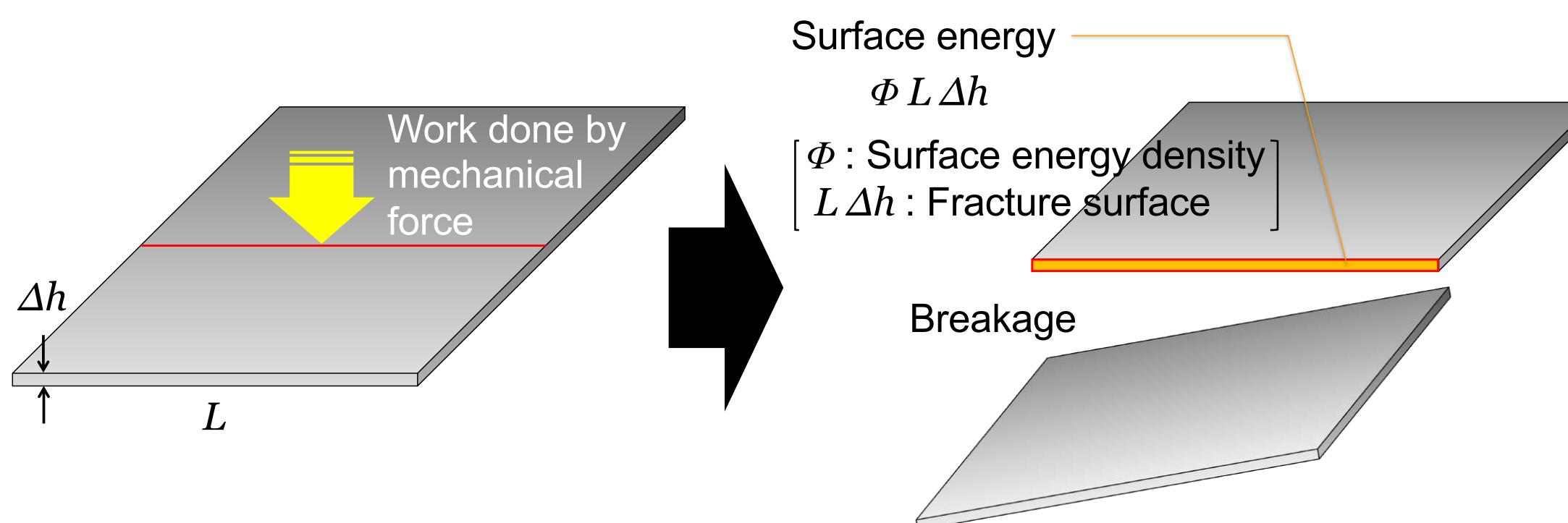
基本構成



原理① 細かな粉碎ほど大きなエネルギーを要する

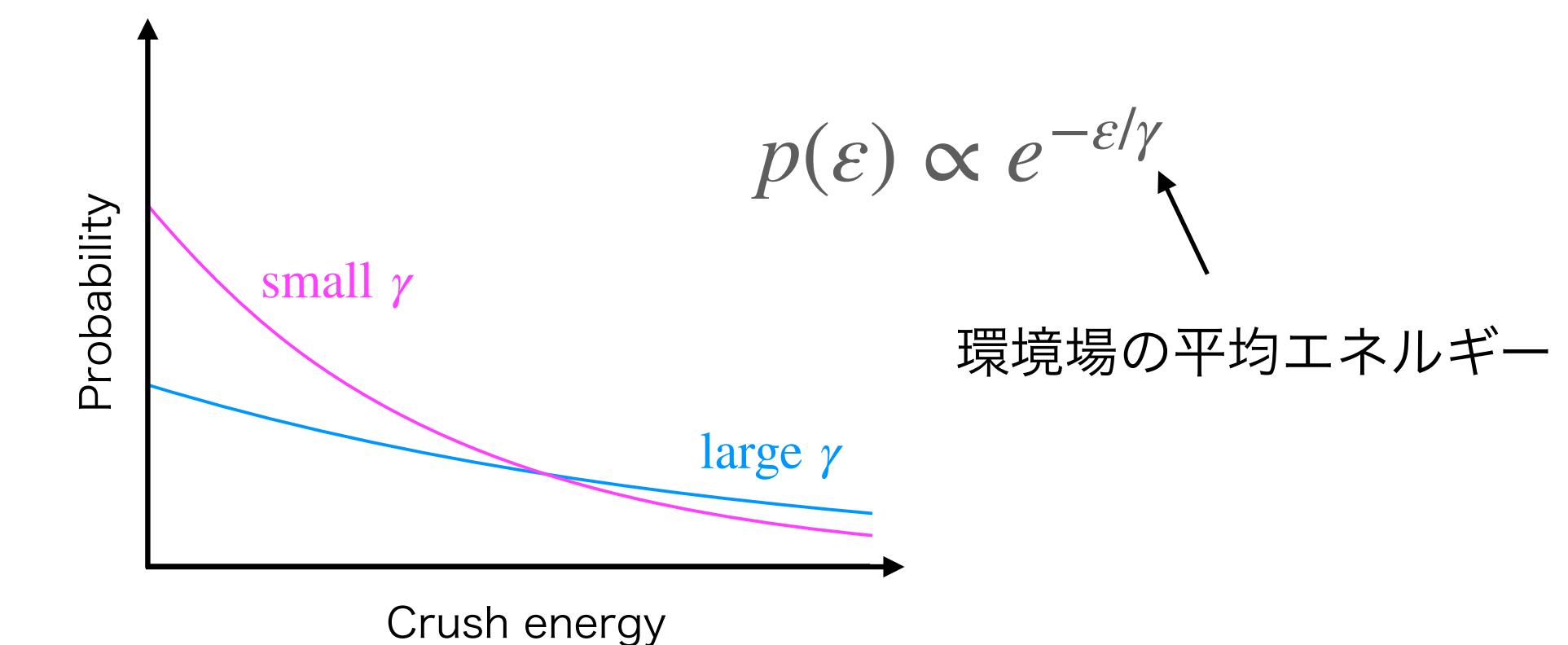


破壊エネルギーの評価の仕方



表面エネルギー . . . 破壊に必要な最低エネルギー

原理② 破壊エネルギーの生起確率はボルツマン分布に従う



(参考文献) ボルツマン分布や統計力学については、例えば、田崎 (2008)。

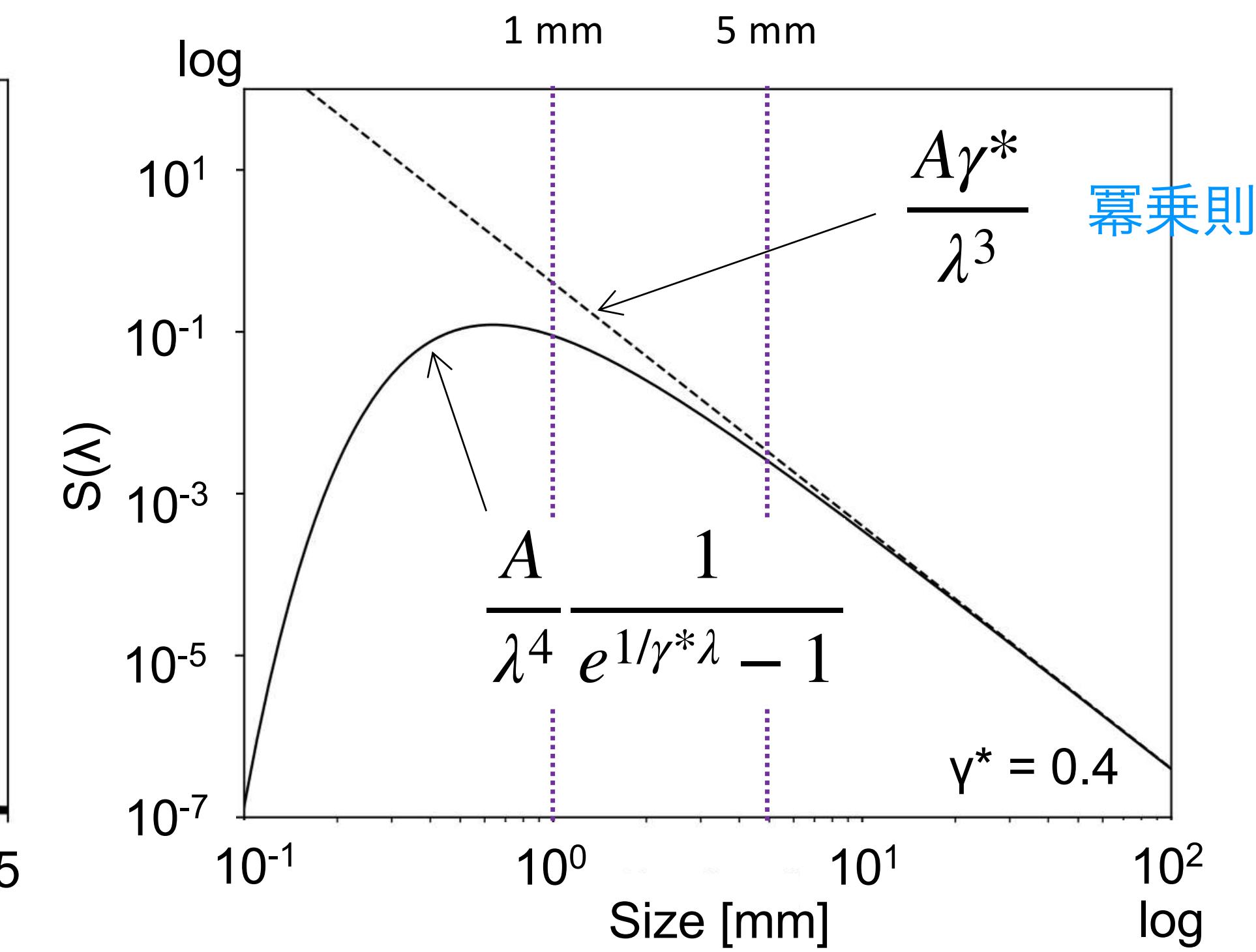
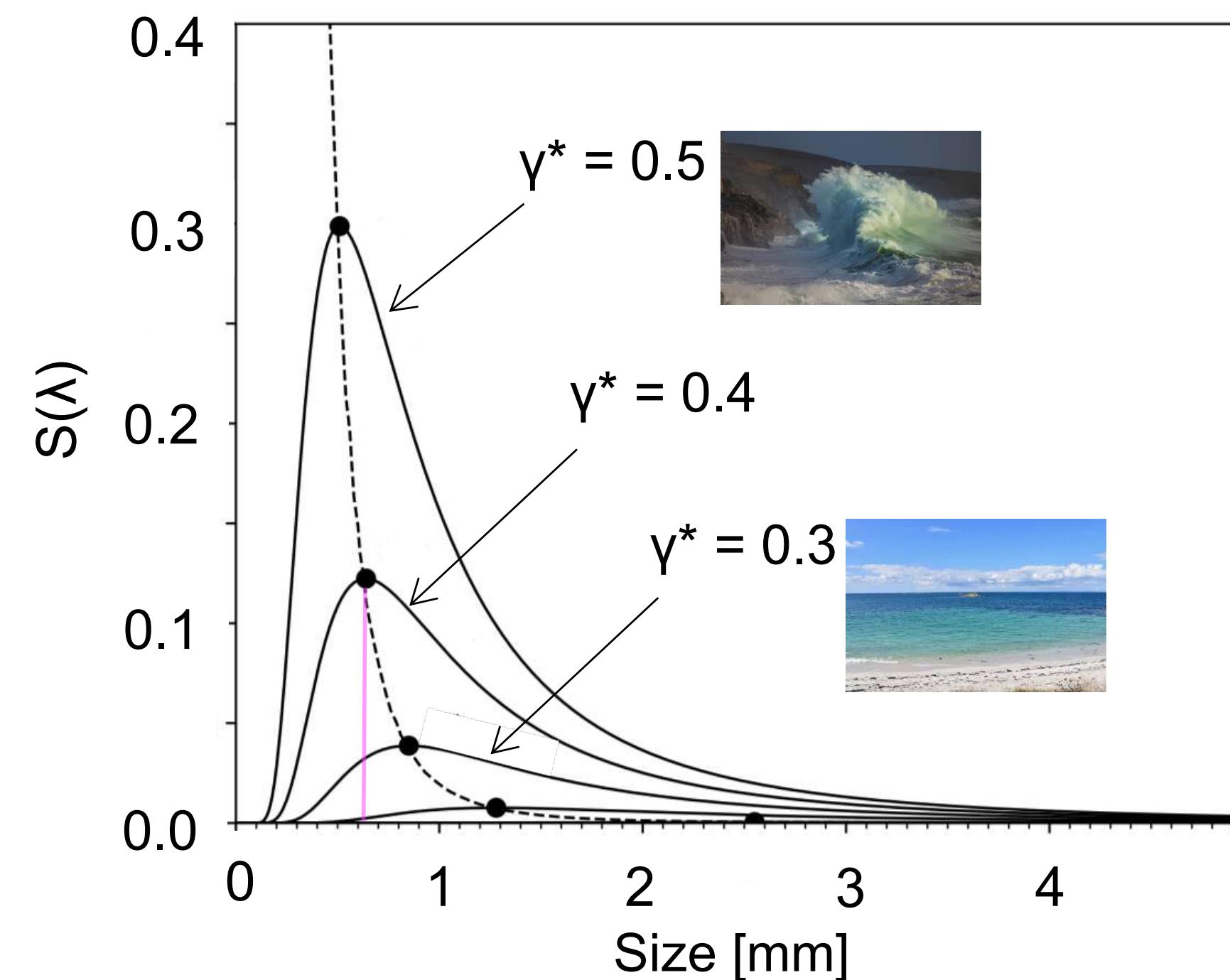
サイズ分布の理論式

$$S(\lambda) = \frac{A}{\lambda^4} \frac{1}{e^{1/\gamma^*\lambda} - 1}$$

$[\gamma^* = \gamma/b]$

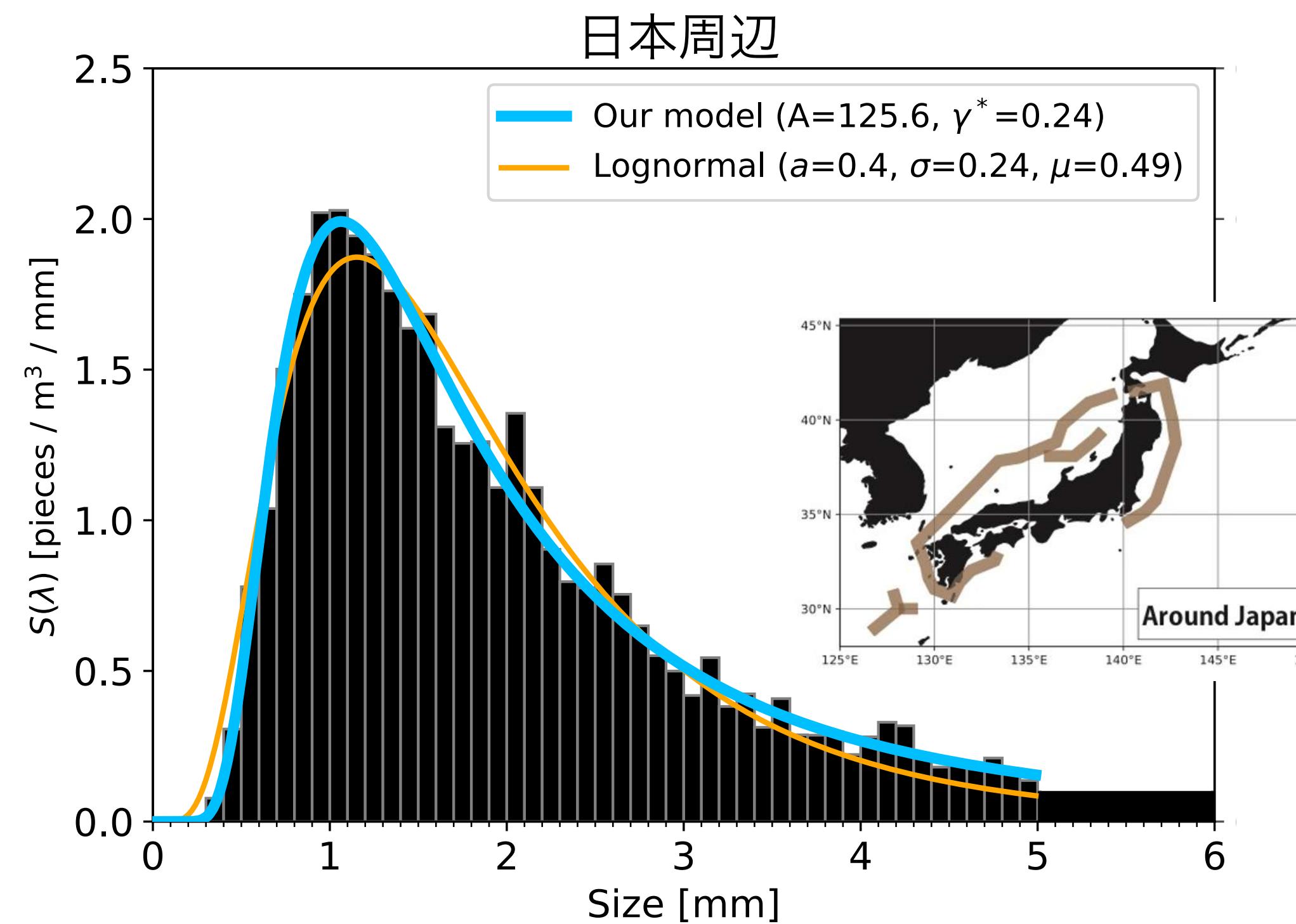
予測

- ・背景エネルギーが大きいほど細かい粉碎が起こる
- ・大きいサイズ領域では幕乗則に従う

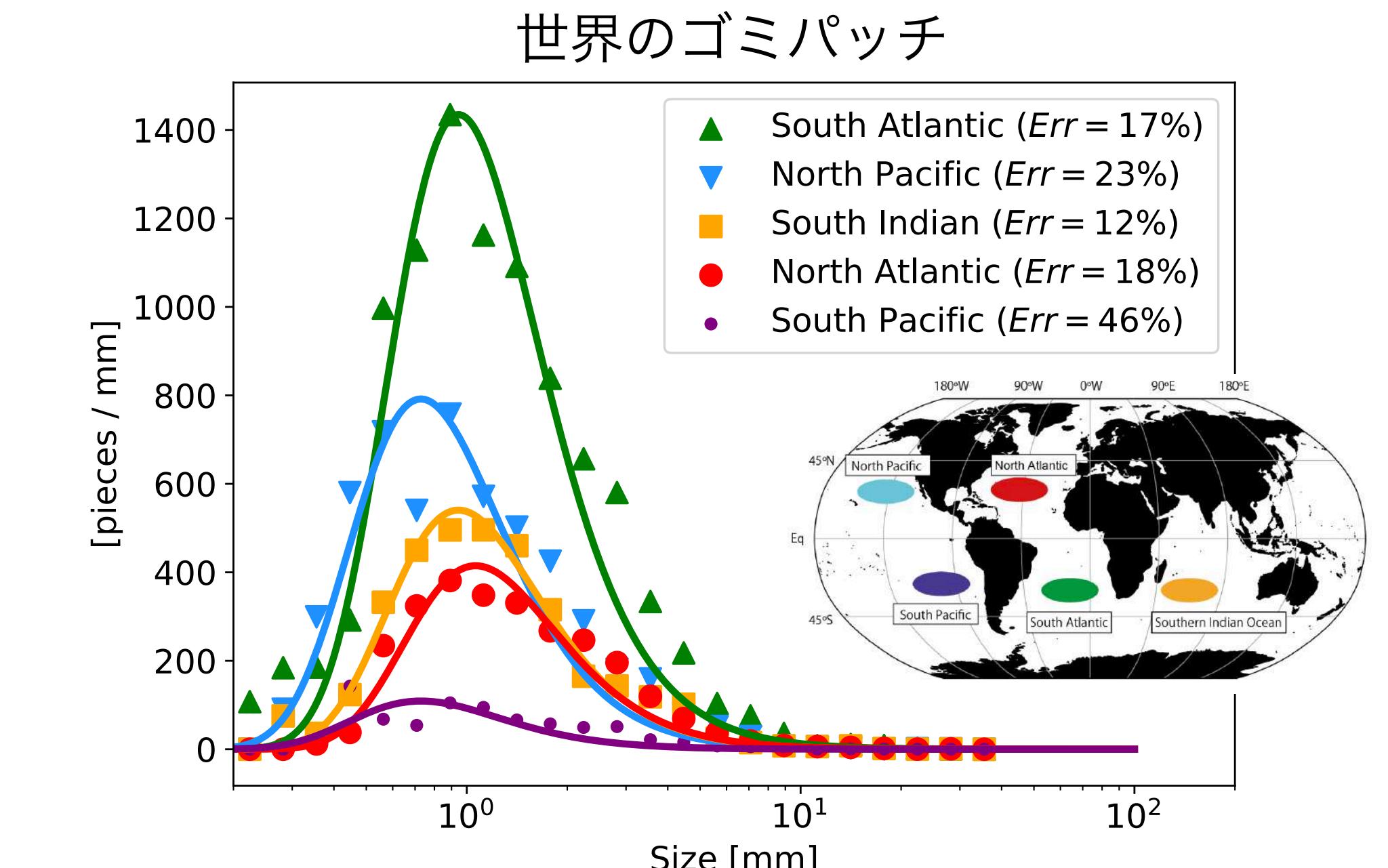


観測データとの比較

- 観測値とよく合う
- 観測データによらない
- 全てのサイズ領域をカバー



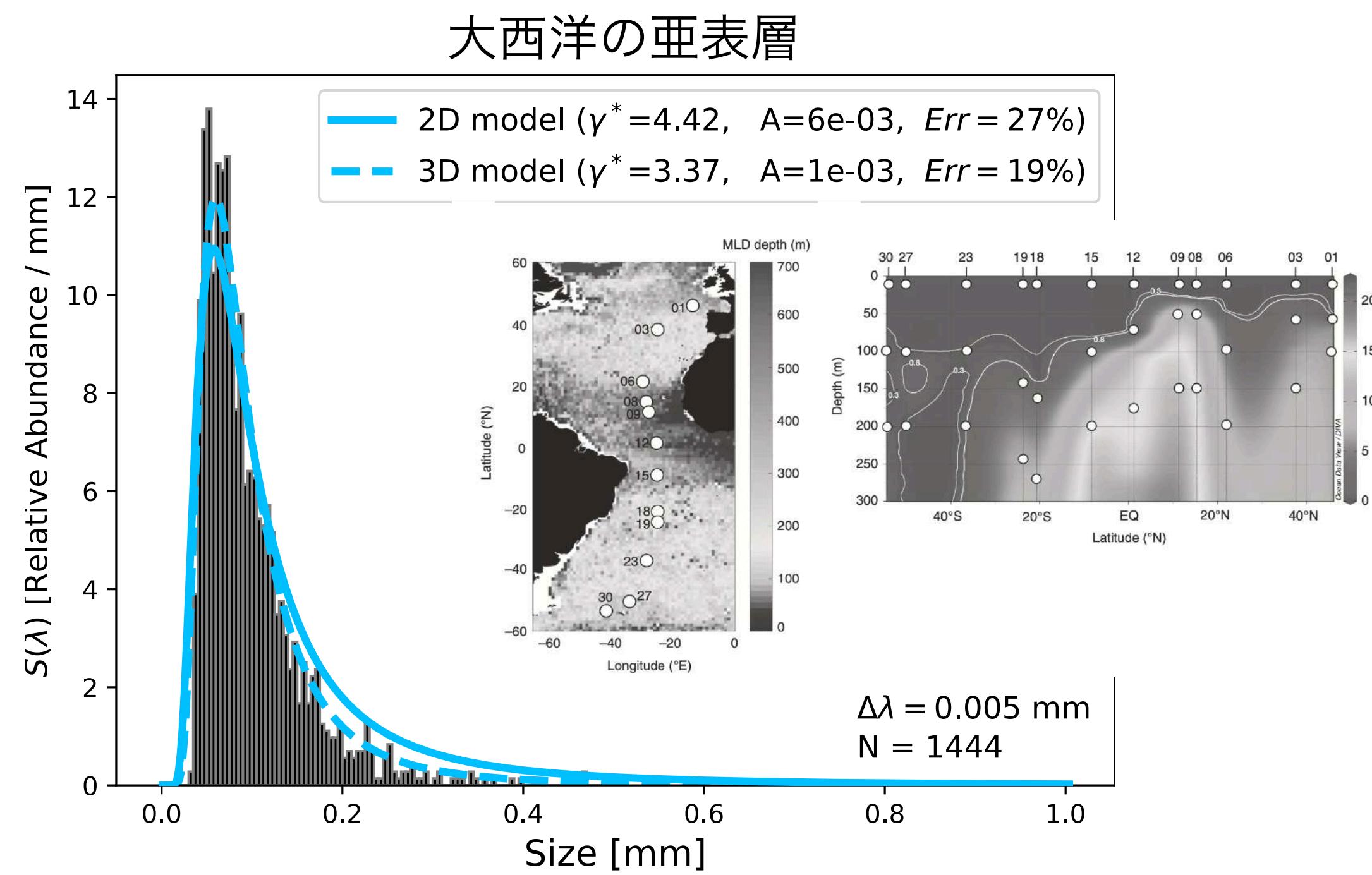
[比較データ : Isobe et al. 2015]



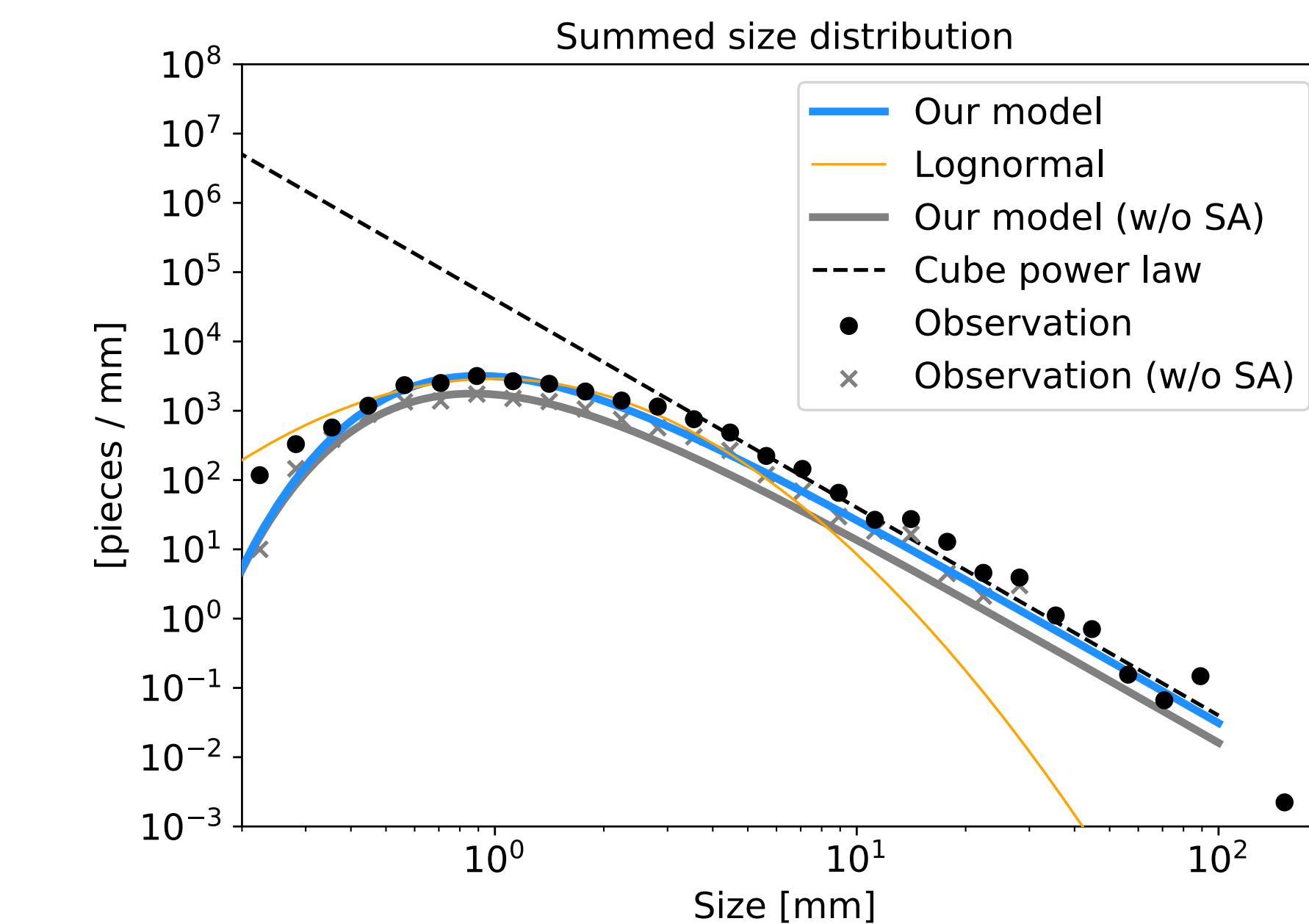
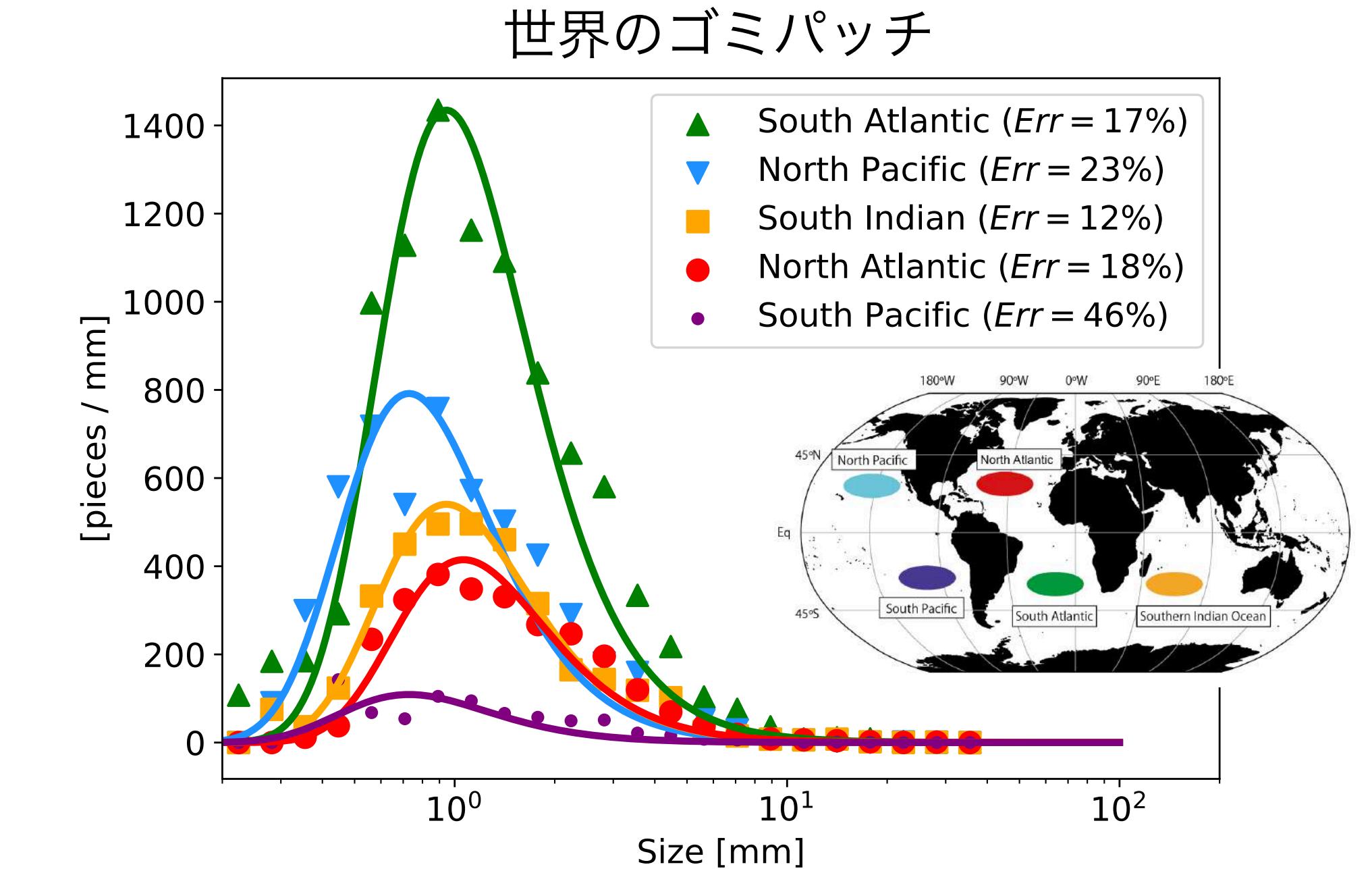
[比較データ : Cózar et al. 2014]

観測データとの比較

- 観測値とよく合う
- 観測データによらない
- 全てのサイズ領域をカバー

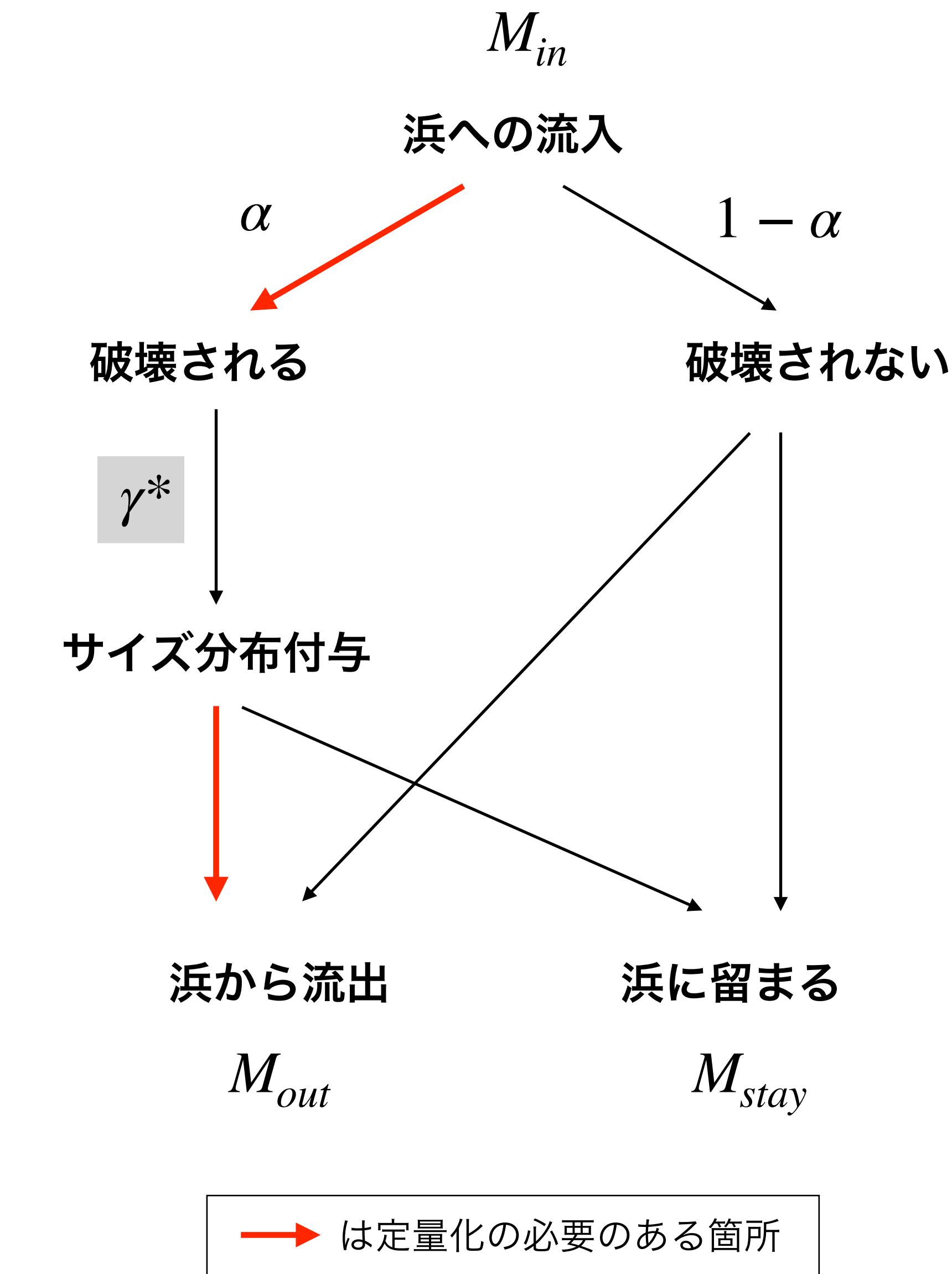
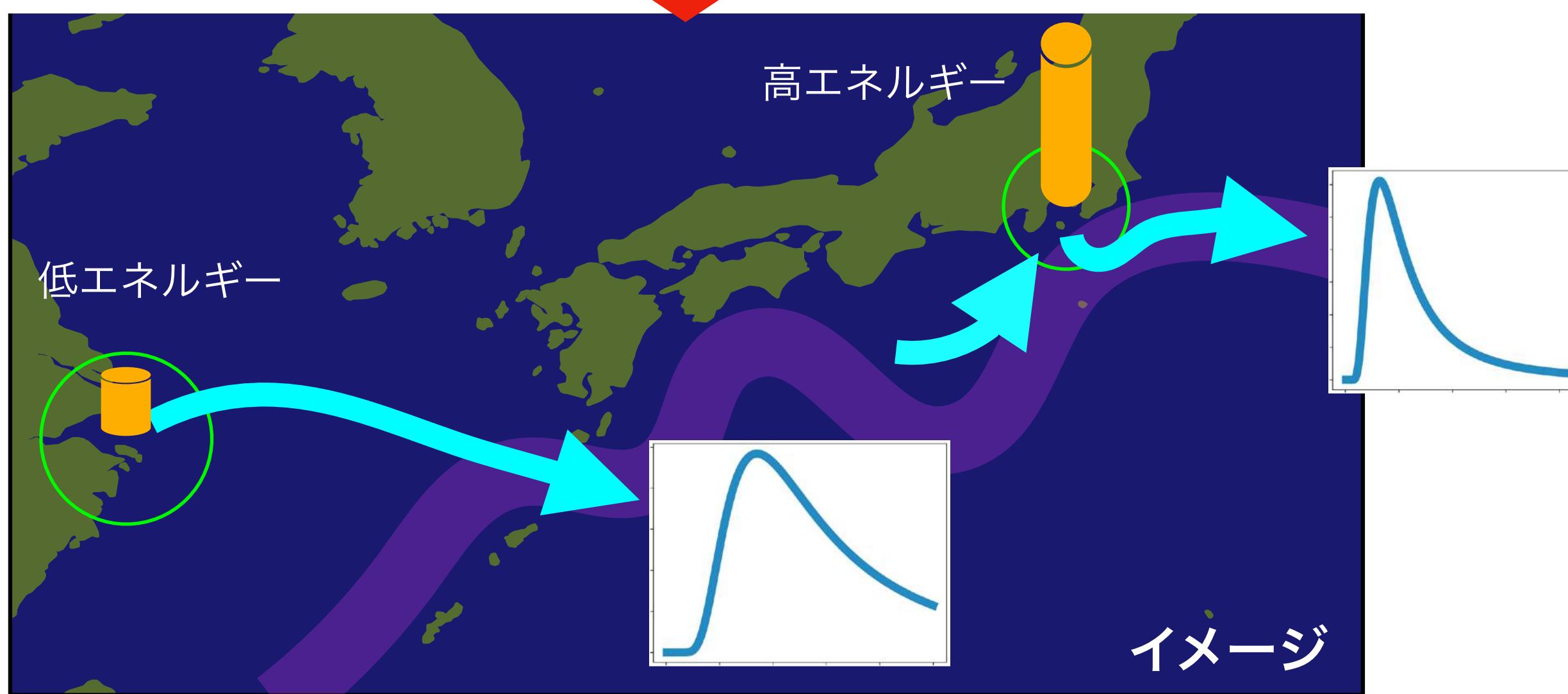


[比較データ : Pabortsava and Lampitt 2020]



[比較データ : Cózar et al. 2014]

破壊過程を組み込んだ分散シミュレーションの可能性

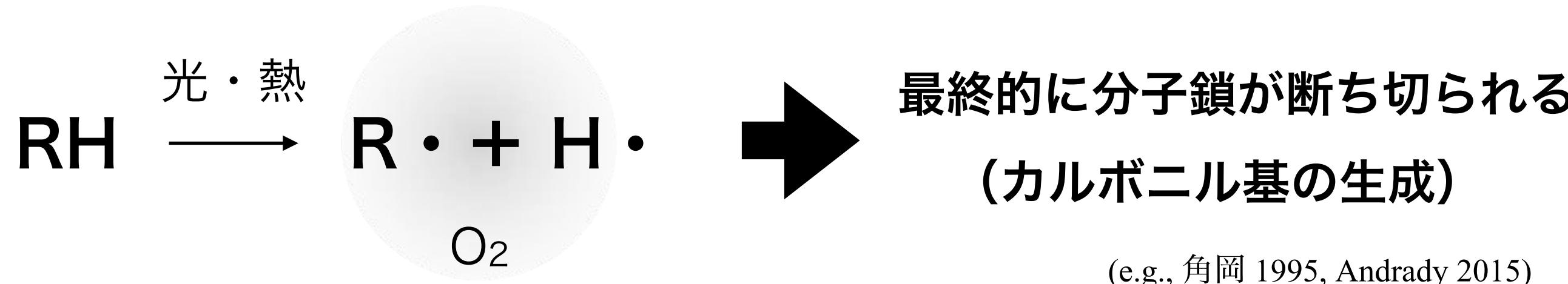


理論の拡張可能性～表面エネルギーのサイズ依存性

原理① 細かな粉碎ほど大きなエネルギーを要する (ただし、表面エネルギーが一定ならば)

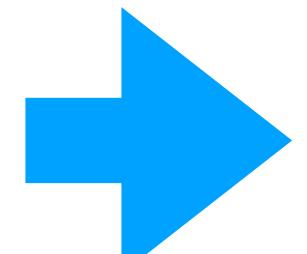
$$\varepsilon \propto b/\lambda \quad [b: \text{表面エネルギー}, \lambda: \text{サイズ}]$$

- 劣化による結合エネルギーの低下

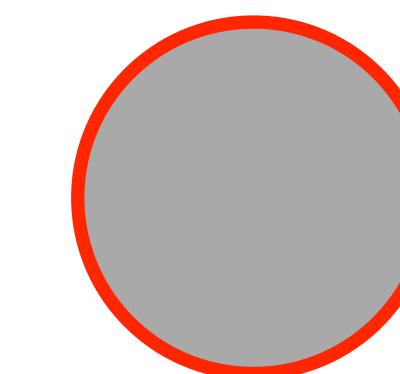
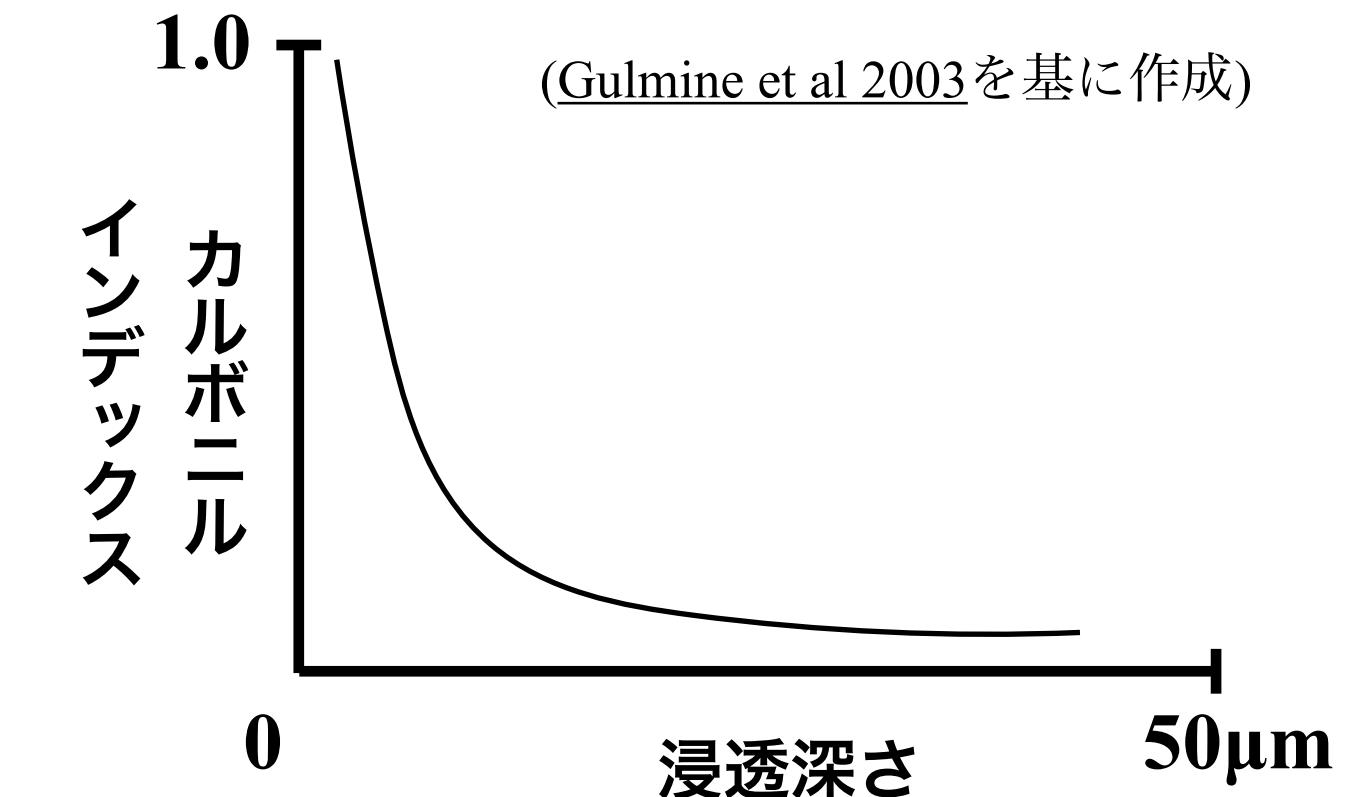


- 劣化は材料表面(露出面)から進行する

$\frac{\text{表面積}}{\text{体積}} \sim \frac{1}{\text{粒径}}$ を考慮すると、粒径の小さいものほど劣化の影響は大きい？



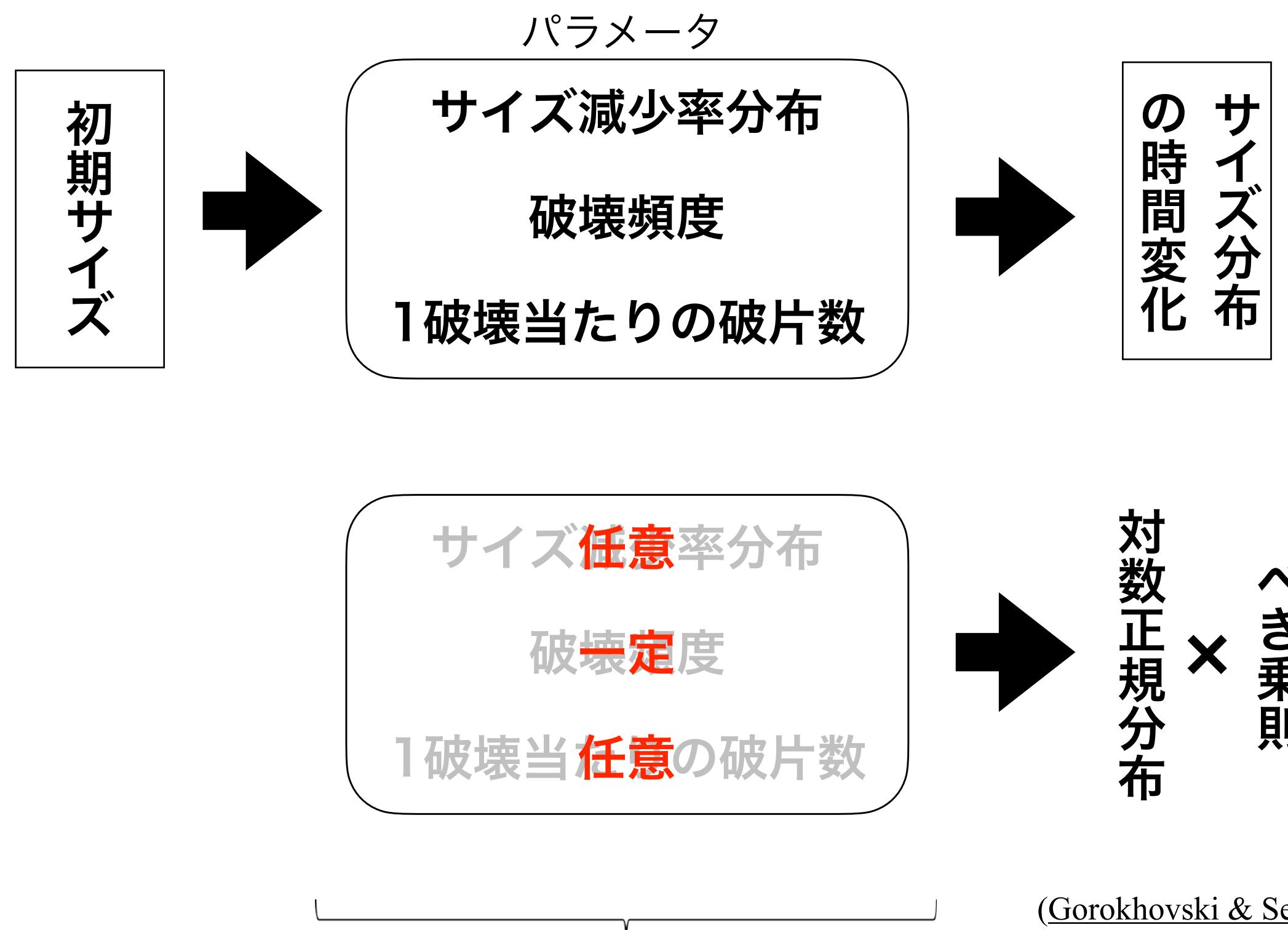
表面エネルギーを表す変数はサイズ依存すべき？ $b = b(\lambda)$



小さい粒子の方が体積当たりの
表面積の割合が大きい

破壊の速度論(経時変化)との対応関係

破壊の速度論 (e.g., Ziff & McGrady, 1985; Cheng & Render 1990)

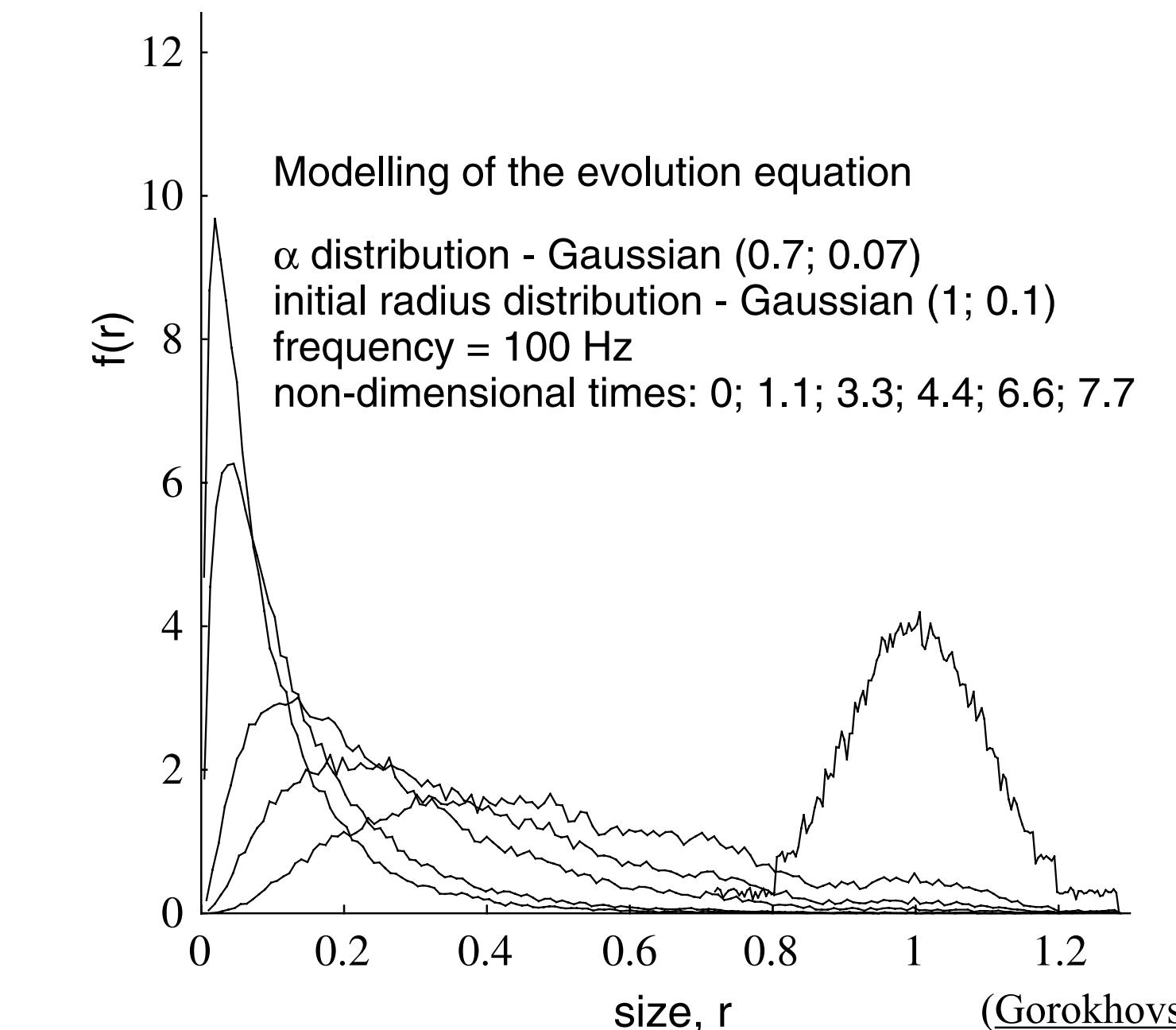
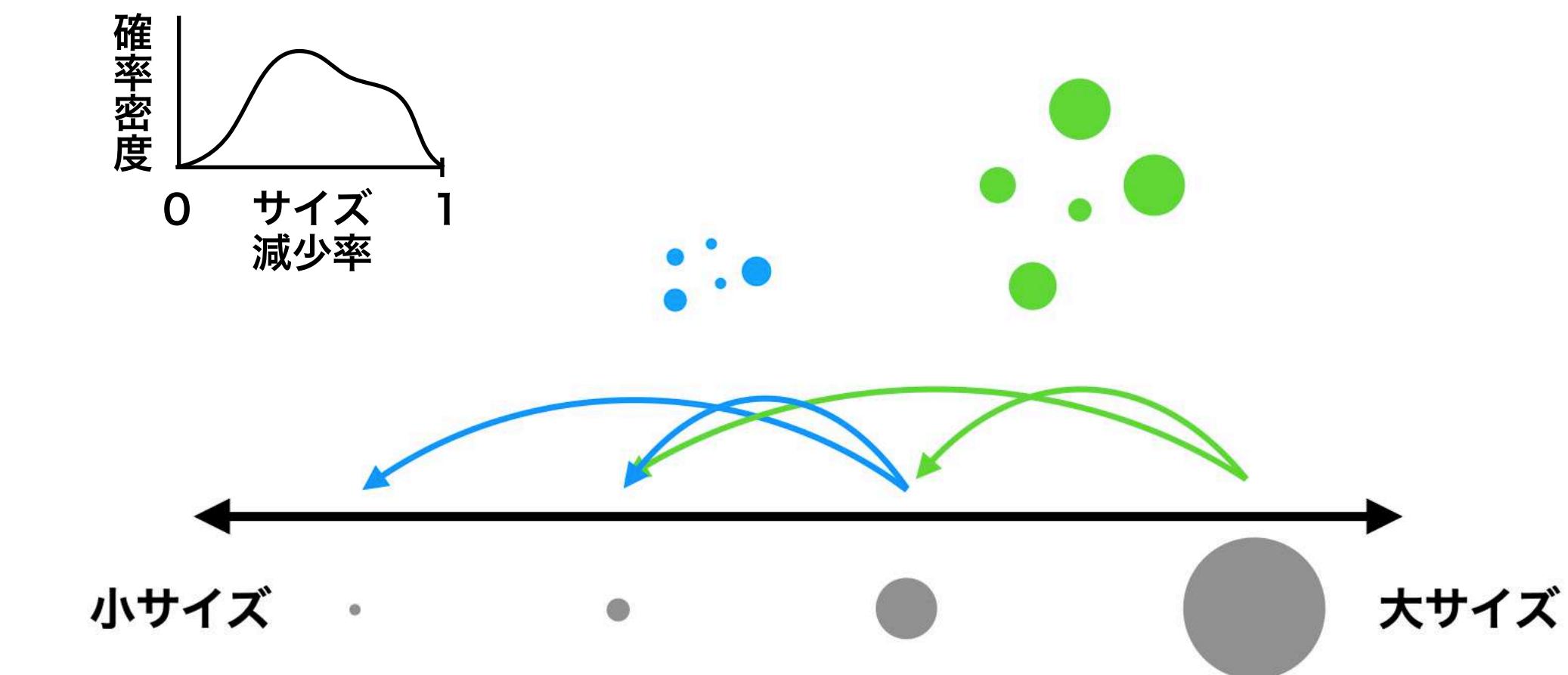


「外的要因」と「素材の要因」で決まる

「環境場エネルギー」と「表面エネルギー」と、どう関係づけらえるか？

γ

$b(\lambda)$



～まとめ～

- 破壊は海洋プラスチック問題のミッシングピース
- 本研究では、《破壊エネルギー》とプラスチック片のサイズ分布を対応づけた物理モデルを提案
- これと分散シミュレーションを併せた包括的な予測には次の課題がある：
 - ✓ 波などが持つ《環境場エネルギー》と《破壊エネルギー》の関係を解明
 - ✓ 「破壊されるプラスチックの割合」と「破片の海への流出率」を浜ごとに同定
- 破壊の物理モデルの改良および一般化も課題：
 - ✓ 素材ごとの劣化特性やそのサイズ依存性の分析とモデル化
 - ✓ 本モデルと速度論(経時変化)との関係性の明確化
 - ✓ 実験や数値シミュレーションによる裏付けも必要

