

R9-O-1

碎屑物の粒子形状と 定向配列の計測手法

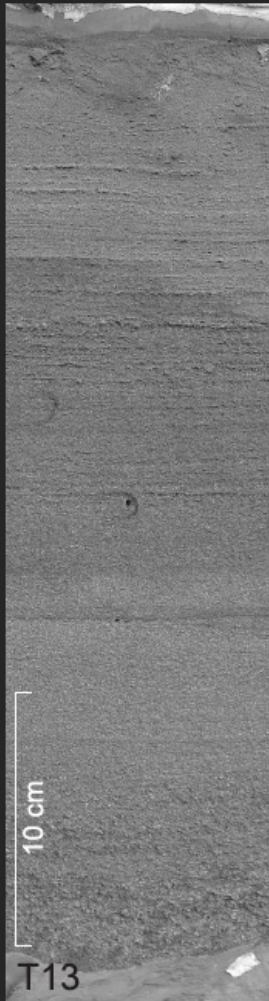
宮田雄一郎（山口大）

Analytical method of grain fabric of the clastic sediments

Yuichiro MIYATA (Yamaguchi Univ.)

はじめに： 粒子ファブリック研究のいきさつ

級化タイプ



平行葉理



塊状タービダイト砂層問題

上総層群（大田代・梅ヶ瀬層）
では一般的．

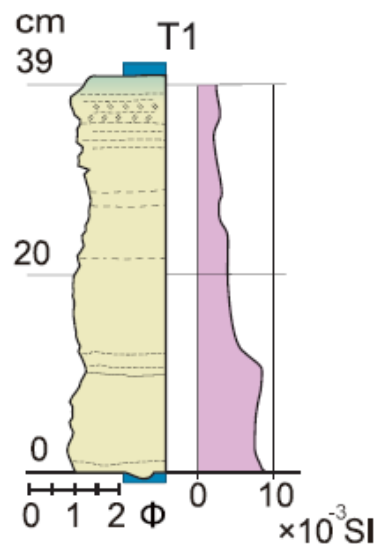
堆積構造に乏しく，手掛かりが
ない．

層厚の側方変化が大きく，追跡
が困難．

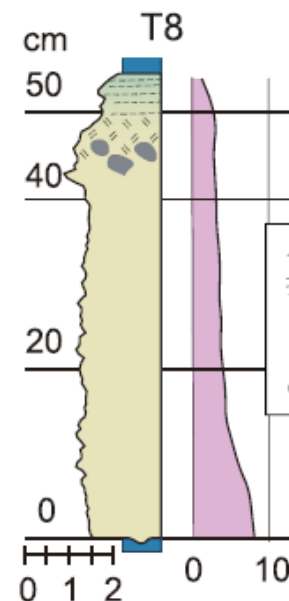
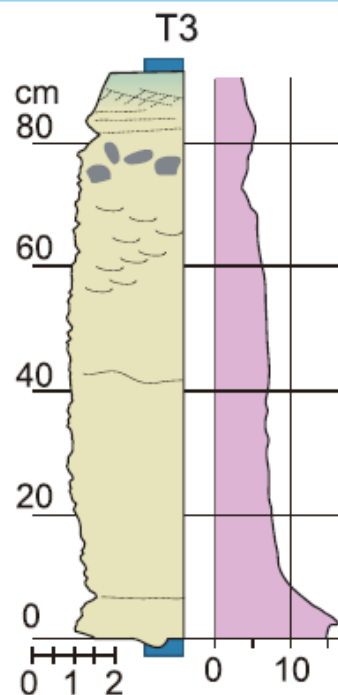
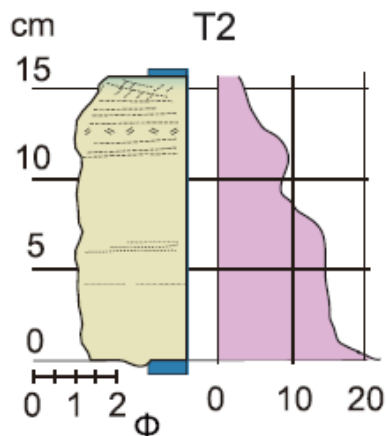
帯磁率が内部で異なることを見
出した．

帯磁率は沈降速度による淘汰ではなく、堆積速度を反映

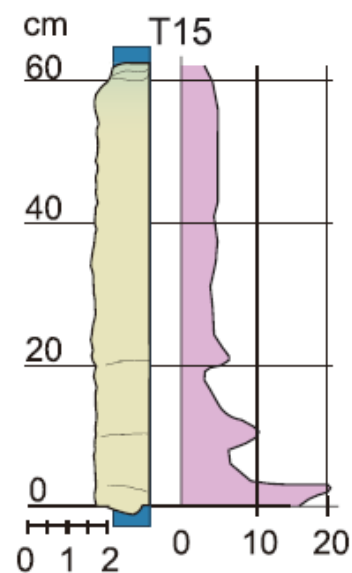
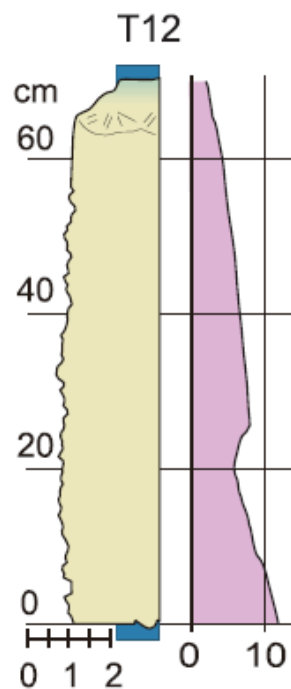
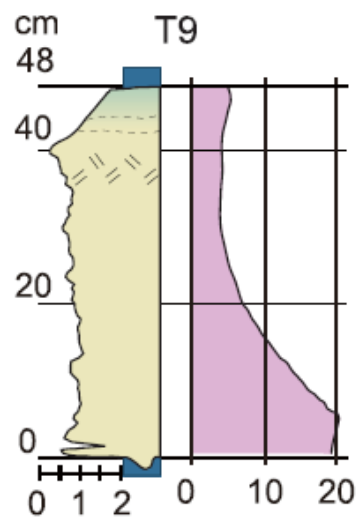
塊状タイプ



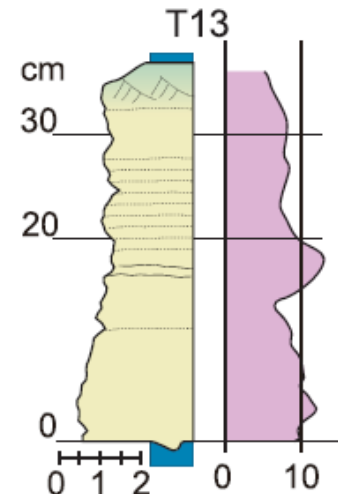
粒度 帯磁率

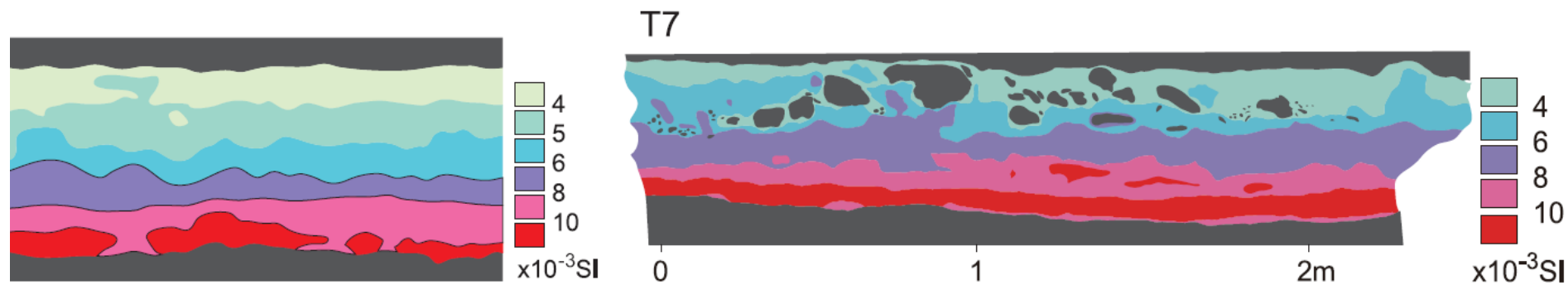
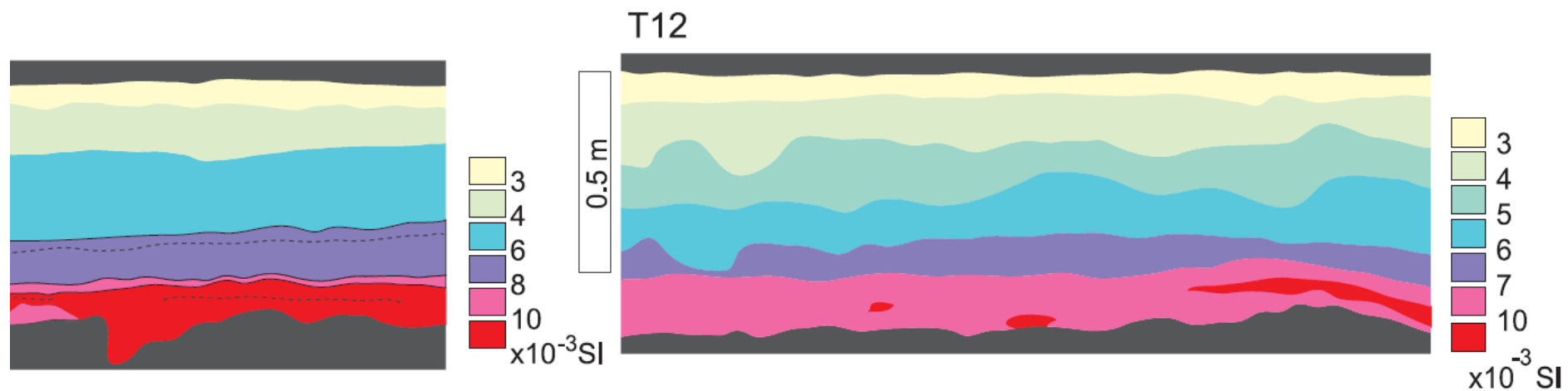
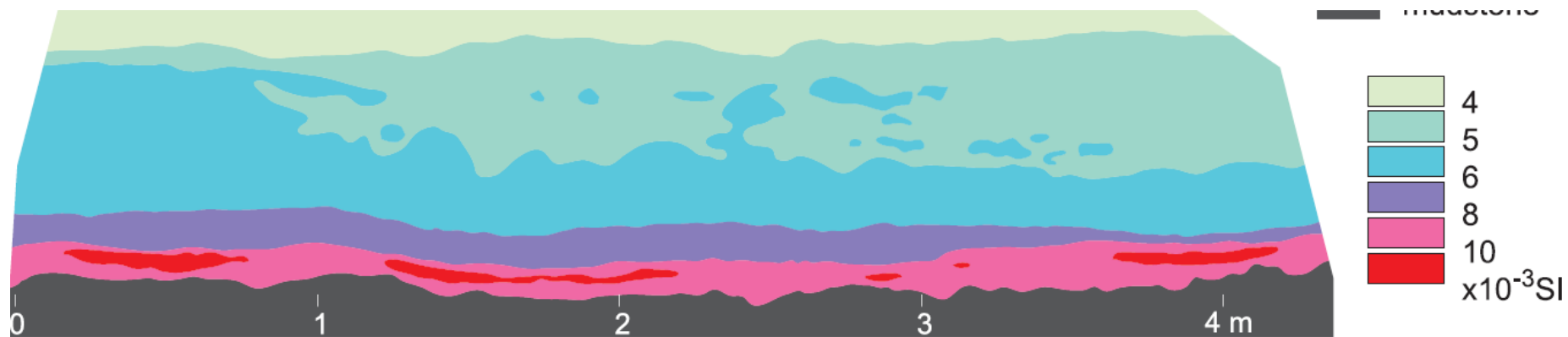


リップル葉理
平行葉理
皿状構造
軽石片
泥岩偽礫



級化タイプ





内部は層状に堆積したらしい。しかし肉眼的な成層構造はみられない。

粒度は変わらないのに、 磁鉄鉱含有量が異なるのはなぜか？

- ・ 層状に下から順に累積した。
- ・ 分級は悪いが、粒径(+密度)淘汰は働いた。
- ・ そもそもアンチデューンがないのはなぜか？

あるとき、

- ・ 粗粒部に肉眼でわかるインブリケーションを発見
- ・ 下部に侵食面と多重逆級化ユニットを発見

これはアンチデューンかも知れない。

射流であれば渦を巻かないから、

ラミナを作らない（塊状になる）ことも可能では？

ラミナのない堆積構造を可視化できないか。

→ファブリックに注目

ファブリック開析のためのはぎ取り

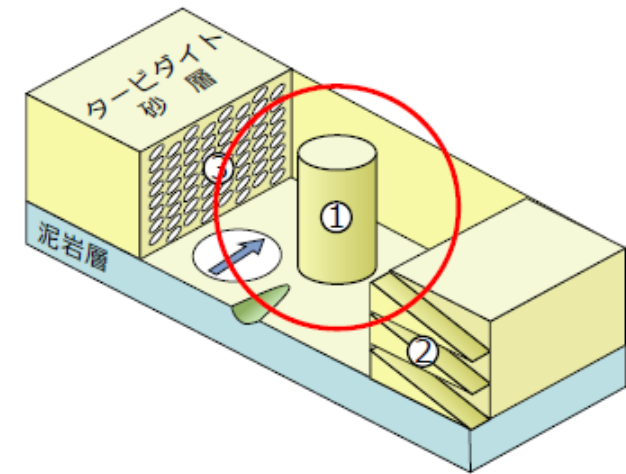
古流向の推定方法



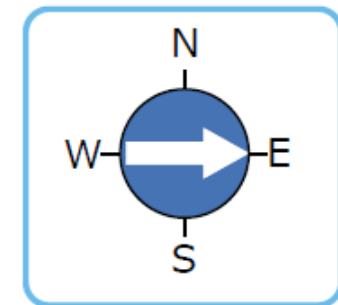
リップル葉理:堆積末期

インブリケーション方位:堆積中

ソールマーク:堆積前

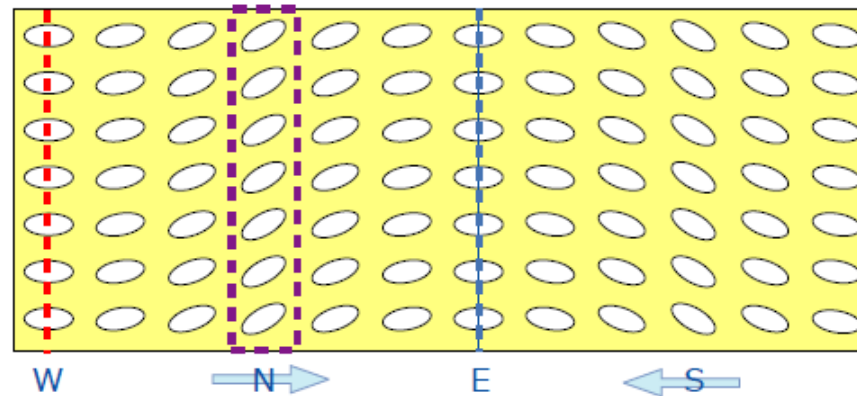


古流向の特定



上流側

下流側



最大インブリケーション角



ファブリック計測の手順

1. はぎ取り試料表面の塗装：透明・光沢粒子
2. 数cmごとに写真撮影
3. 画像から粒子を抽出
4. 画像計測：粒子の座標, サイズ,
長軸・短軸, 長軸方位
5. 計測データの合成（写真のつなぎ合わせ）
6. 集計：数mmのウィンドウごとに
平均方位, 集中度, 平均粒径など
7. マッピング表示：堆積構造の可視化
方位や粒度の分布コントラストなど

自動計測の問題点② 透明粒子の抽出

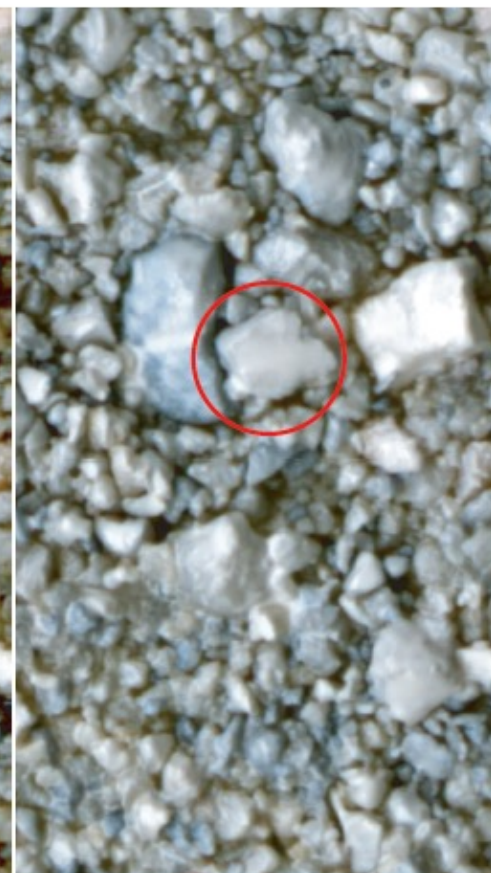
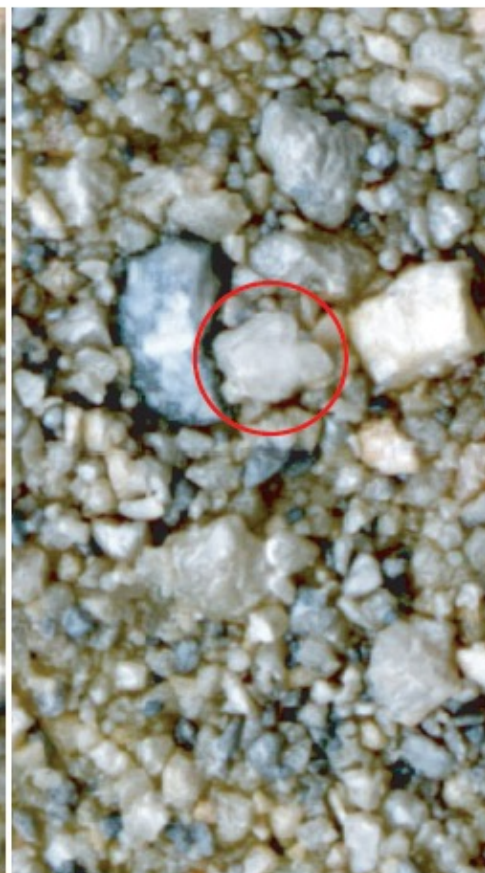
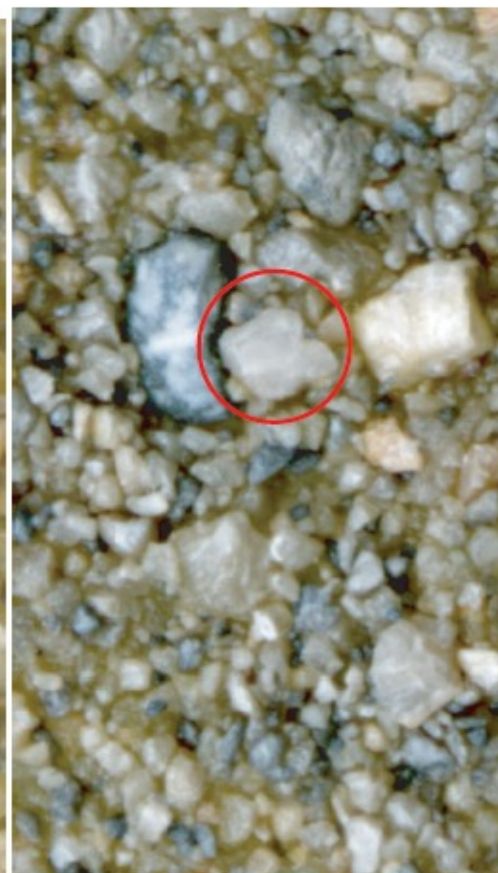
透明粒子は色調による粒子抽出ができない
→剥ぎ取り試料をエアブラシを用いて着色し、
透明粒子を可視化する。

エアブラシ塗装の様子



水槽実験 混合粒径砂 (基質なし) スキャン画像 2000dpi
未処理 1 回塗布 2 回塗布

3 回塗布



自動計測の問題点② 透明粒子の抽出

透明粒子は色調による粒子抽出ができない
→剥ぎ取り試料をエアブラシを用いて着色し、
透明粒子を可視化する。

エアブラシ塗装の様子



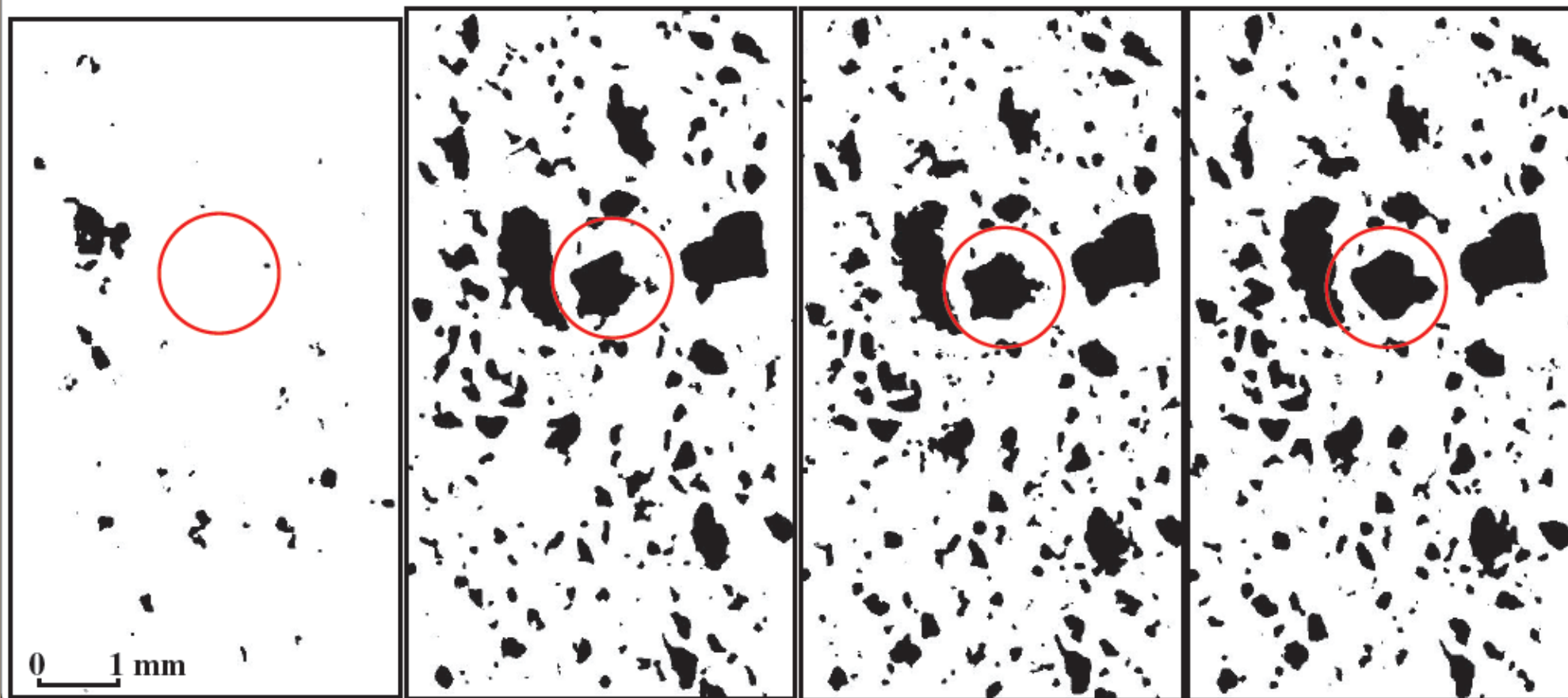
水槽実験 混合粒径砂 (基質なし) スキャン画像 2000dpi

未処理

1 回塗布

2 回塗布

3 回塗布

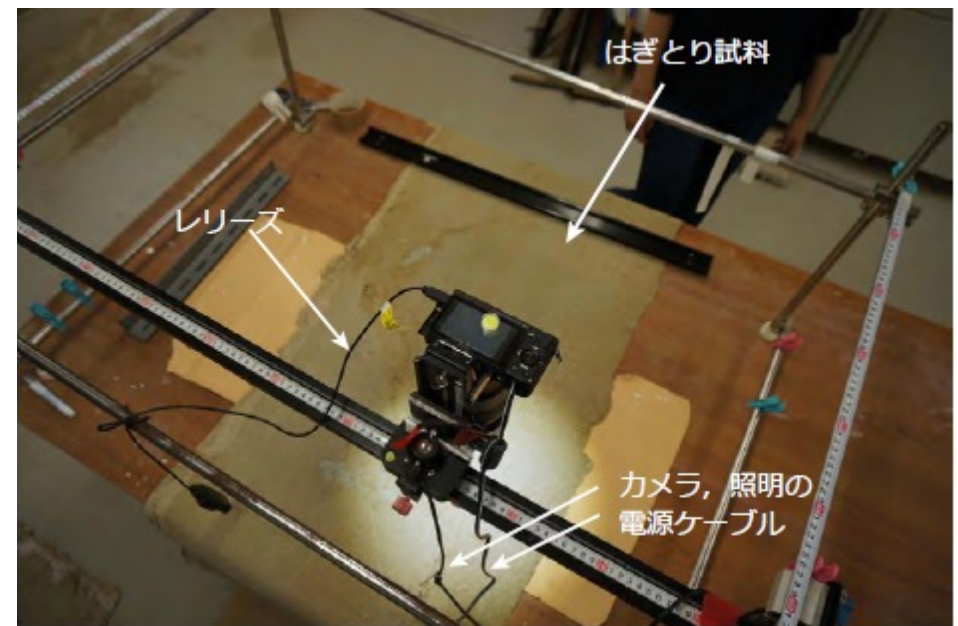


1 画像あたり

90mm → 6000 pixel

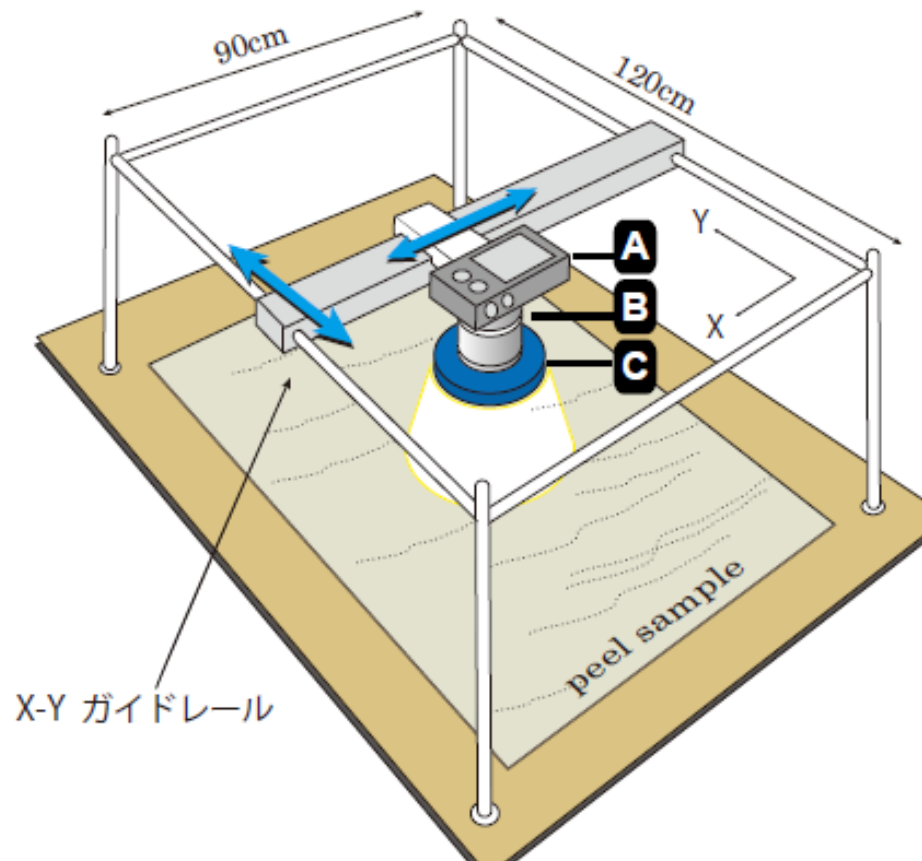
60mm → 4000 pixel

解像度 = 1693 dpi
(中粒砂で 16.7 pixel)



90mm
マクロレンズ

直射型
LEDリング照明



粒子抽出と計測 : Image J

- 粒子計測ルーチン

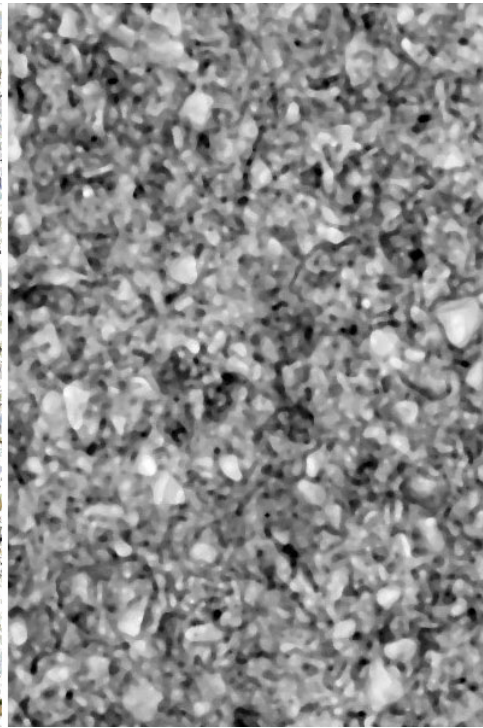
輝度に基づく粒子の抽出（改良の余地） < 試料面に白塗り
面積比で12%程度を抽出
楕円近似で長軸・短軸，長軸方位を計測

- マクロ言語で自動化できる

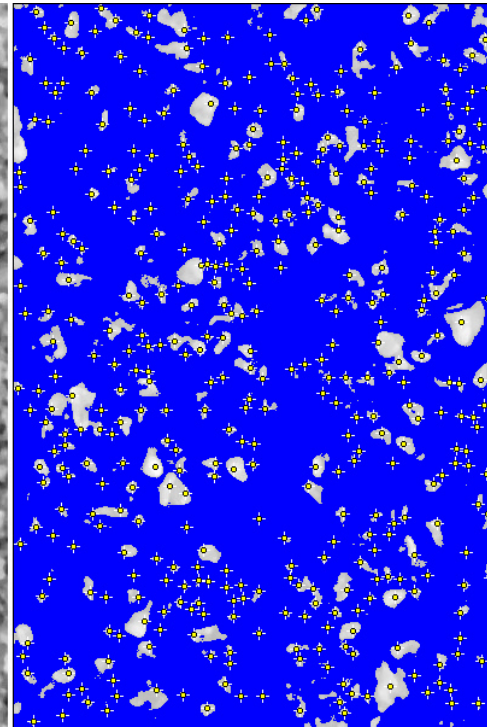
位置座標，長軸・短軸長，長軸方位などを
テキストファイルで出力し，集計処理(後述)



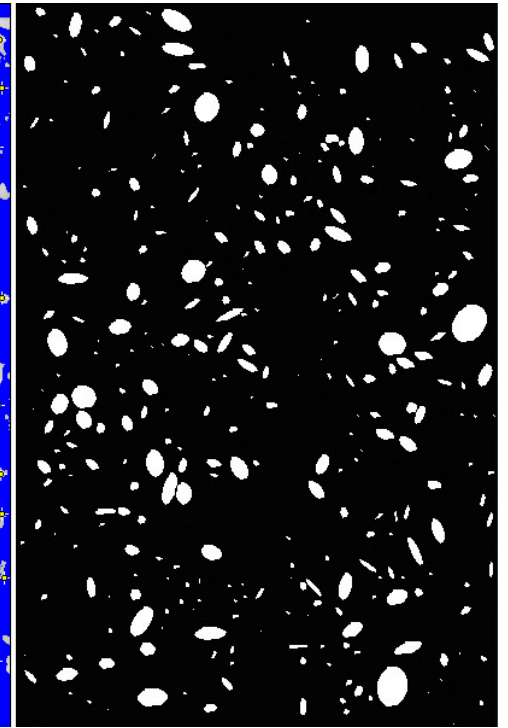
カラー元画像



輝度画像



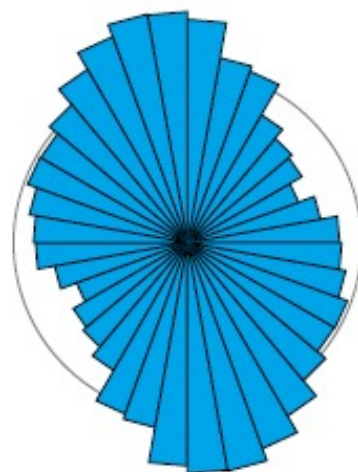
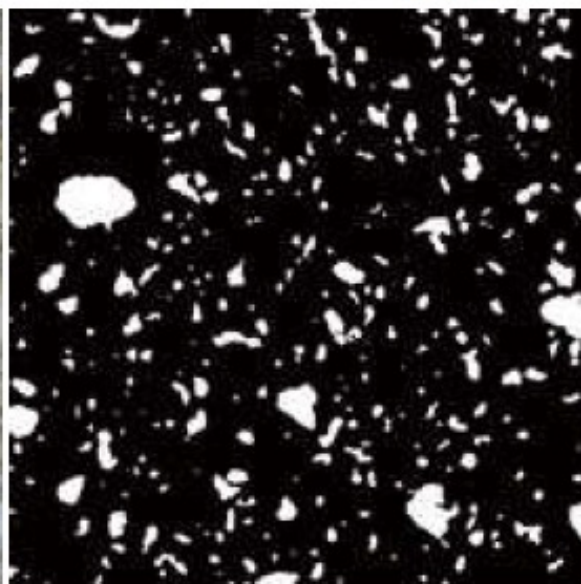
隣接粒子分割のため
輝度ピーク検出



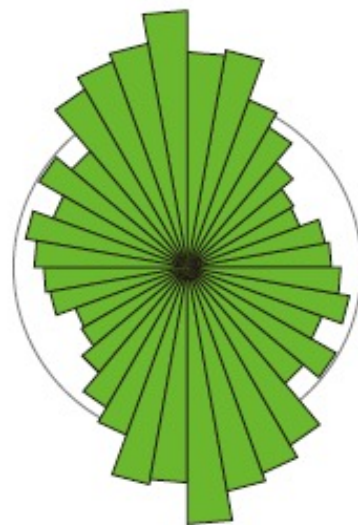
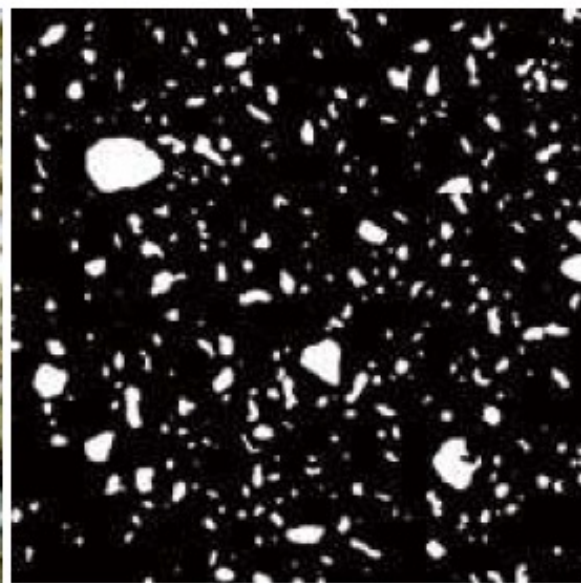
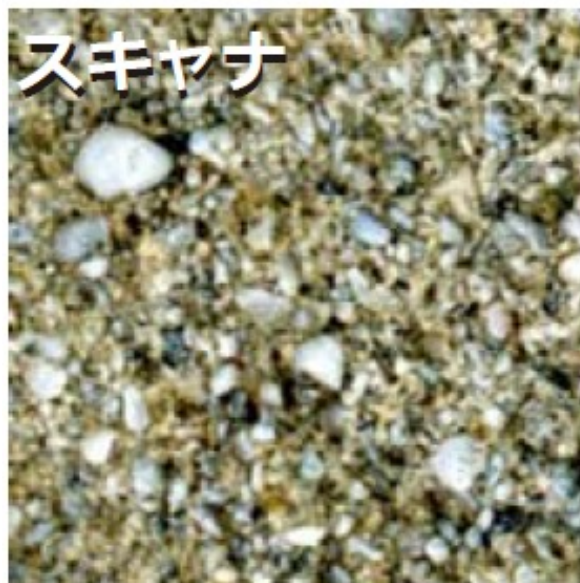
方位計測のため
楕円近似画像

多く抽出するほど
隣接粒子の分離が困難
現状では、最大でも15%程度

2 mm = 137 pixel



N=10020
VM=107.1
L%=13.2%



N=10108
VM=104.7
L%=14.2%

集計とマッピング : UNIX + GMTコマンド

- 計測粒子数は約1000万/m²
- GMT (Generic Mapping System) : GISソフト
Windows版, コマンド形式
- Windows PCで UNIXやGMTを利用するには,
gow : Windows上でUNIXコマンド,
シェル(bash)スクリプト
Windows10ではUNIX (Ubuntu) も利用可

集計手順

1. グリッドごとに平均方位を求める

グリッドサイズ：3mm角，30粒子程度を目安

ウィンドウサイズの設定：例えば25x40mm

方位のばらつきも同時に求める

重みとして，着目点からの距離および粒径

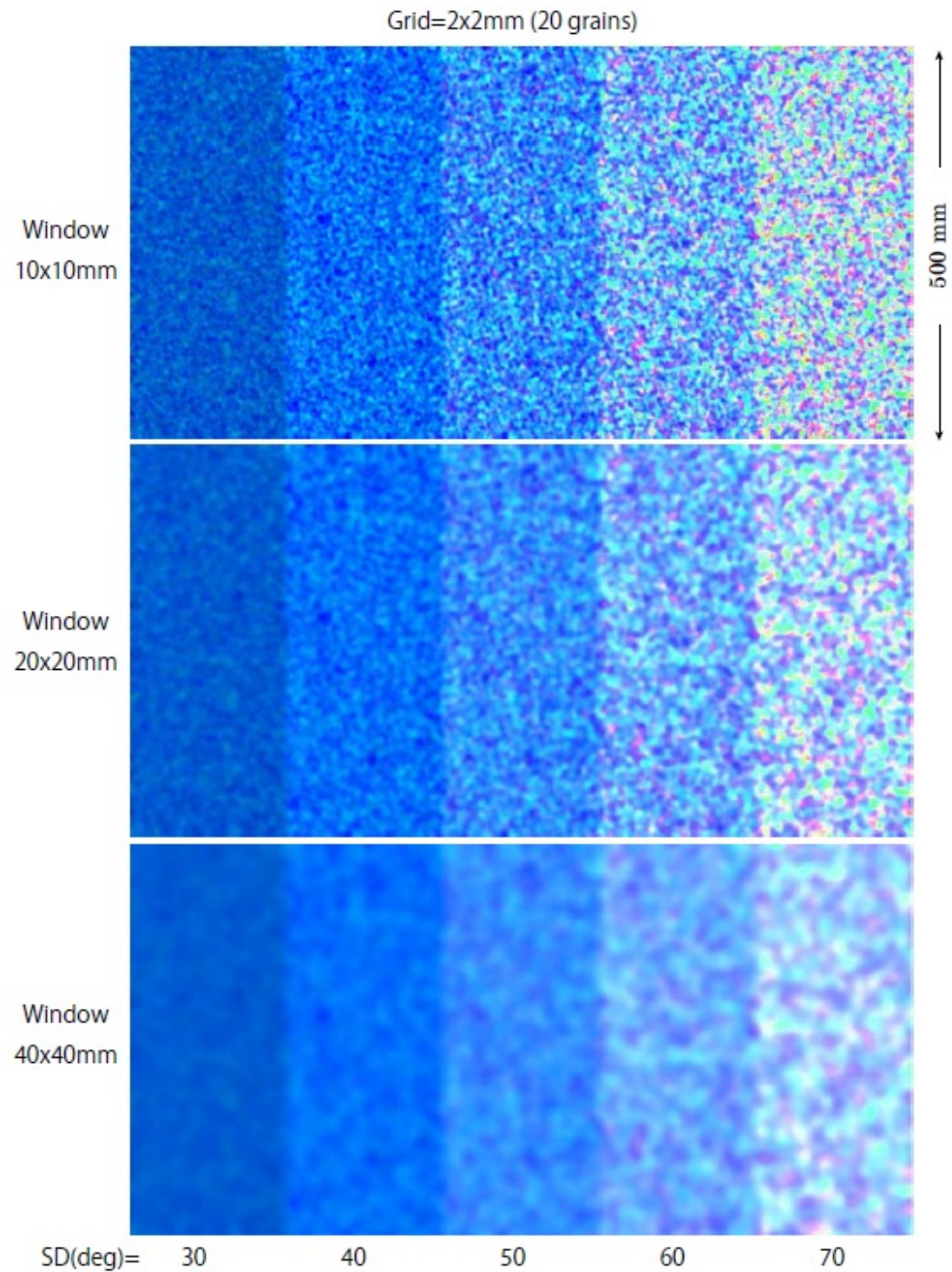
2. マッピング

カラー方位マップ：

平均方位を色調で，分散を鮮やかさで示す

粒度別方位マップ，方位分布のコントラスト

- グリッドは
2mm間隔
- ウィンドウ：
平均方位などの
処理領域
20-40mm程度



使える方法になったのか？

- 正しい結果を示したのか？

どうやって検証する？

(人の目はあてにならない；個人差が大きい)

>> 3D（後述）計測で検証できた

- 時間と手間は実用的か？

はぎ取り・塗装・撮影はそれなりの手間

計測は1時間ほど，集計・図化は10-20分でできる

>> 十分に実用的レベルにある

- 堆積構造は可視化できたのか？

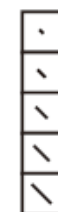
一般的な傾向

古流向の変化

鉛直方向のインブリケーション角の変動



consistency ratio



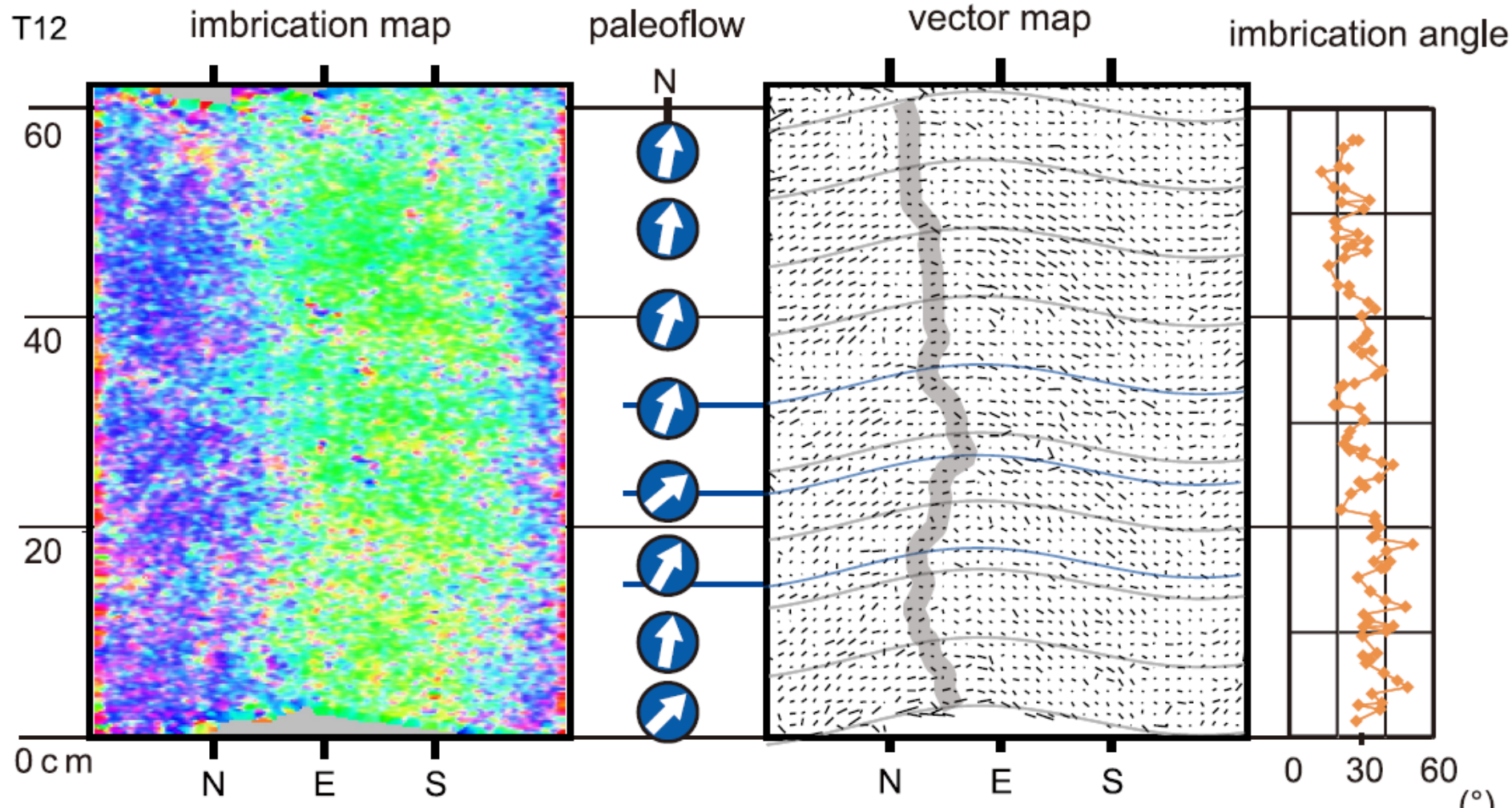
high

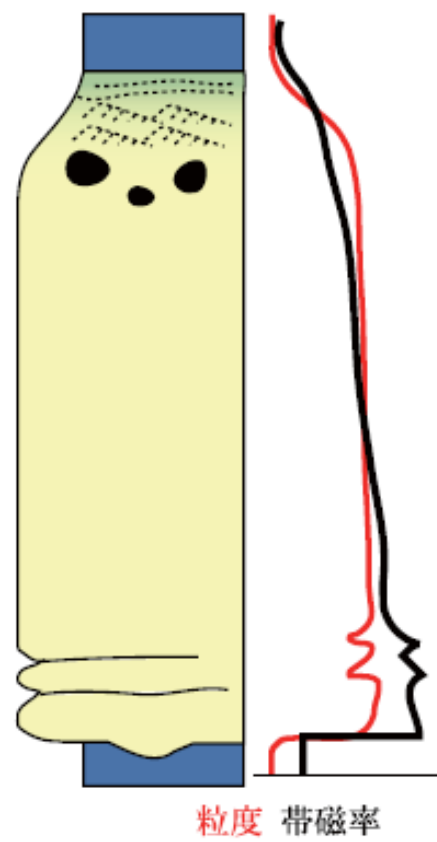
low

— 砂層の層理面

■ 古流向

— 古流向が変化

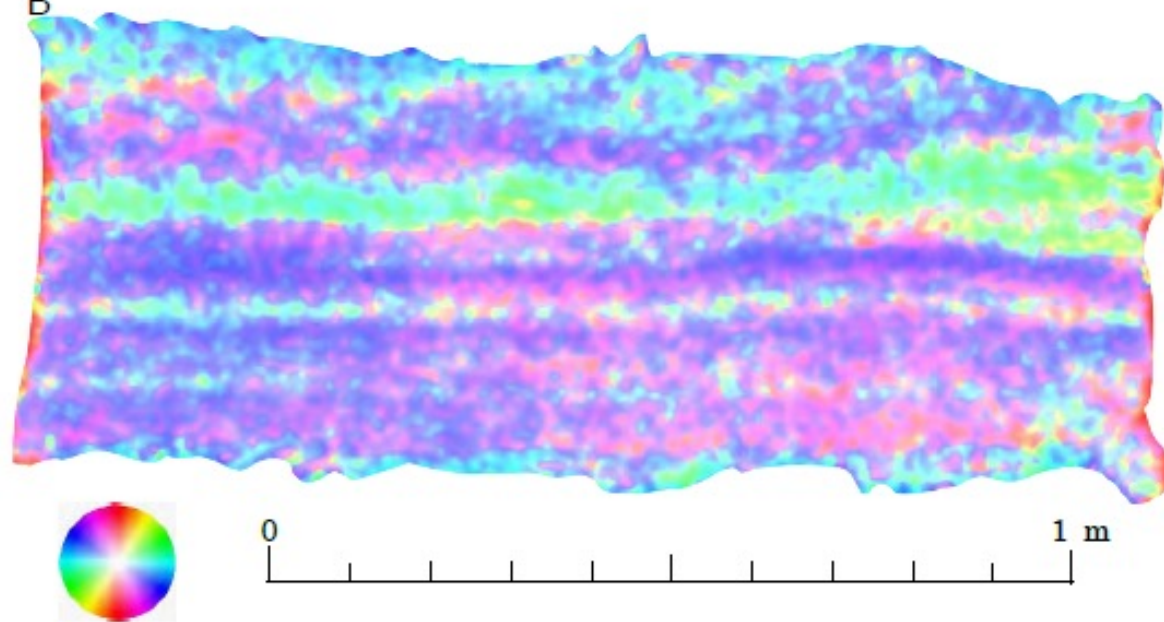




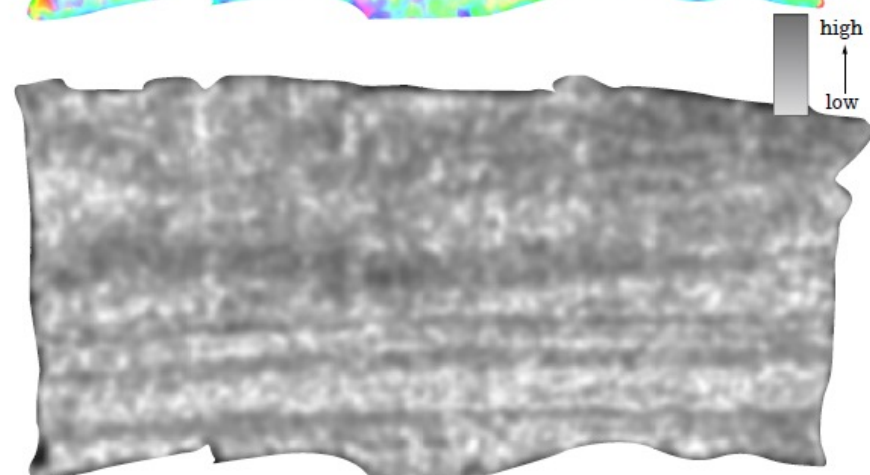
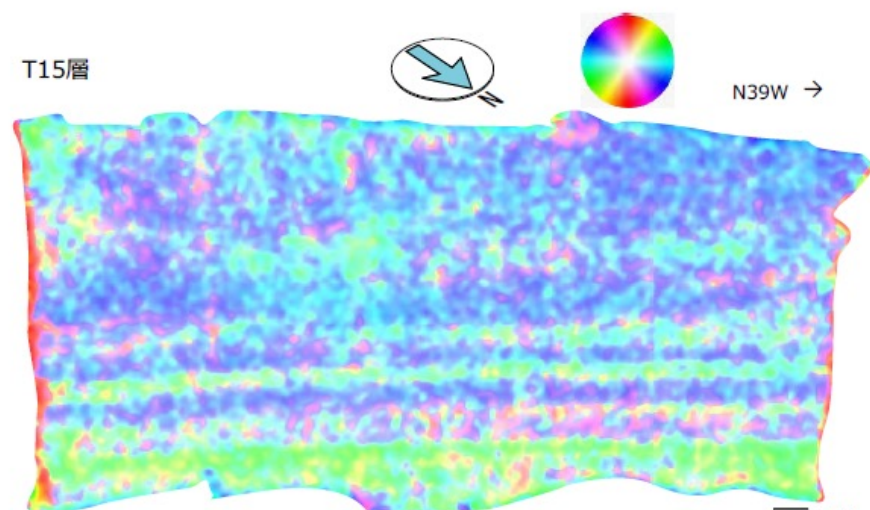
A



B



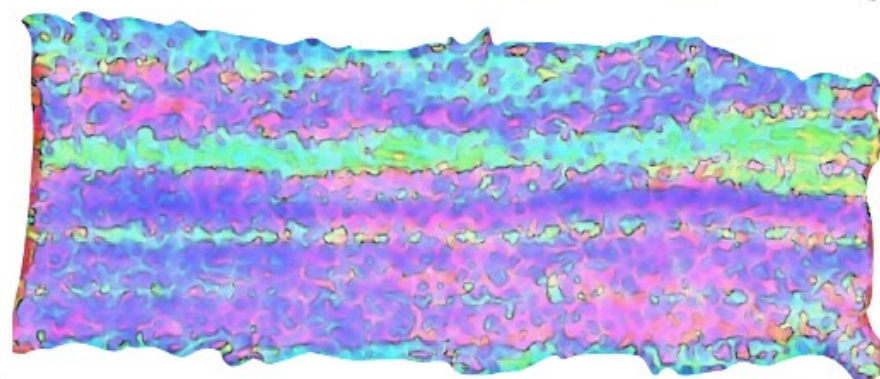
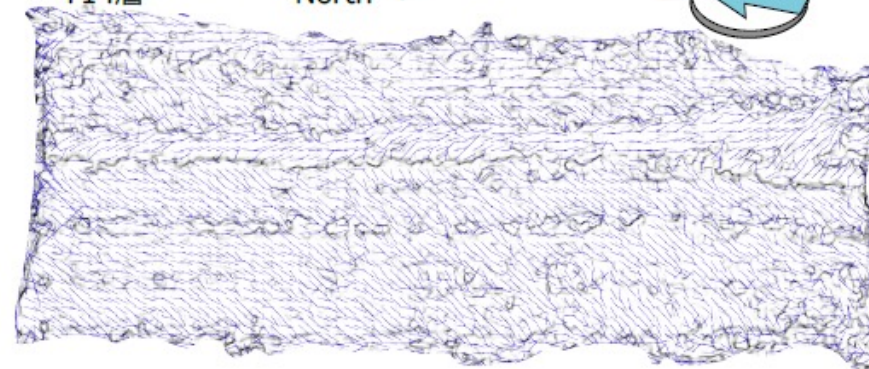
T15層



0 1 m

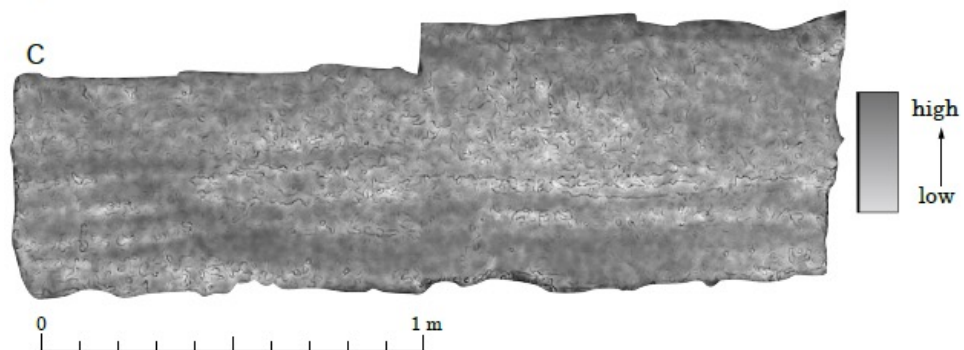
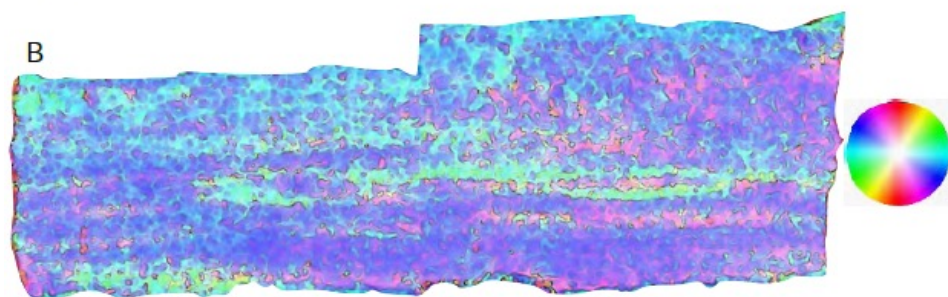
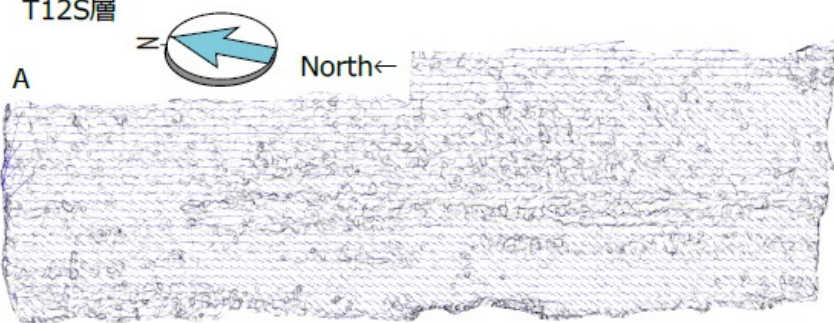
T14層

North ←

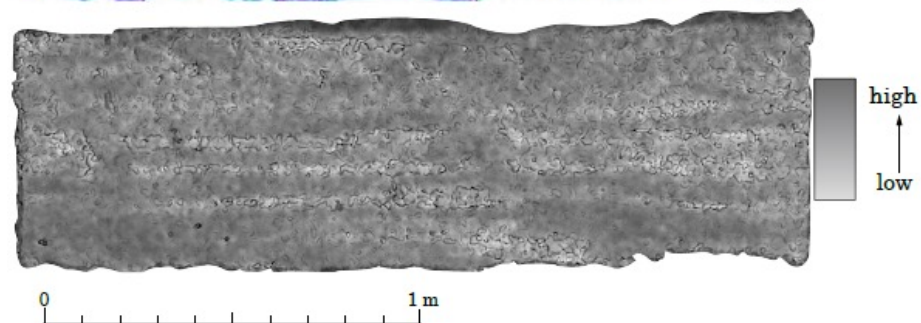
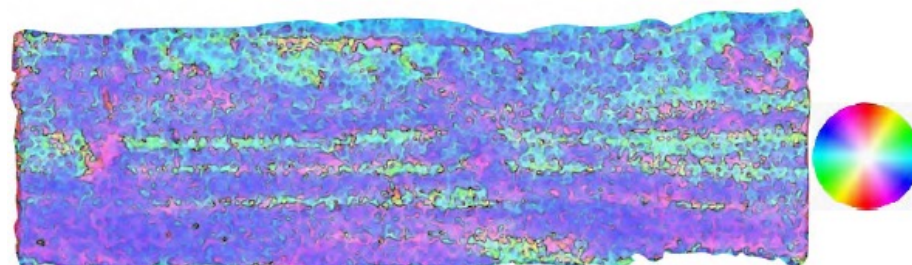
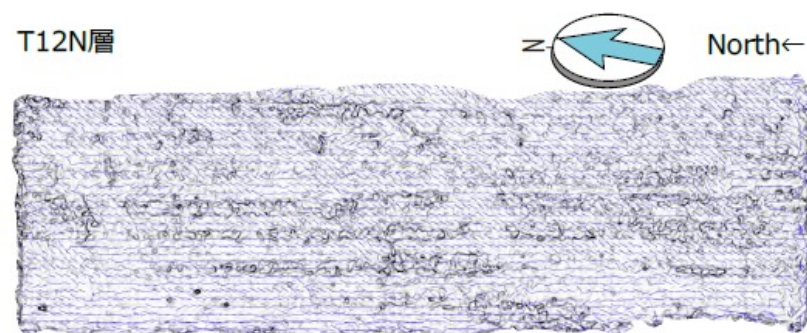


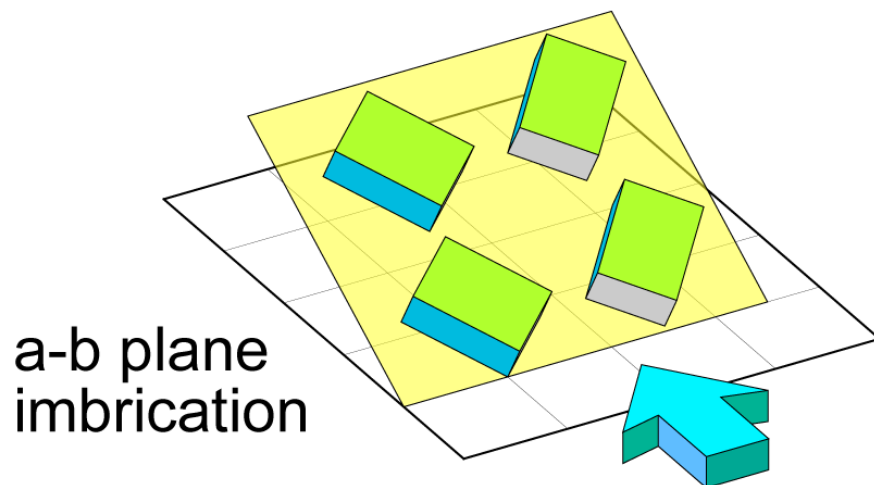
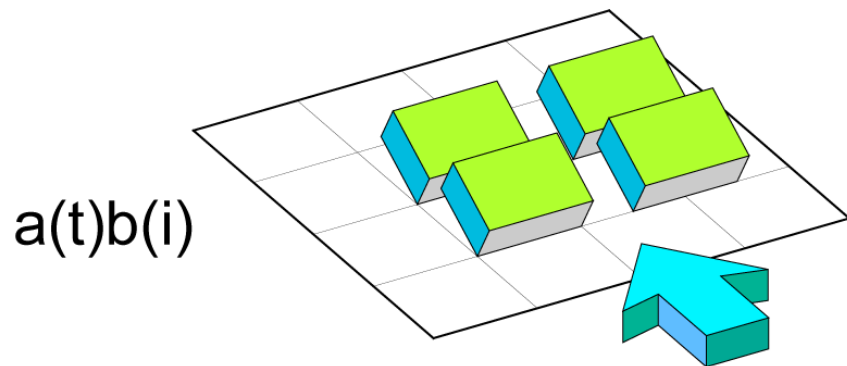
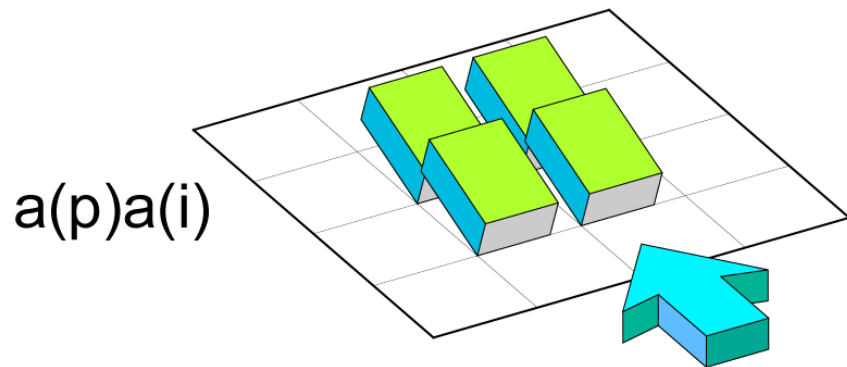
0 1 m

T12S層

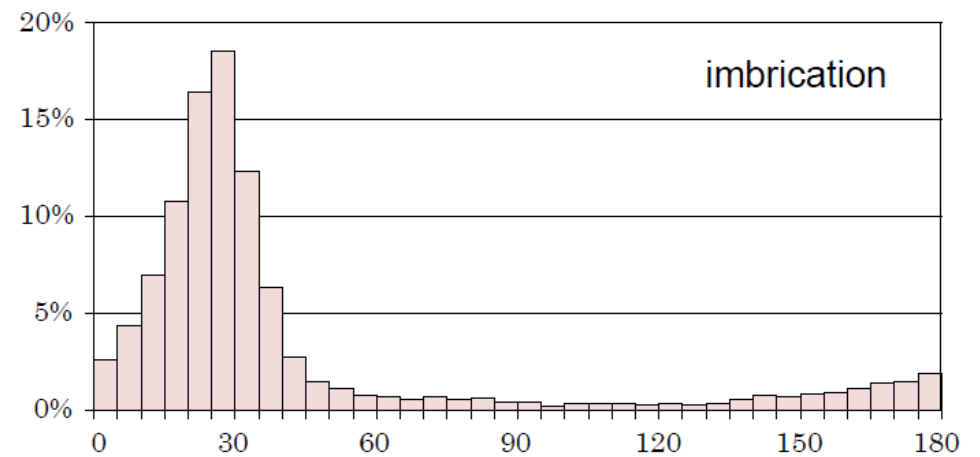
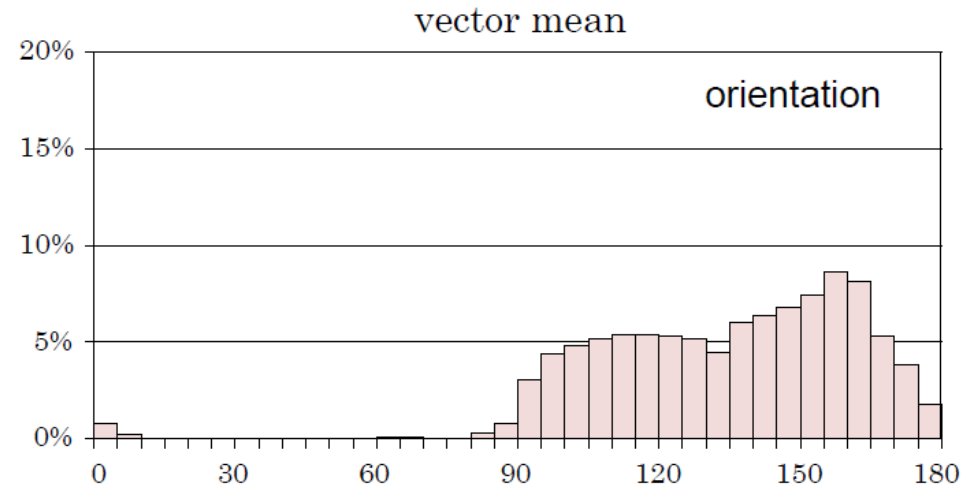


T12N層





オリエンテーションは ばらつく



インブリケーションは 集中

まとめ（１）

2次元断面の粒子方位分布

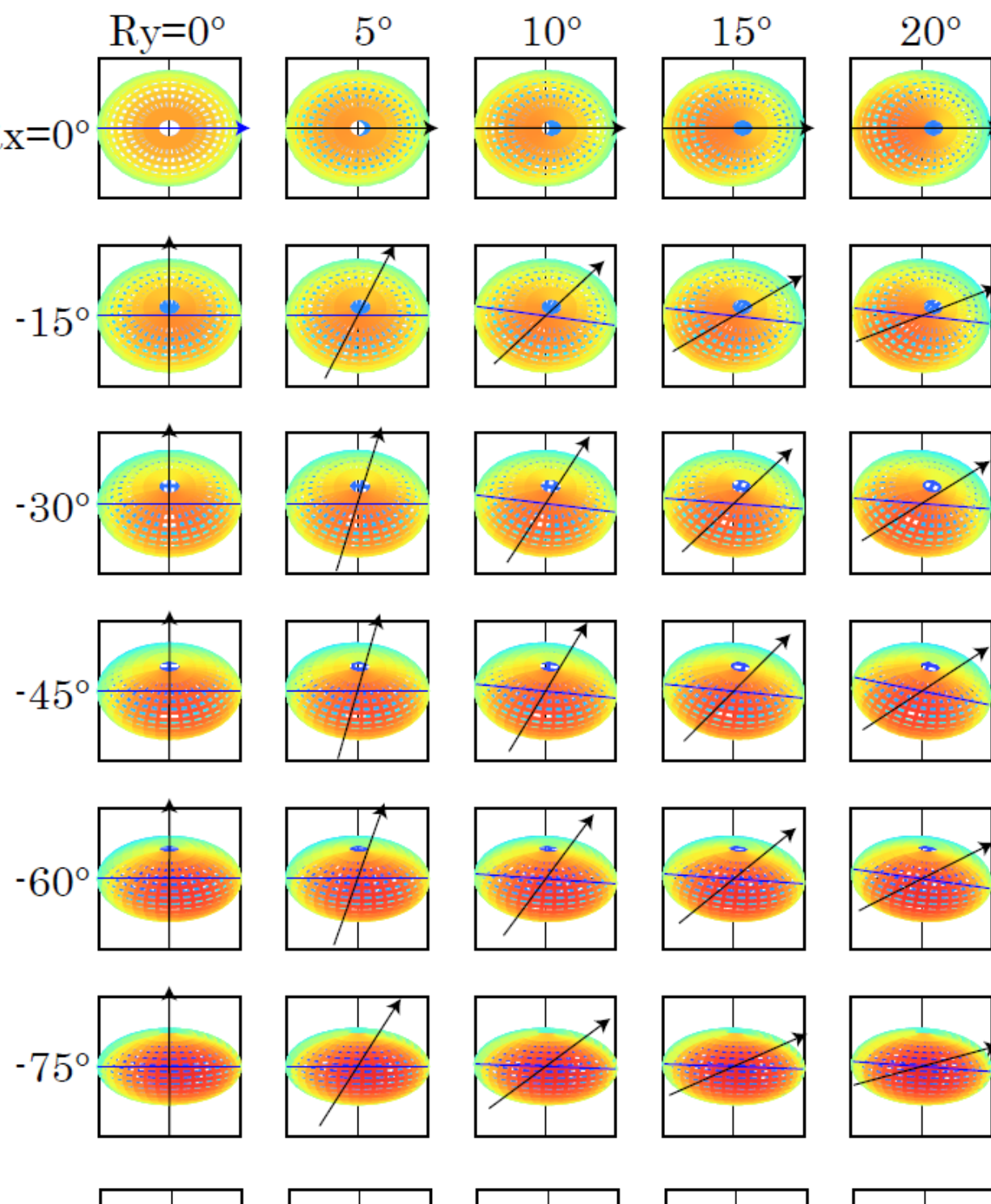
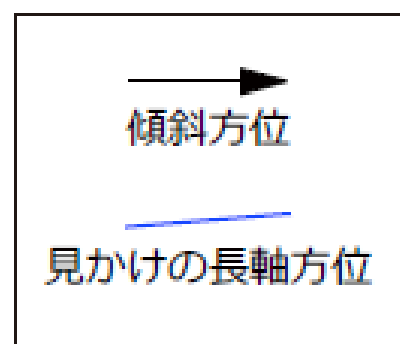
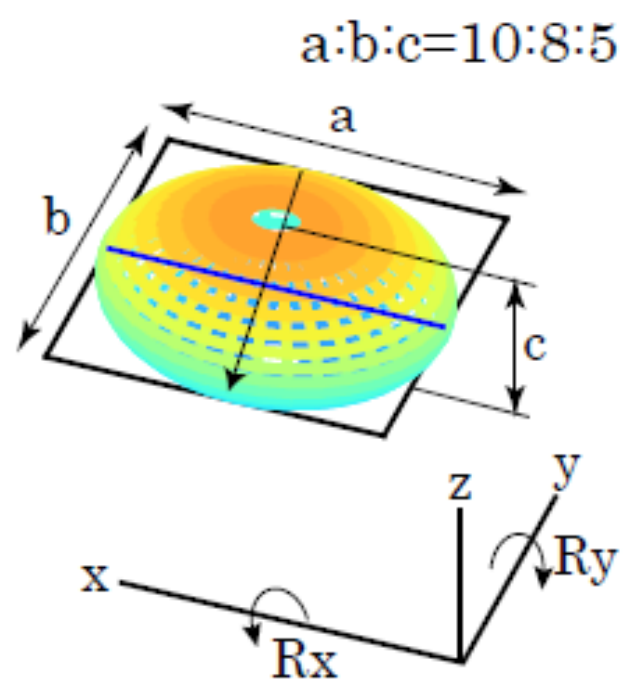
- はぎとり試料表面の粒子長軸方位分布
- スキャナ法からカメラ法
- 顕著なインブリケーションと
ランダムなオリエンテーション
- しばしば顕著なオリエンテーション
- $a(p)a(i)$ や $a(t)b(i)$ ではなく,
a-b面インブリケーション
- 塊状砂層に隠された堆積構造や変形構造を可視化することができた

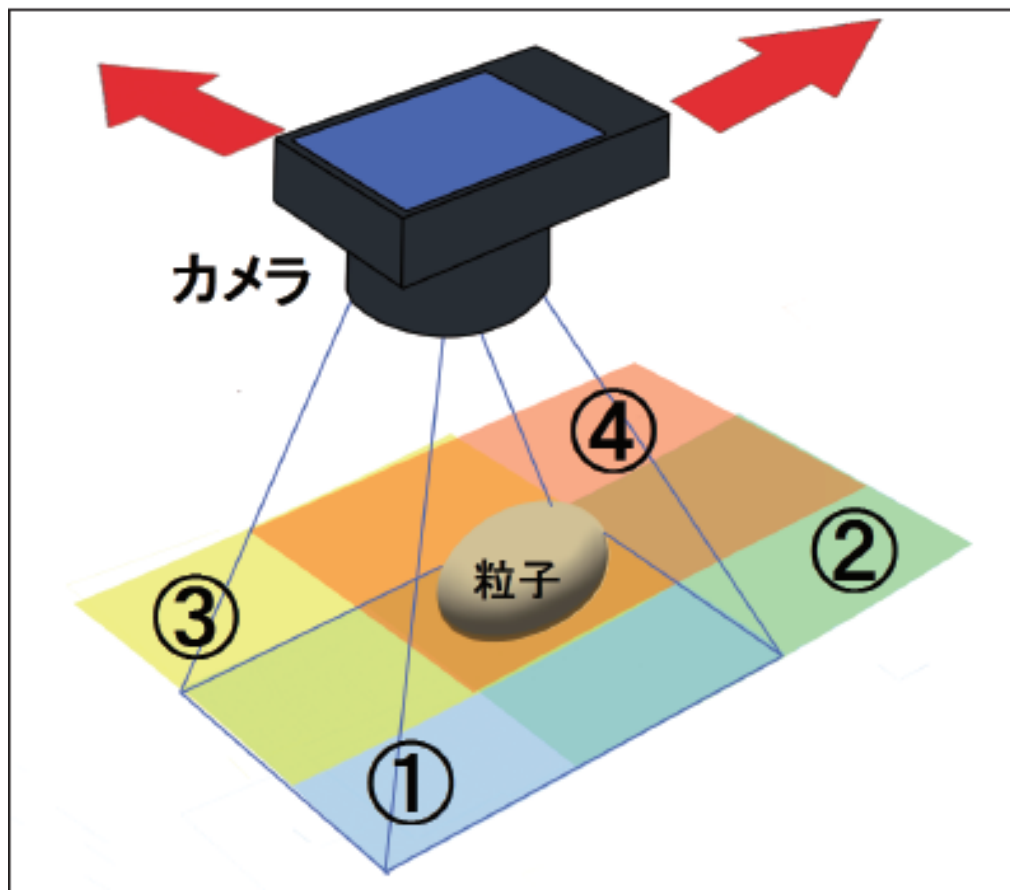
急角度すぎるインブリケーション

- 計測結果は、**みかけの**長軸方位であって
実際のインブリケーション角を示さない。

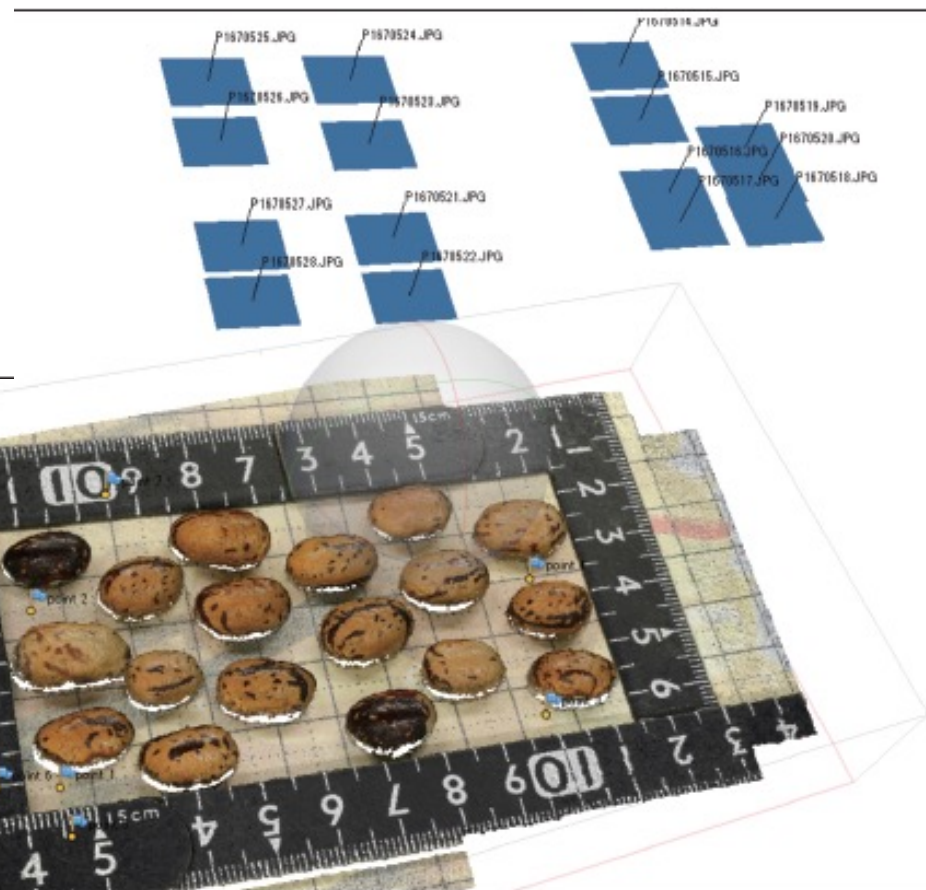
見かけの長軸方位とa軸方位との関係は、
粒子表面の傾斜分布から定性的に判断できる。

粒子群の平均方位についても同様に判断できる。





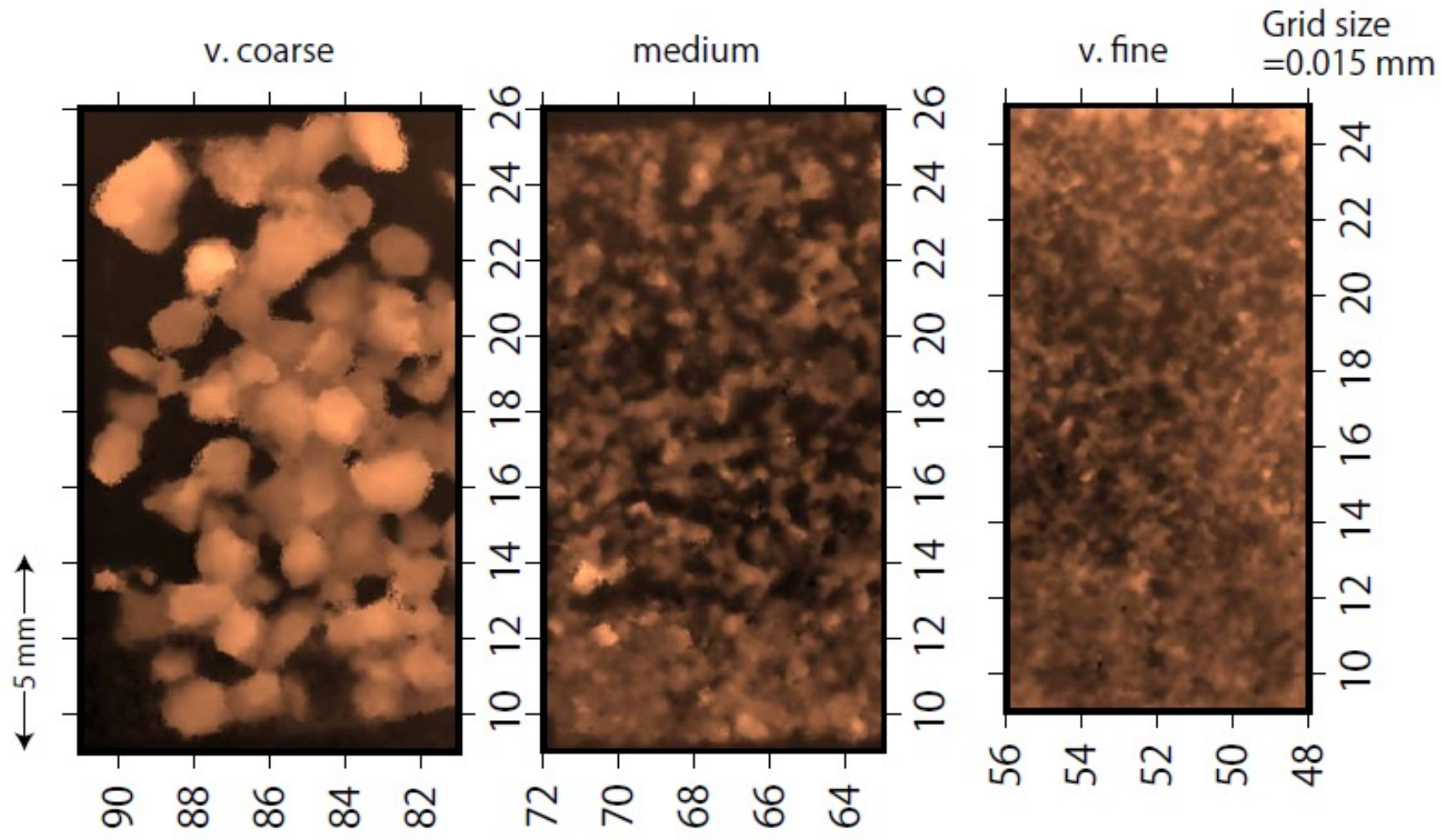
粒子表面の3D座標を計測して、傾斜量分布を求める。



広角マクロレンズ

写真測量ソフト

Photoscan TM



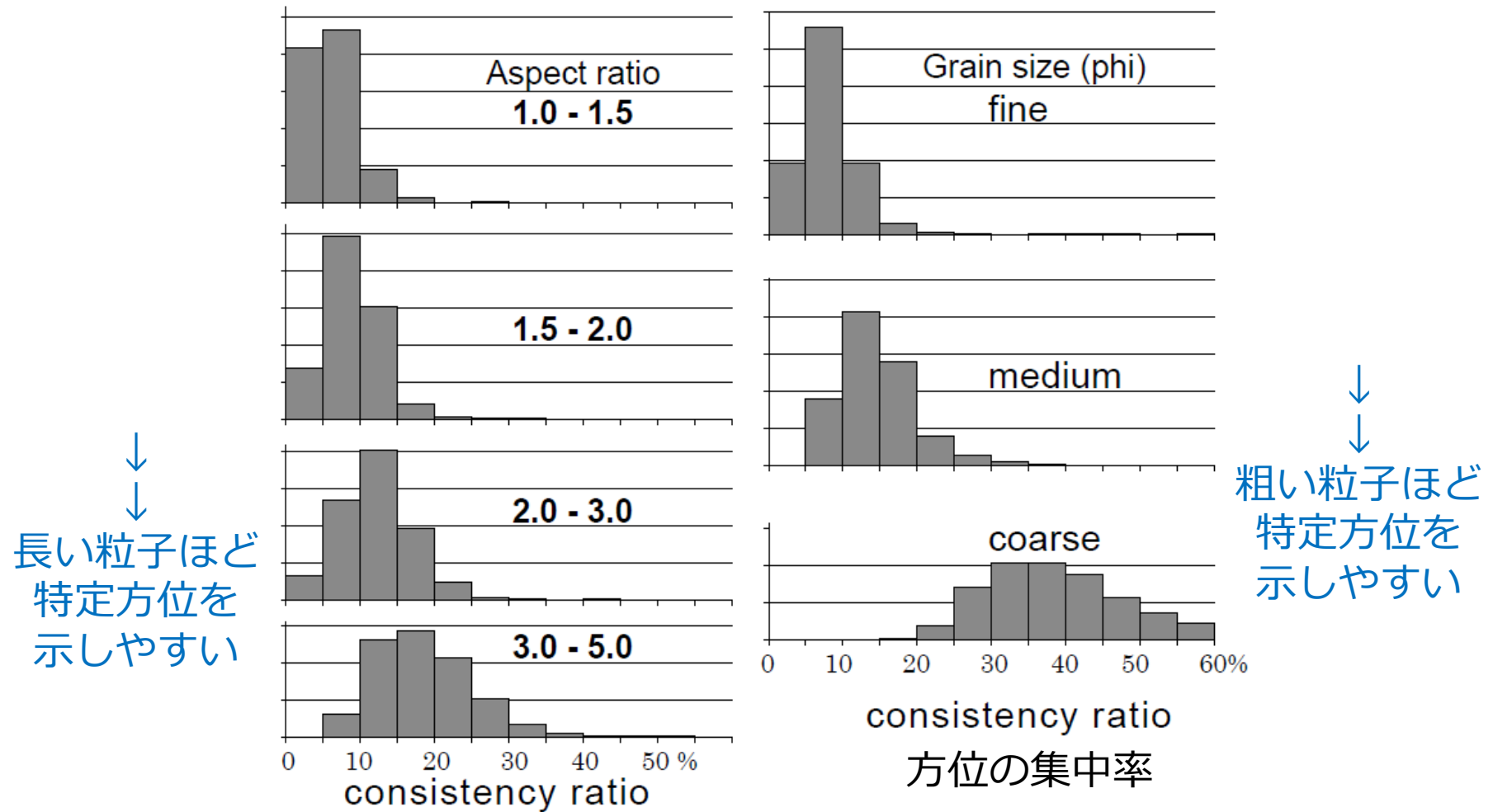
まとめ (2)

3次元ファブリック

- 擬似 3次元ファブリック
- 高角度インブリケーション問題
- みかけの長軸方位とa軸方位の違い
a-b面傾斜方位の推定

しかし, 粒子の形状に左右されるので不確実

タービダイトの砂粒子



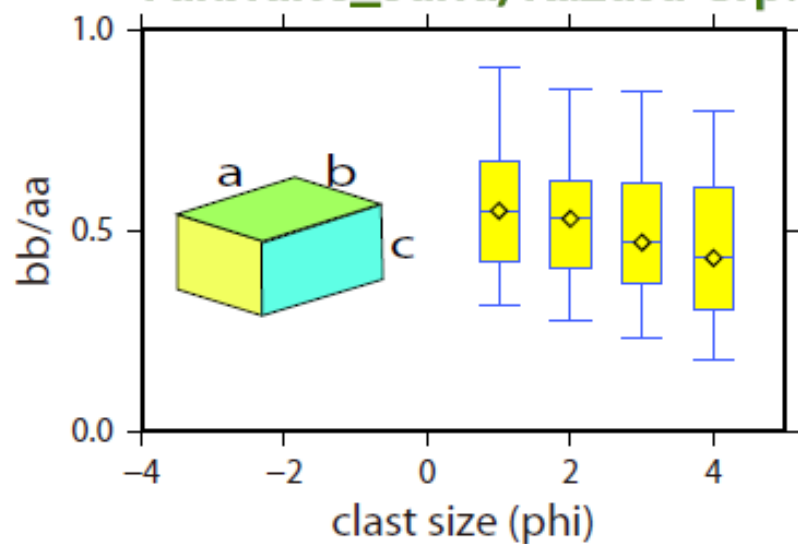
粒子の形状

- 粒度によって異なる → ファブリックの解釈
- 摩耗による変化 粒度によって摩耗も異なる？

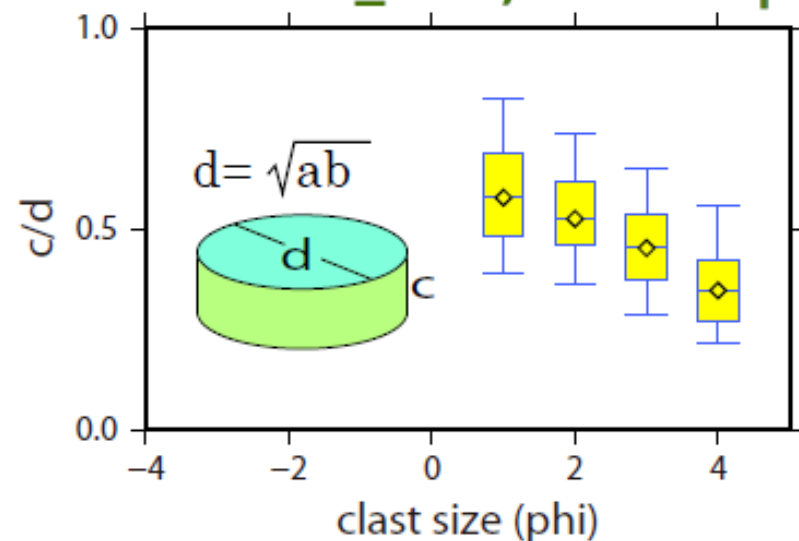
それらに一般性はあるのか？

>>> 粒度による形状差を調べた

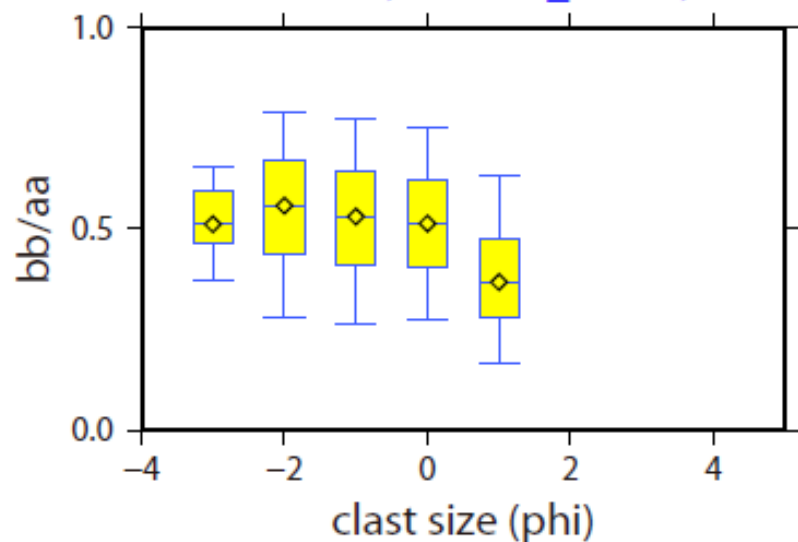
Turbidite_Sand, Kazusa Grp.



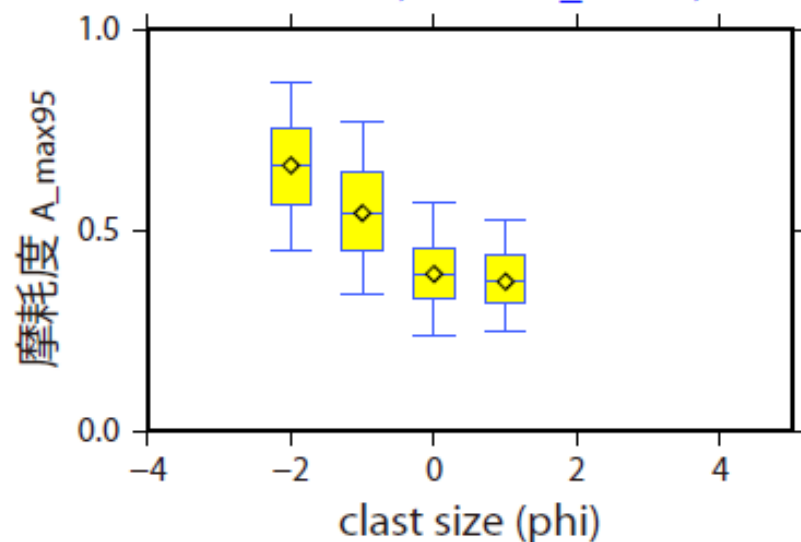
Turbidite_Sand, Kazusa Grp.



Beach Sand, Katsura_Hama, Kochi

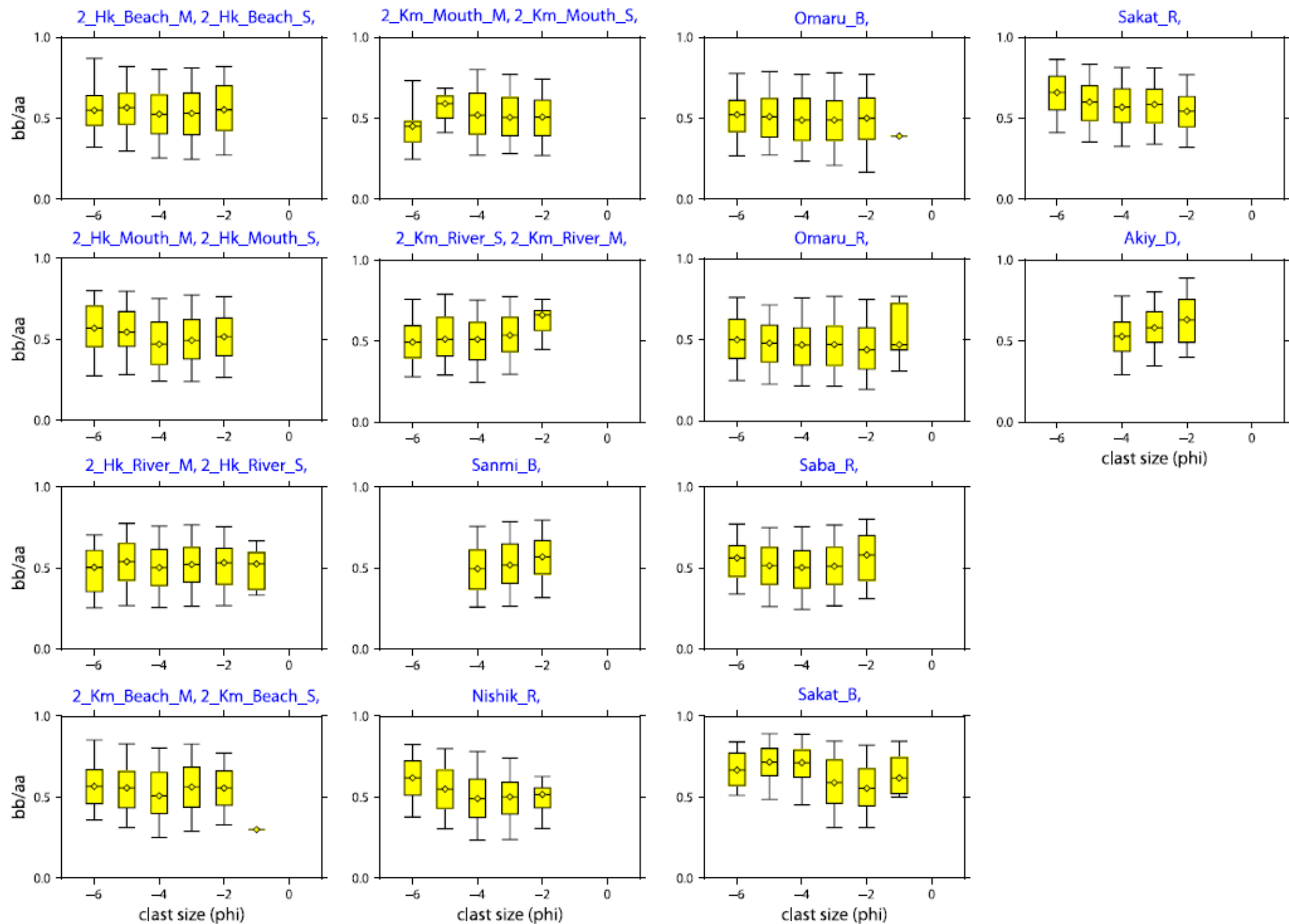


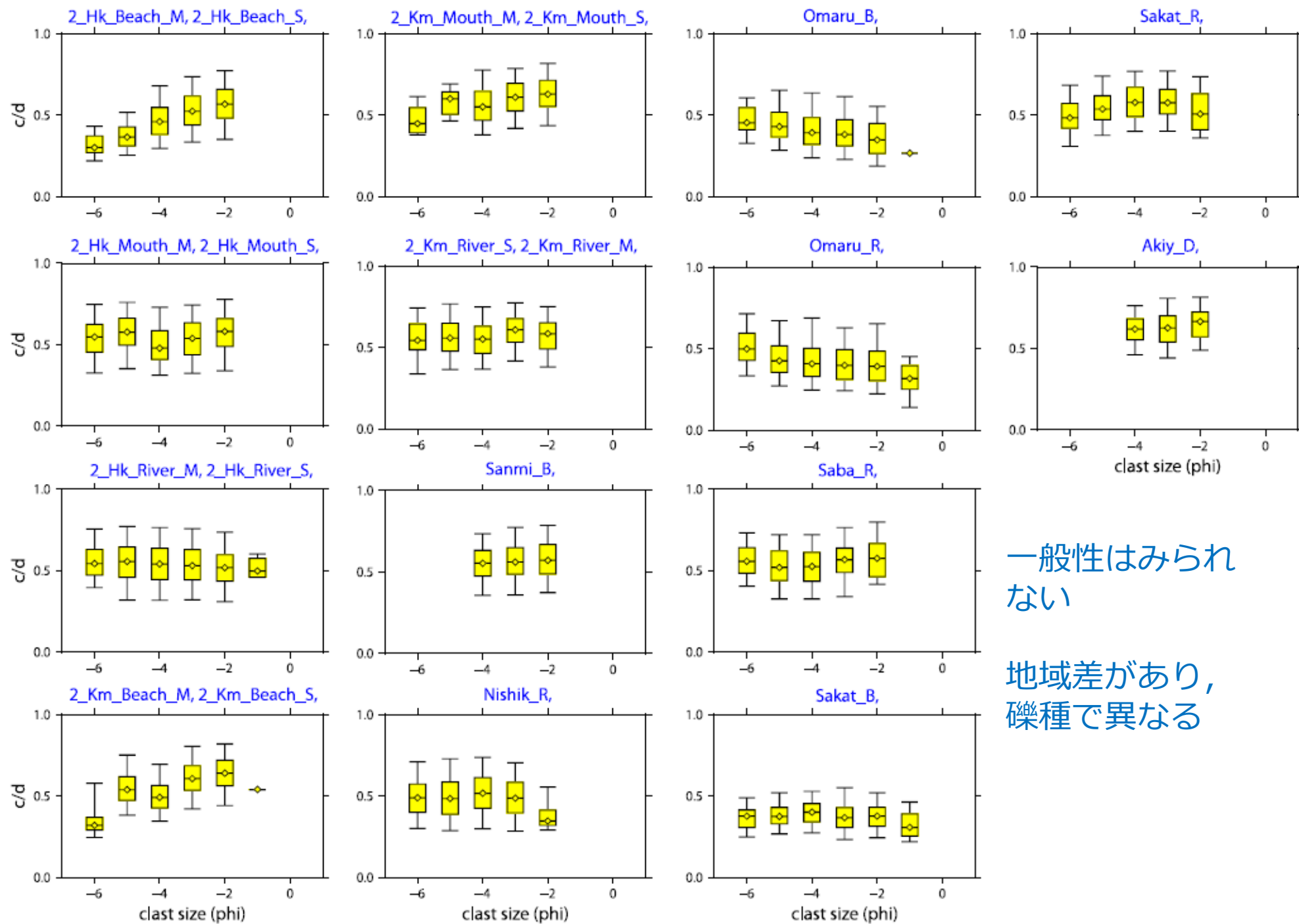
Beach Sand, Katsura_Hama, Kochi



16 4 1 1/4 1/16 mm

16 4 1 1/4 1/16 mm





一般性はみられない

地域差があり、礫種で異なる

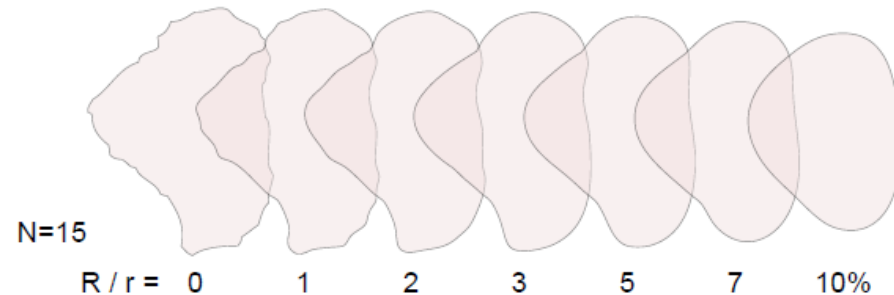
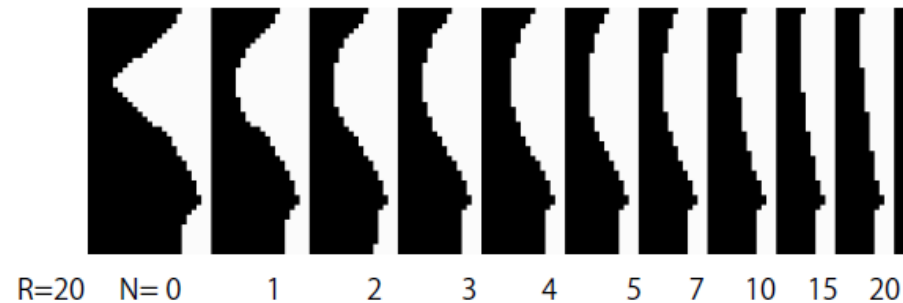
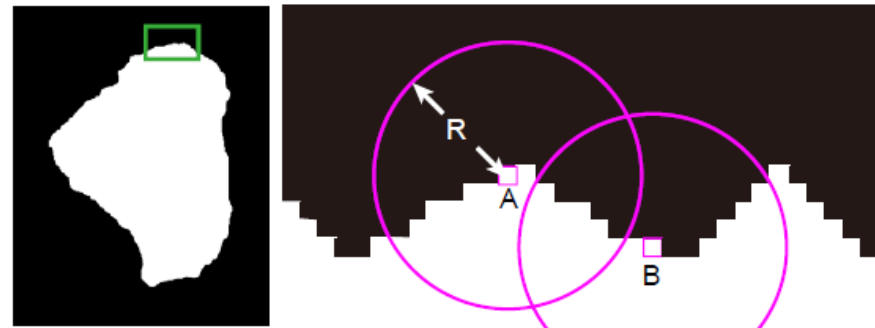
摩耗による形状の変化

- 粒子の衝突では，凸部が優先的に摩耗する.
- 新しい摩耗度指標の提唱（宮田・末広，2017）
：シルエット画像で凸部の摩耗の余地を計測
- 衝突では粗い粒子ほど摩耗しやすい.
運動エネルギーと歪エネルギーの比は，粗いほど大きい.

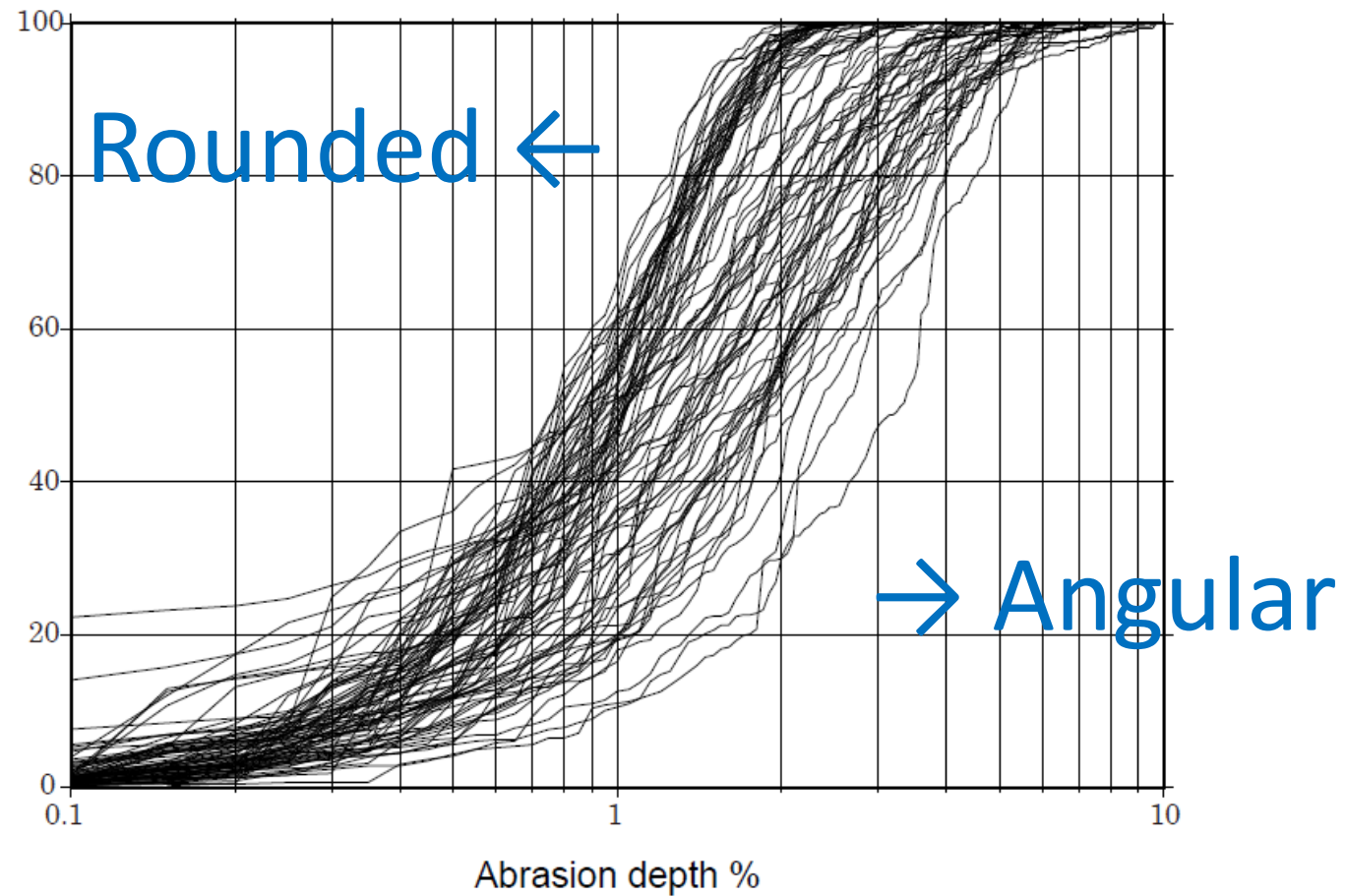
画像粒子の摩耗

1. 半径 R の円内で
白/黒の多い方の
色に変える.
2. この操作をすべての
の白セルに行う.
3. 上記の操作を
 N 回ほどこす.

R = 粒子平均半径の3%
 $N=15$



(摩耗深さ/粒子の平均半径) の周方向分布



摩耗度：新しい円磨度指標

- 一定の摩耗操作を加えたときの摩耗深さ
その平均，標準偏差，最大値に着目

同面積の円に同じ摩耗操作を加えたときの
摩耗深さの平均，標準偏差，最大値と比較

摩耗度 A = (円の摩耗深さ / 試料の摩耗深さ)

$0 < A < 1$, A_{av} , A_{std} , A_{max95} など

実測例

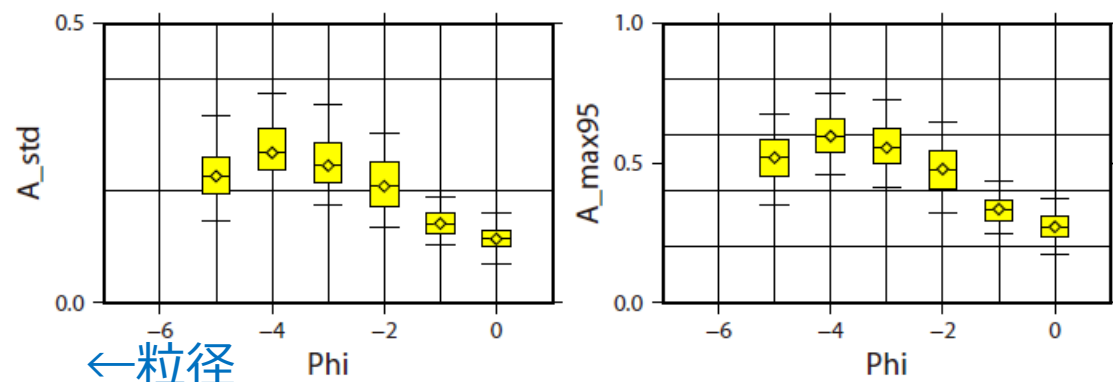
大きな粒子ほど
摩耗が進んでいる

↑
摩耗度

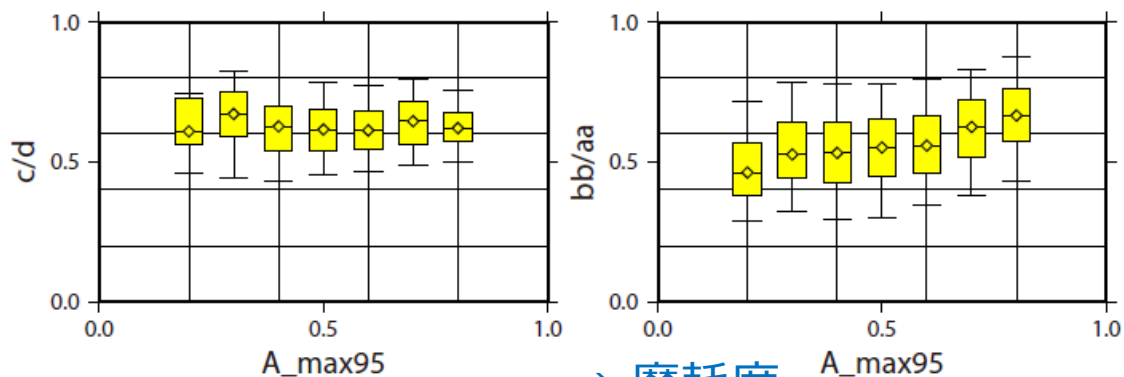
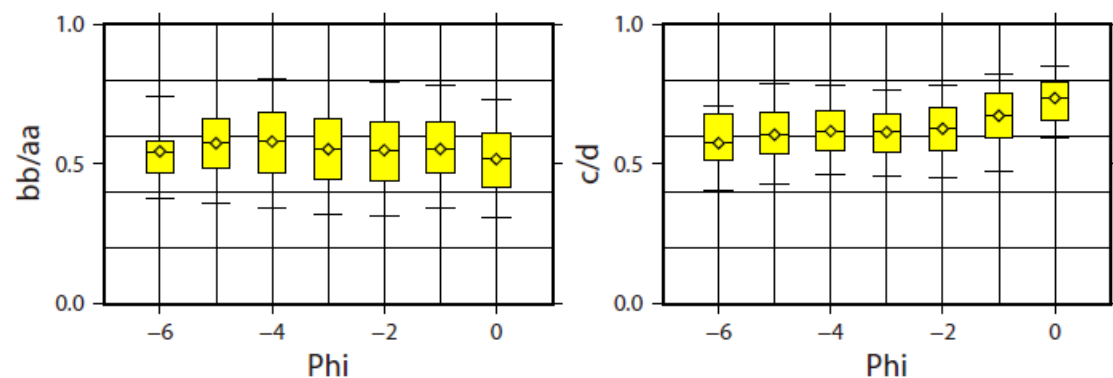
←粒径

仁淀川 石英礫

礫 ← | → 砂



摩耗した粒子ほど丸い
(細くない)

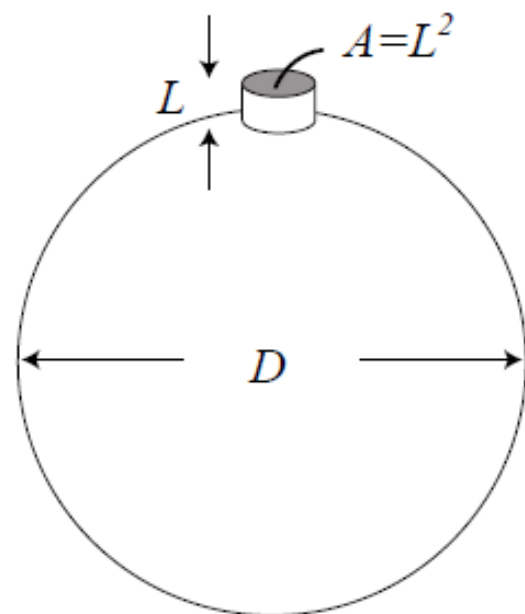


→ 摩耗度

1. 運動エネルギー K

粒子の直径を D , 密度を ρ_s , 質量を M , 速度を v とすると,

$$K = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \frac{\pi}{6} \rho_s D^3 v^2 \quad (1)$$



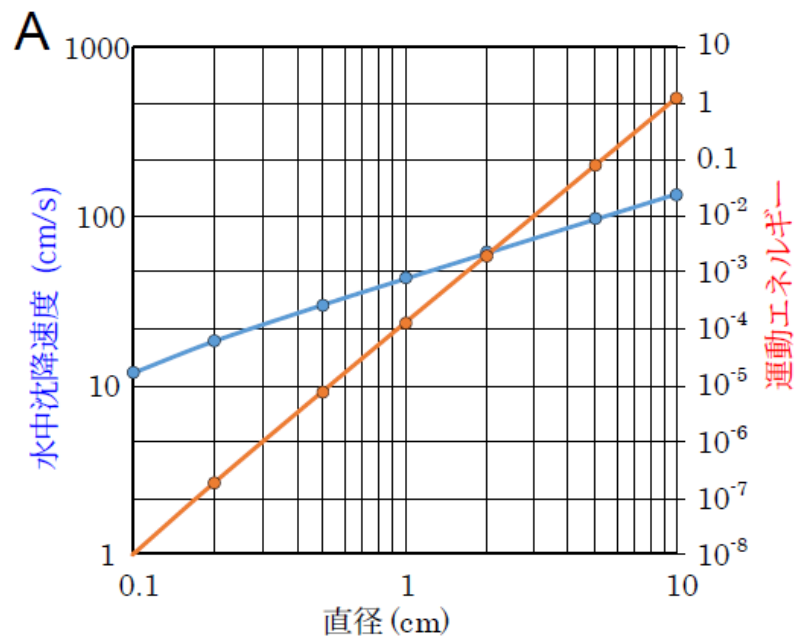
2. 歪エネルギー U

弾性係数を E とすると,

$$W = \int_0^{l_{max}} \frac{E A l}{l_{max}} dl = \frac{E A}{2 L} l_{max}^2 = \frac{E}{2} L l_{max}^2$$

外力 P がした仕事 W は, 突起の破壊までに歪エネルギー U として

$$U = W = \frac{E}{2} L l_{max}^2$$



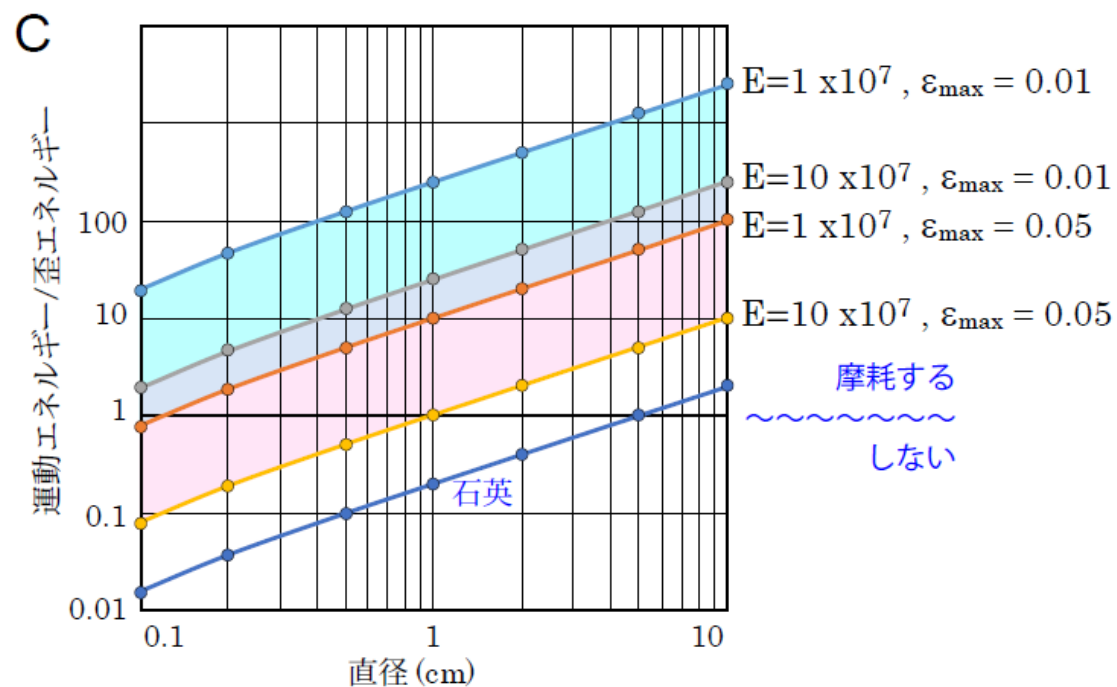
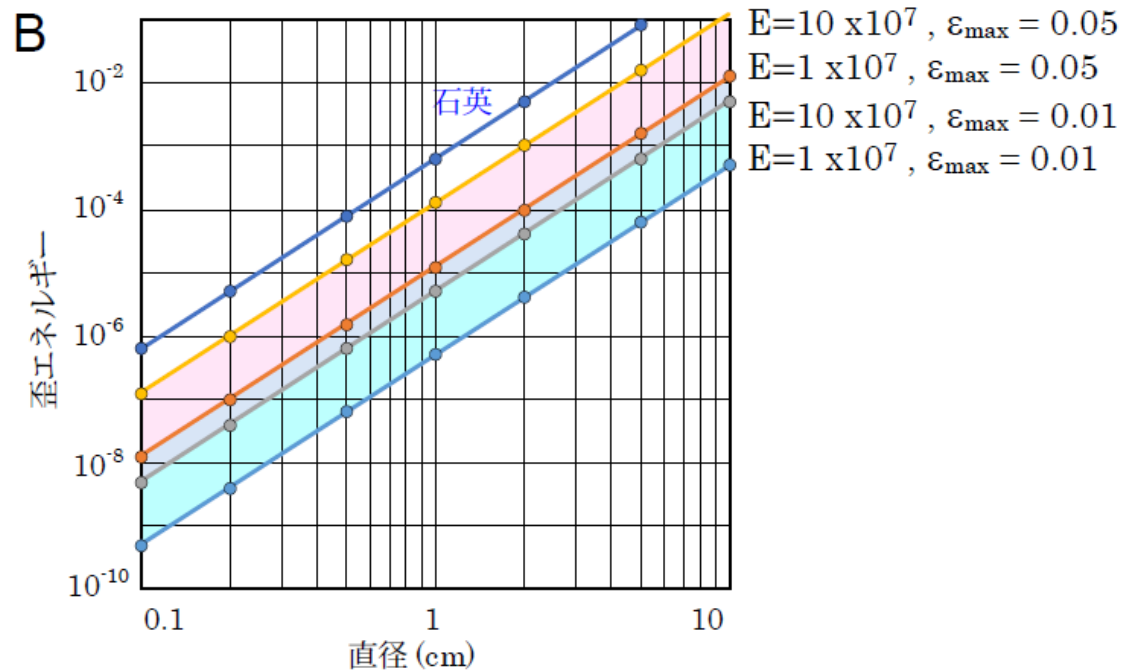
堆積岩類 (砂岩・泥岩)

ヤング率 E 1~10 x10⁹ N/m²

限界歪み $\epsilon_{\max}$ 0.01~0.05

密度 2.65 g/cm³

突起部の高さ / 直径 =1%



まとめ (3)

粒子の形状と円磨度

- 新しい摩耗指標とその計測法
- 大きな粒子ほど摩耗が進む
- 摩耗が進むと、固い岩石(鉱物)は球形に、
- 粒状で柔らかい岩石は円盤状に近づくらしい。

しかし、

- 川が短く歴史の浅い日本列島には、
摩耗の進んだ礫はあっても、砂はないだろう。

最近，山口でみつかったもの

