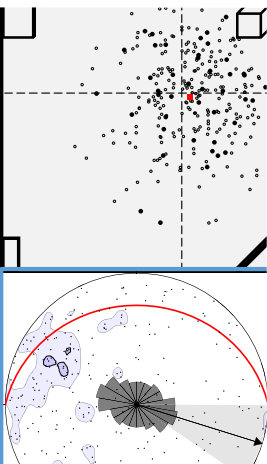
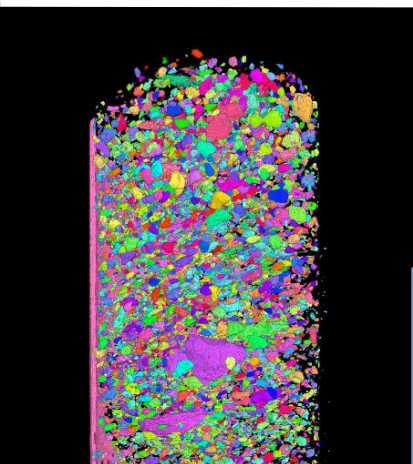
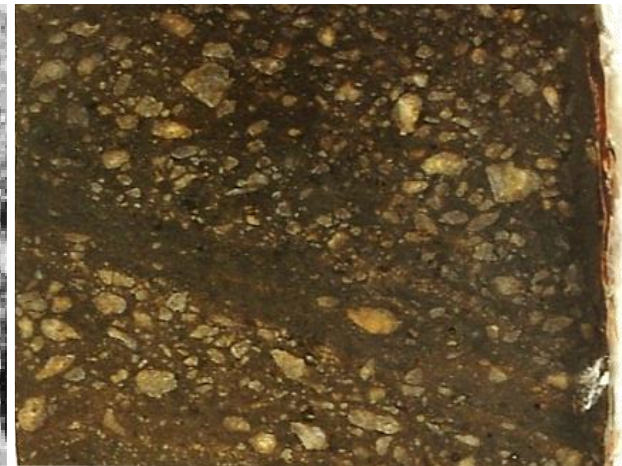
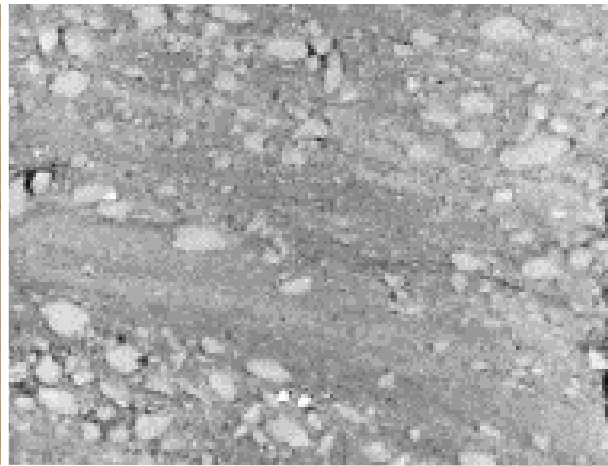


# 高品質ボーリングコアを用いた 周氷河堆積物の観察および解析



エネルギー・環境・地質研究所 地域地質部 地質防災グループ  
研究主任 小安浩理

# 本日の内容



- 周氷河斜面と周氷河堆積物
- 高品質ボーリングコアの特徴
- 肉眼によるコア表面の観察
- X線CTによるコア内部の観察
- 樹脂固化標本による微細構造の観察
- CT断層画像による粒子の三次元解析
- 透水試験による透水性の解析
- 三軸試験によるせん断強度の解析
- まとめ

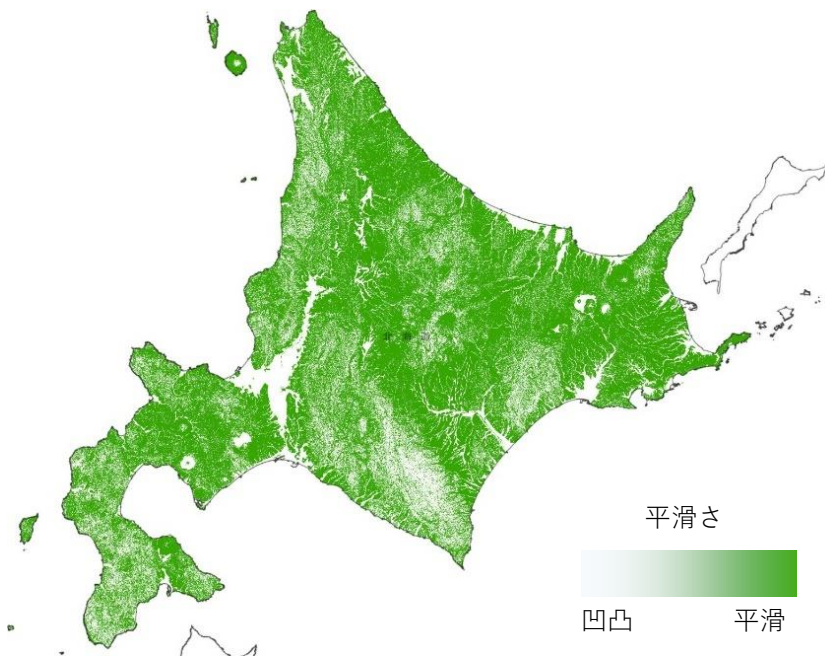
# 周氷河斜面とは



周氷河作用により形成された平滑な緩斜面



典型的な周氷河斜面（礼文島）



道内における平滑な斜面の分布  
(周氷河斜面以外の平滑な緩斜面も含む)

## 最近まで斜面災害が少なかった

# 周氷河斜面の崩壊



## 崩壊面に周氷河堆積物が露出



2016年北海道豪雨での斜面災害

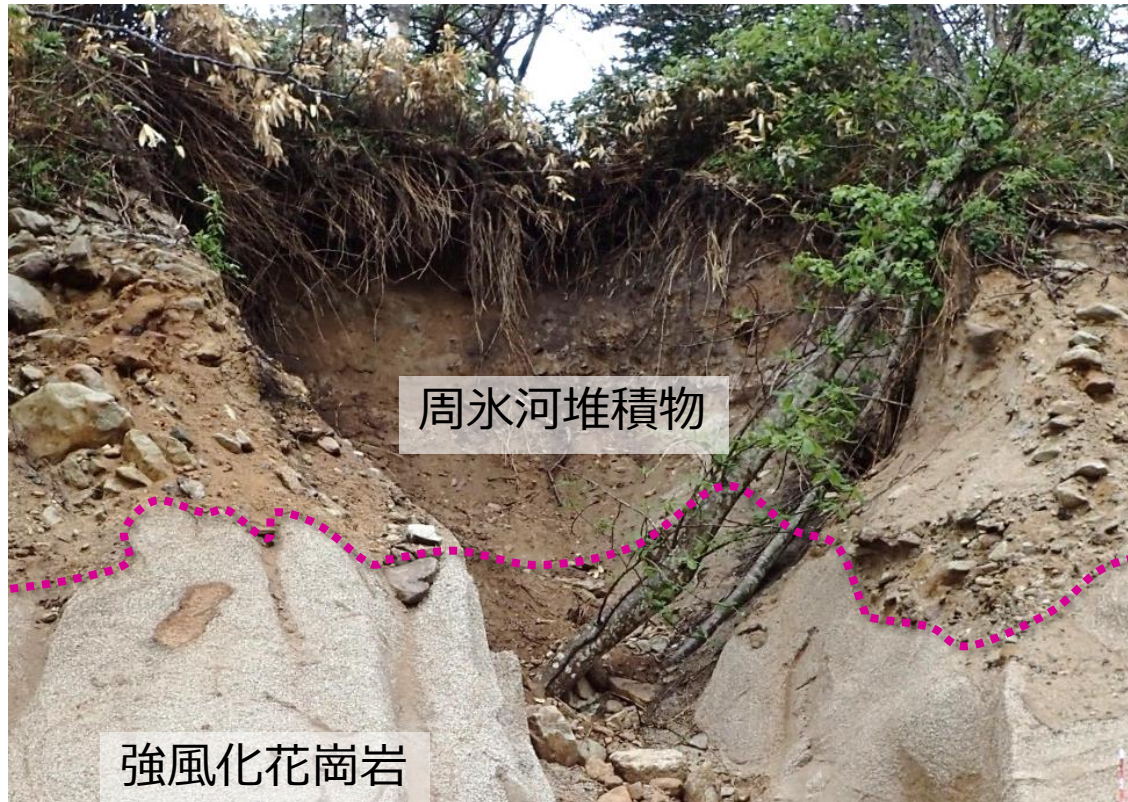


崩壊斜面近傍に見られた露頭

# 周氷河堆積物～現状の認識～



一般には「角礫主体の淘汰の悪い堆積物」として一括  
→詳細な層相や構造（特に細粒部）が不明



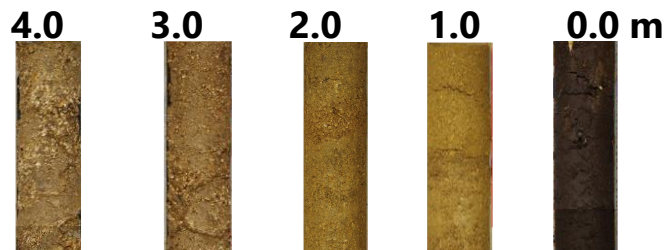
## 周氷河堆積物の特徴の把握が必要

# 乱さない周氷河堆積物の採取

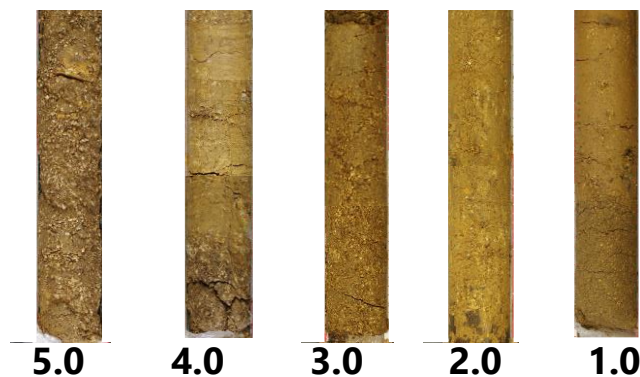
標準貫入試験のコア



高品質ボーリングコア



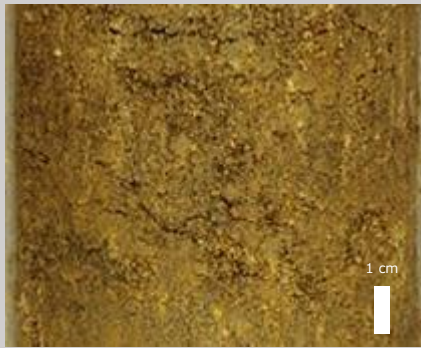
- 回収率が高い (~100%)
- 原位置の構造を乱さずに採取



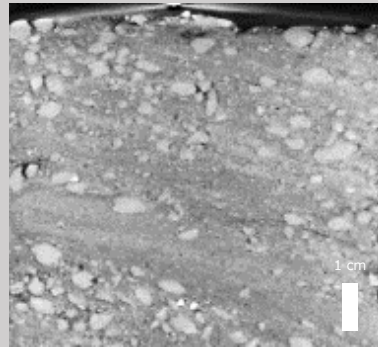
# 高品質コアから得られる情報



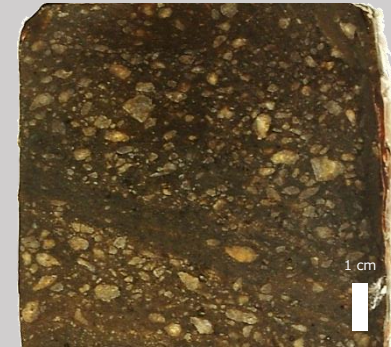
## 堆積物の微細な構造



肉眼観察

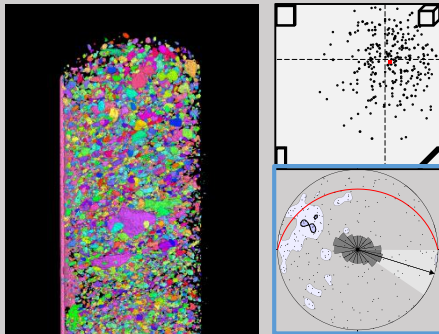


X線CT



樹脂固化

## 粒子の三次元配列



画像粒子解析

## 乱さない試料の土質試験



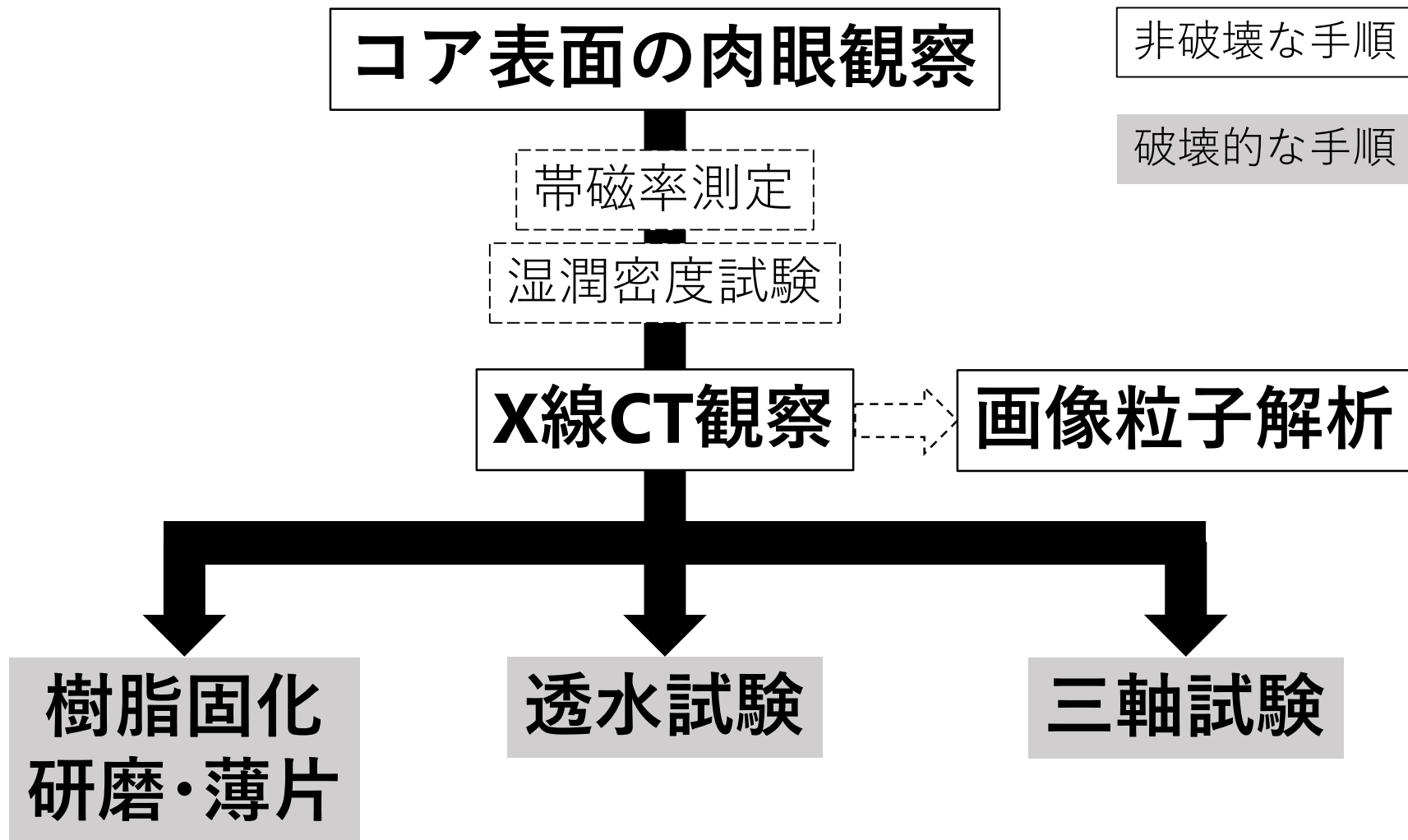
室内透水試験



三軸試験(CUbar)

# 高品質ボーリングコアの解析手順

乱さない試料を活かす解析フロー

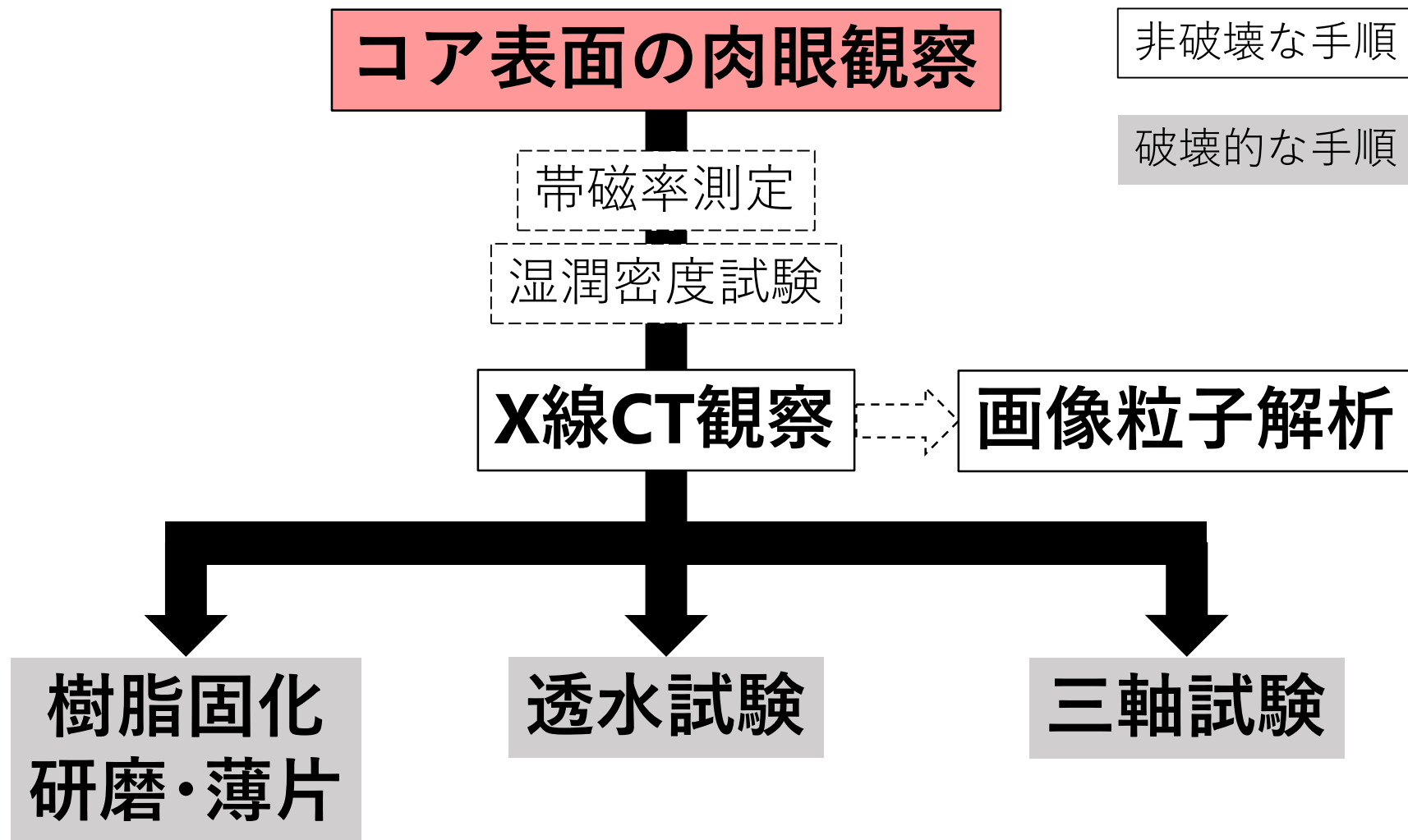




# 肉眼によるコア表面の観察



乱さない試料を活かす解析フロー



# 肉眼観察 ～コア表面のクリーニング～

クリーニング  
前のコア



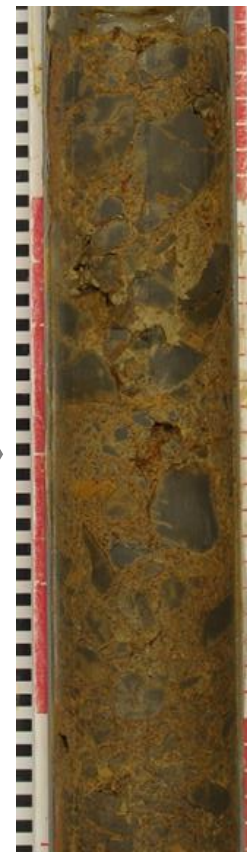
スクレイパー、ナイフ  
による被膜の除去



ハケ、霧吹きによる  
洗浄



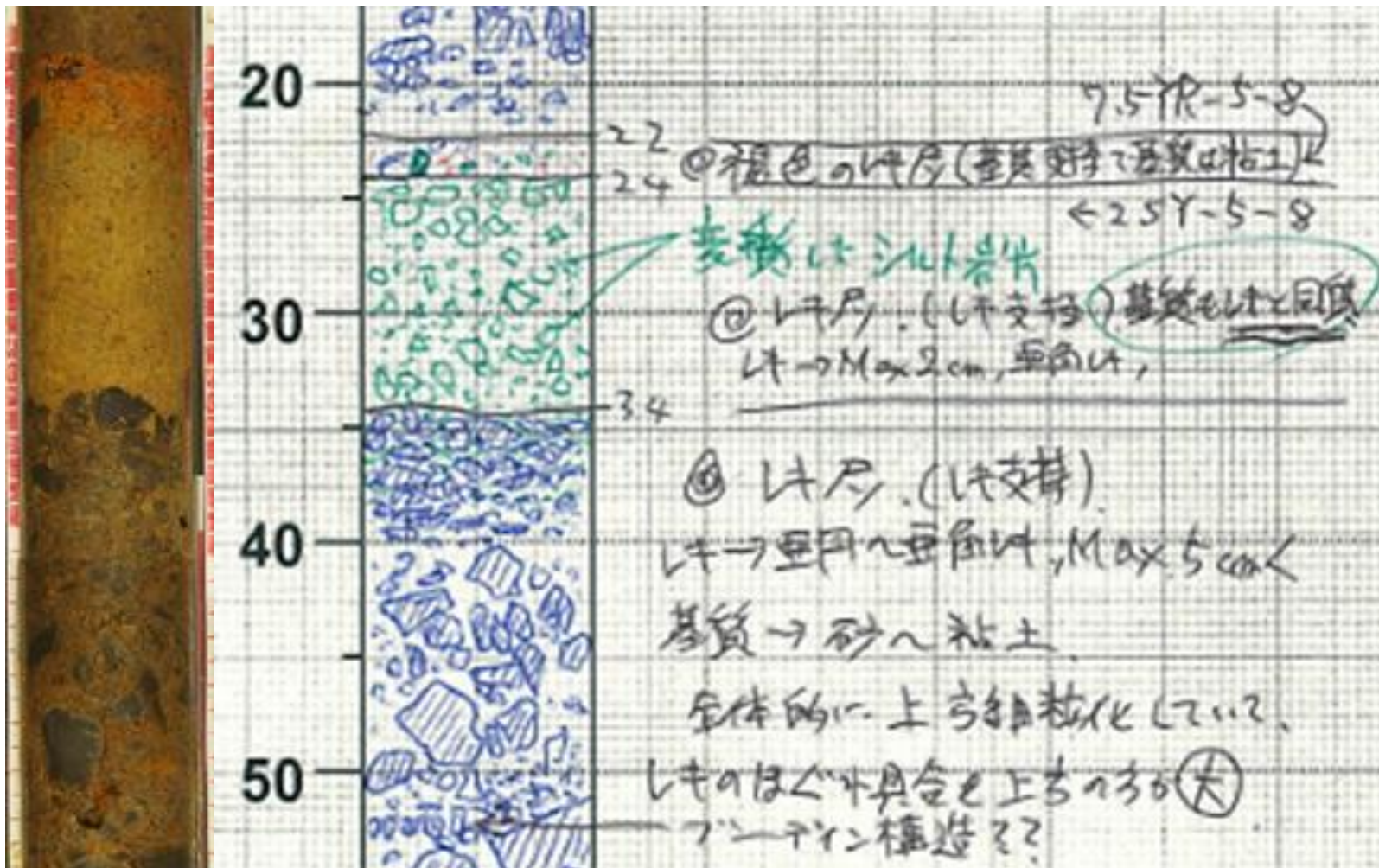
クリーニング  
を終えたコア



# 肉眼観察 ～コアの記載～



柱状図 記載：粒径・粒子形状・成層構造・色調など



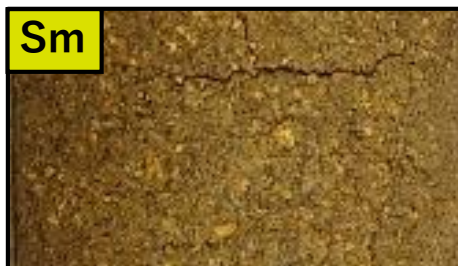
# 肉眼観察 ～層相区分～



粒径と成層構造の有無などにより細分



Mm  
礫質シルト(塊状)



Sm  
礫質砂(塊状)



Gm  
砂質礫



MI  
礫質シルト(成層)



SI  
礫質砂(成層)



Gc  
角礫

5 cm

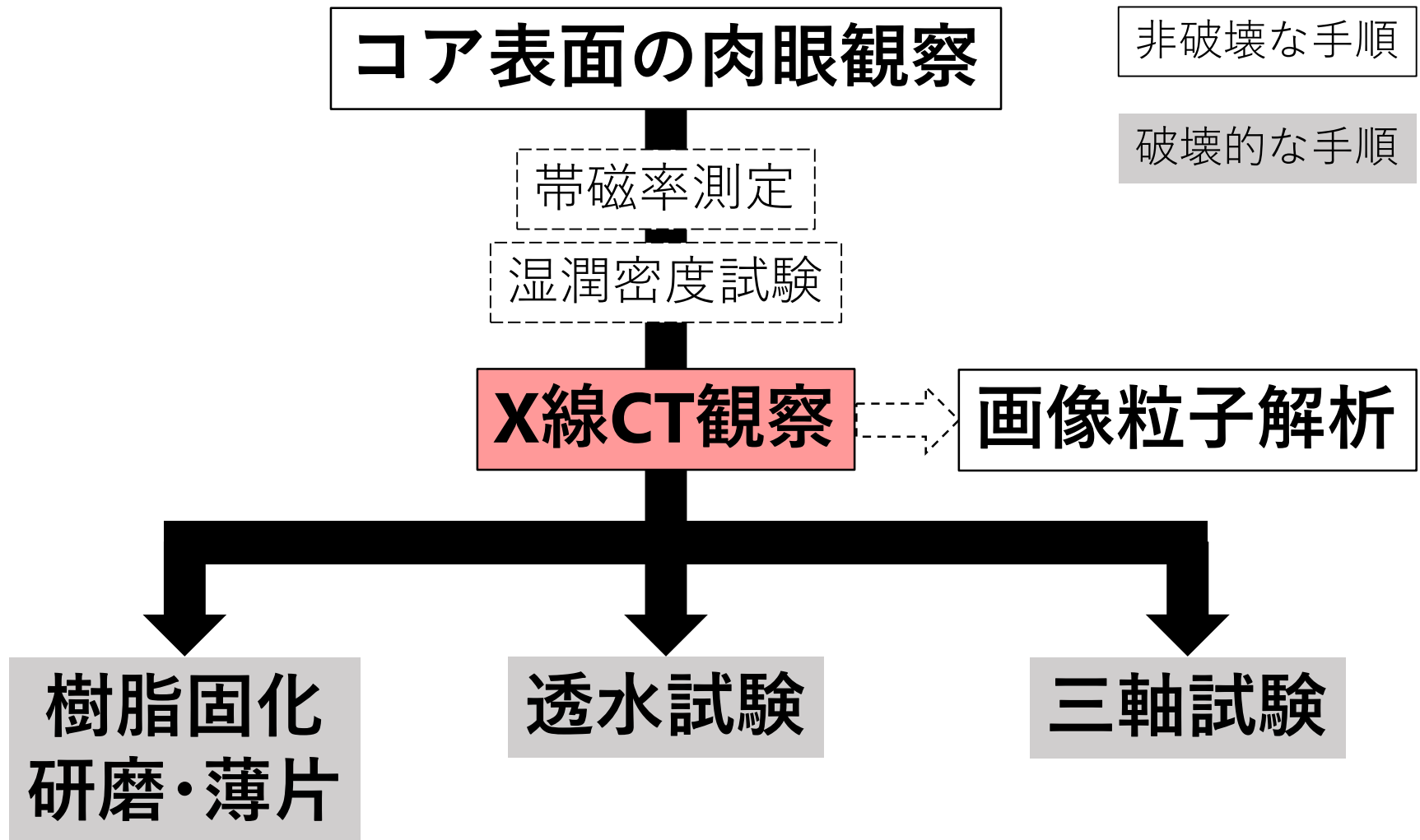


Gi  
角礫(孤立)

# X線CTによるコア内部の観察



乱さない試料を活かす解析フロー

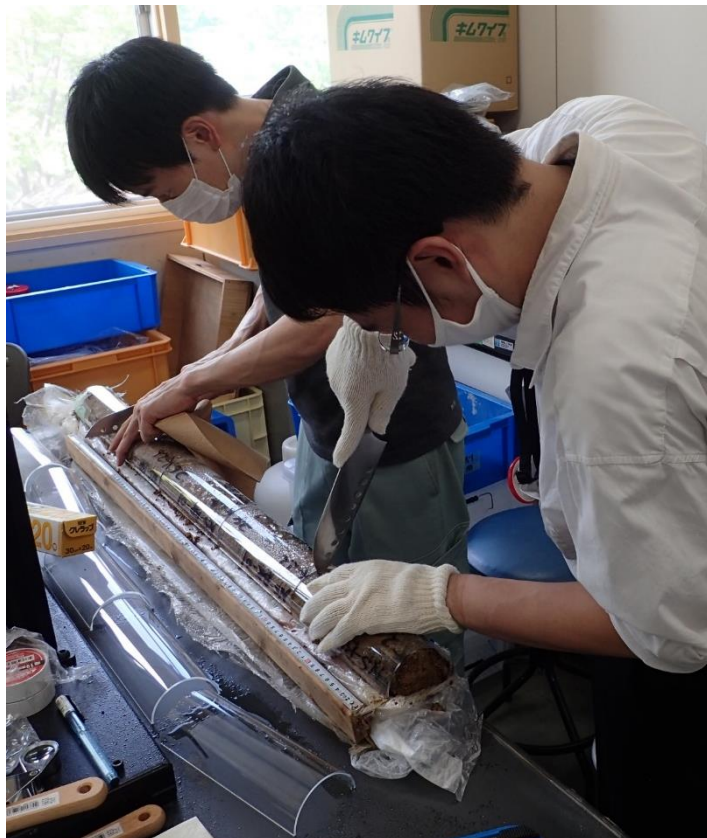


# X線CT ～供試体の調整～



## 試料の固定・保護と可搬性を考慮

コアを慎重に切断  
(～20 cm長にする)



半割した塩ビ管で挟み  
ラップで保護



※重量を測定(→湿潤密度の算出)

# X線CT ～撮影～



堆積構造を確認しやすいよう設定を調整して撮影

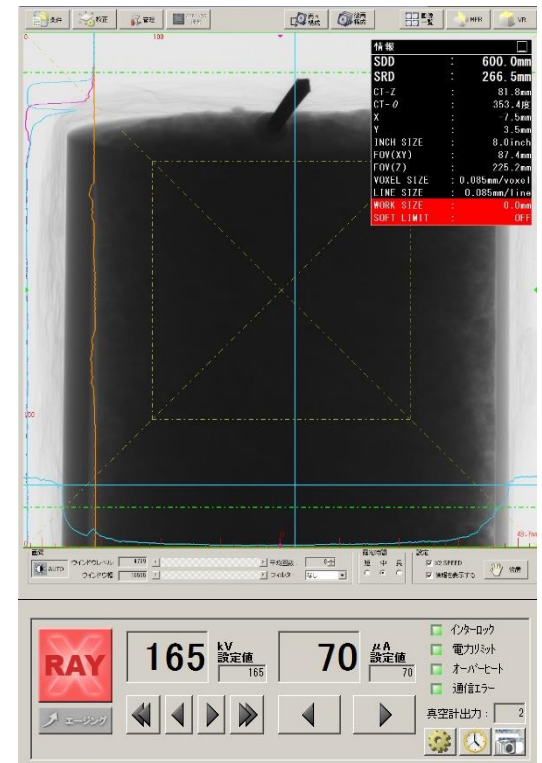
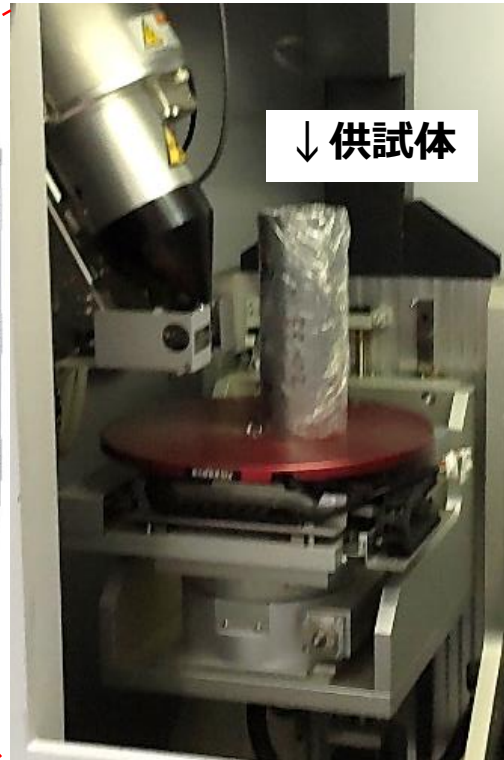
コア供試体を設置しX線を照射

透過像を確認し  
撮影条件を設定



inspeXio SMX-225CT  
(道総研所有 開放使用設備)

※道総研webサイトより



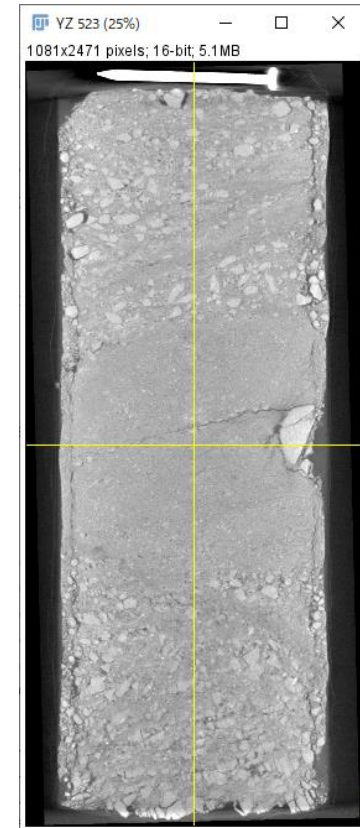
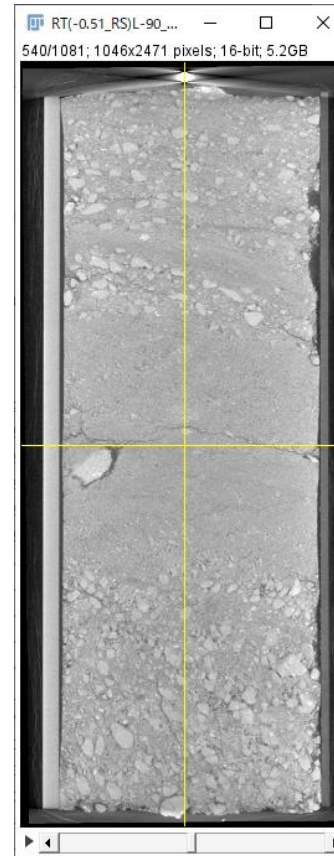
# X線CT ～撮影画像の処理～



内部構造を任意の断面、非破壊で観察

コントラスト・傾きの調整

任意方向で直交断面画像を作成



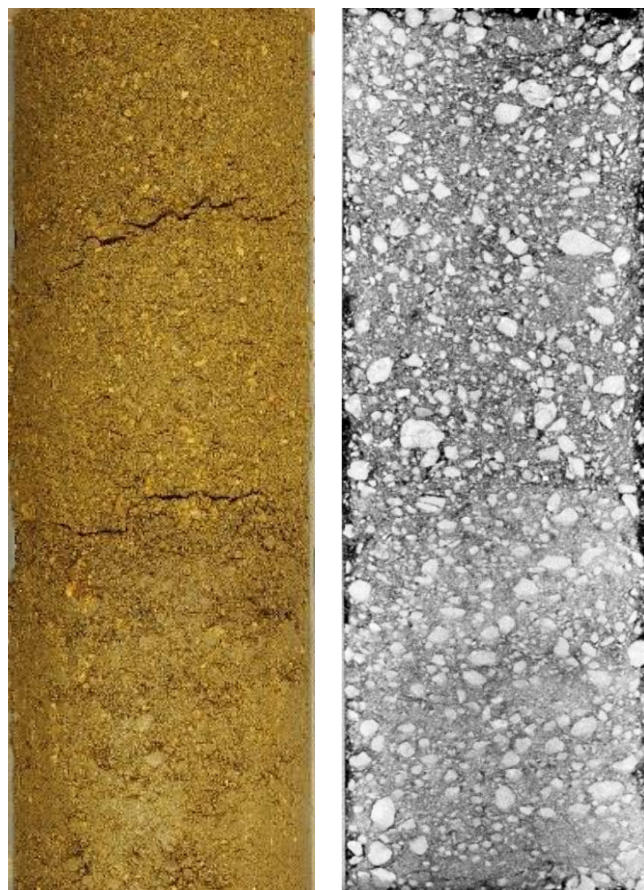


# X線CTを併用したコア観察

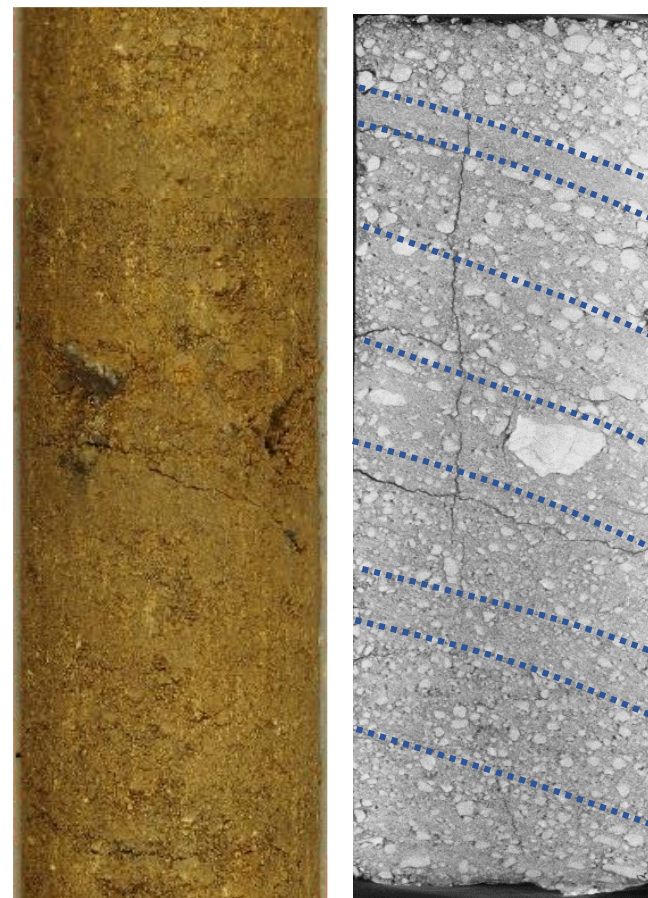


礫の含有率や配列，形状，成層構造がより明瞭に

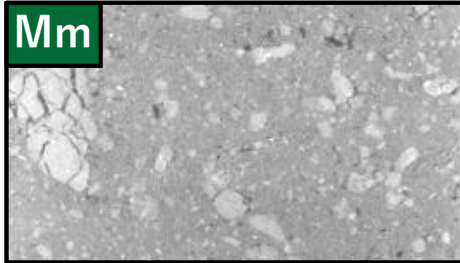
**Sm** 礫質砂(塊状)



**Sl** 礫質砂(成層)

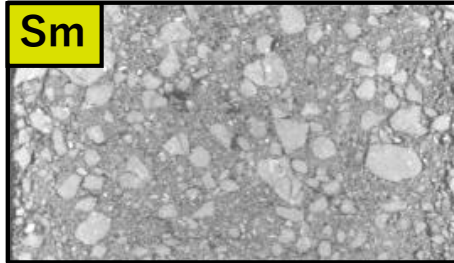


# X線CTによる層相区分の確認



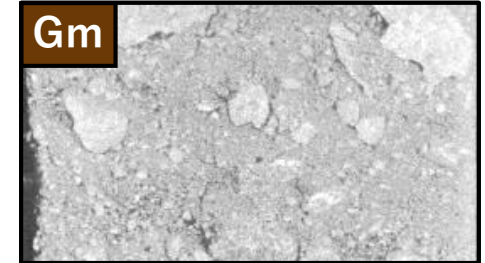
Mm

礫質シルト(塊状)



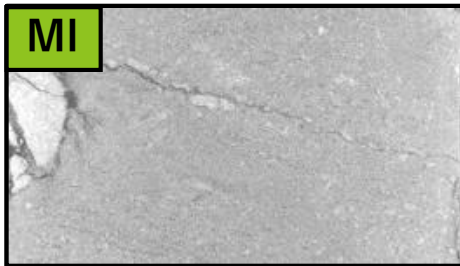
Sm

礫質砂(塊状)



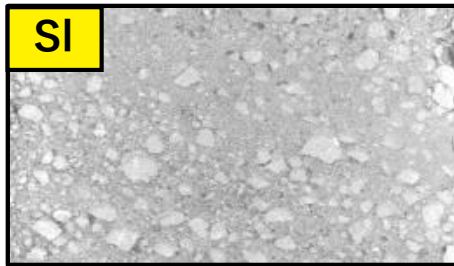
Gm

砂質礫



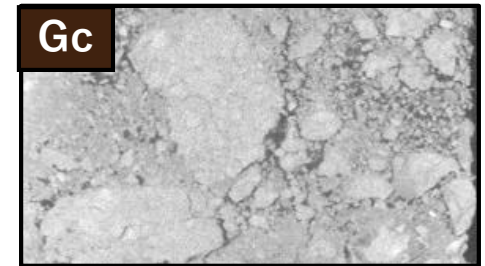
MI

礫質シルト(成層)



SI

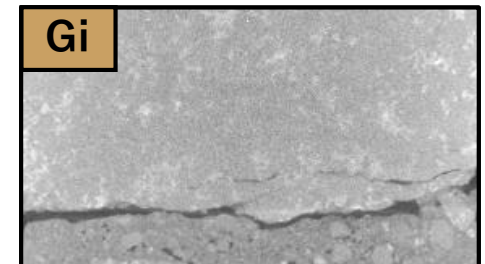
礫質砂(成層)



Gc

角礫

5 cm

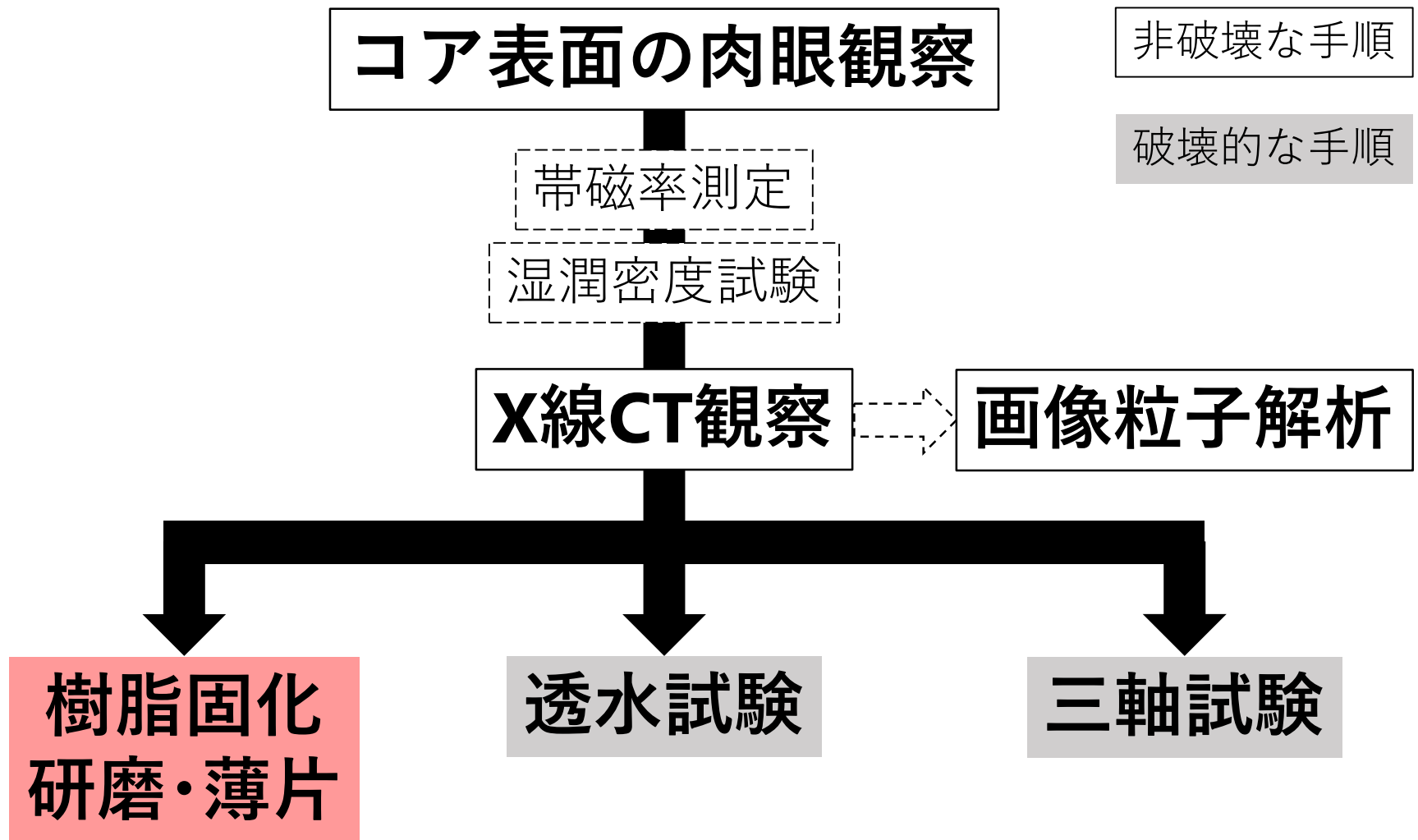


Gi

角礫(孤立)

# 樹脂固化による微細構造の観察

乱さない試料を活かす解析フロー



# 樹脂固化～微細構造の固定～

凍結乾燥



48時間以上乾燥

樹脂固化



低粘度樹脂で封入  
(E205を使用)

切断・研磨



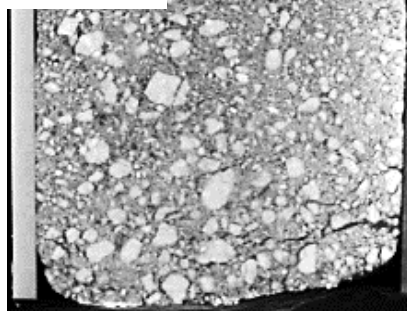
健岩と同様に  
処理可能

# 研磨片・薄片による観察

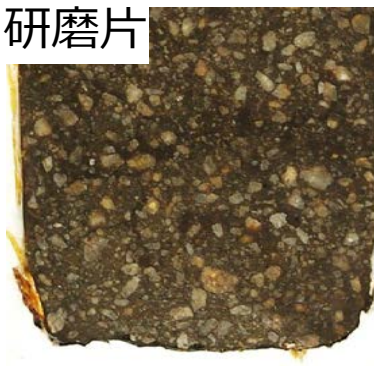


## Sm 礫質砂(塊状)

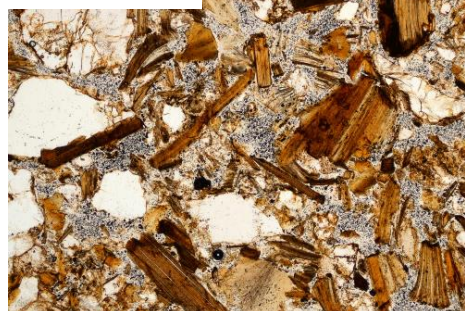
CT断面



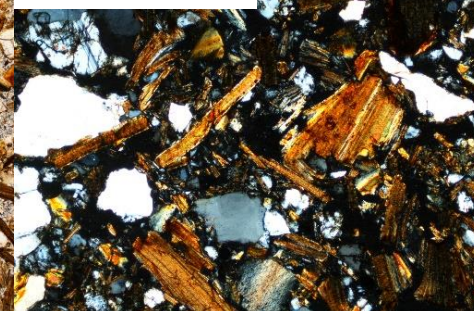
研磨片



単ポーラ

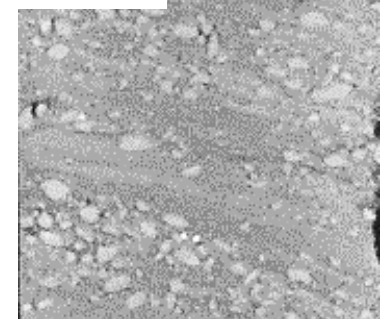


直交ポーラ

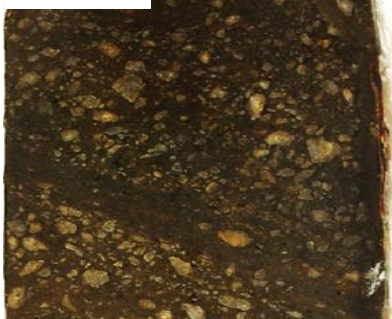


## SI 礫質砂(成層)

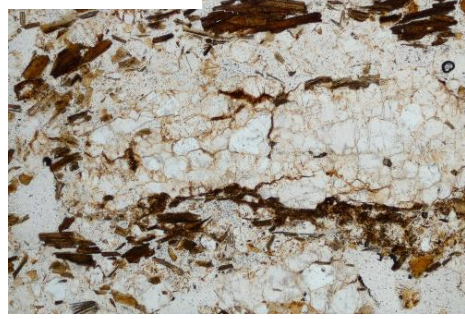
CT断面



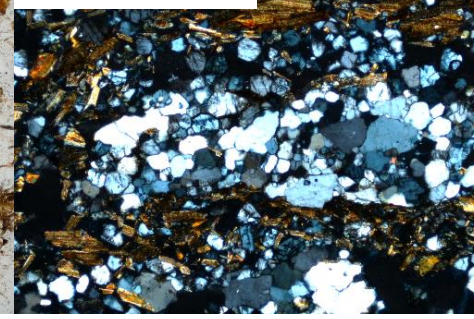
研磨片



単ポーラ



直交ポーラ

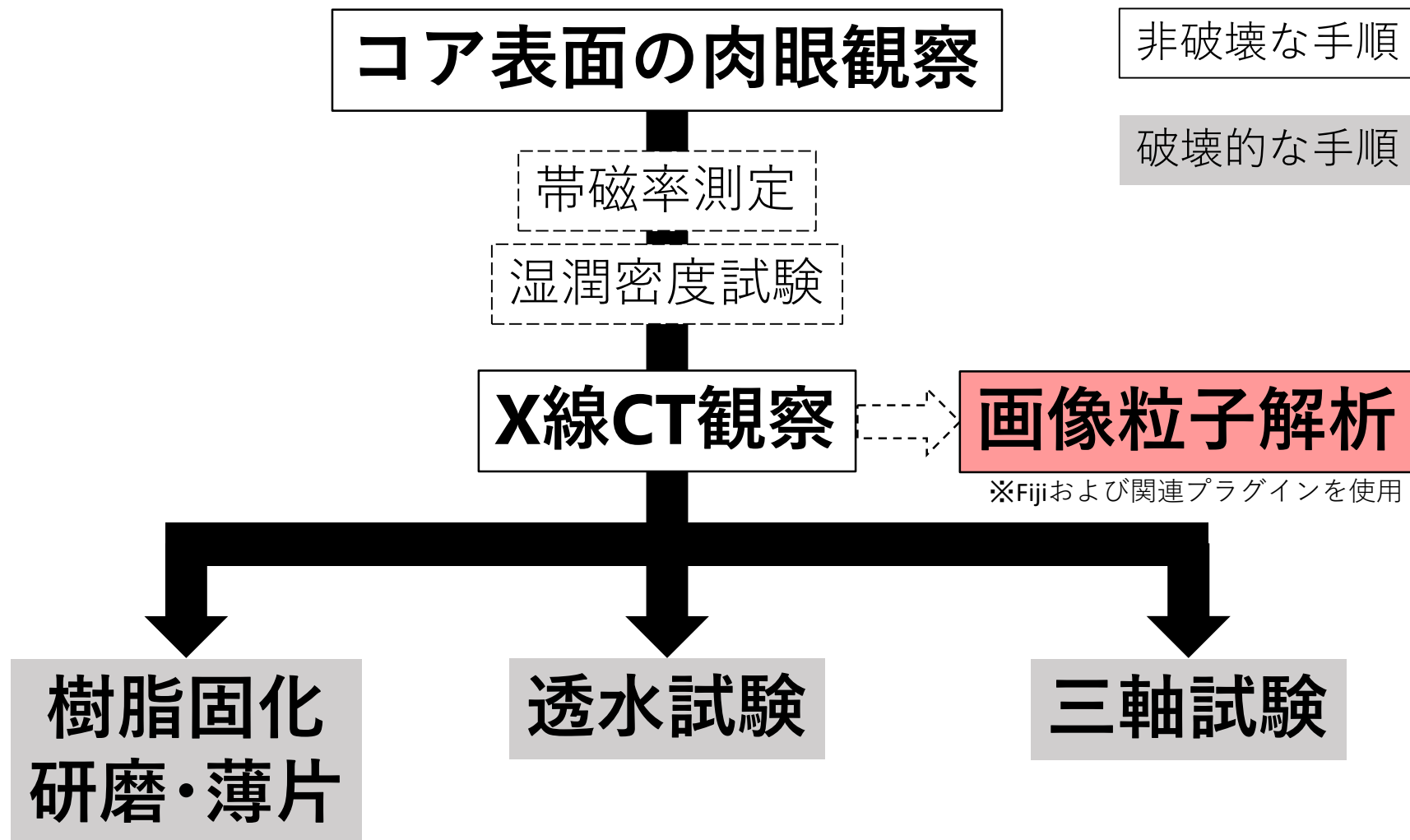


粒子の種別と微細構造の関係を観察

# CT断層画像の解析



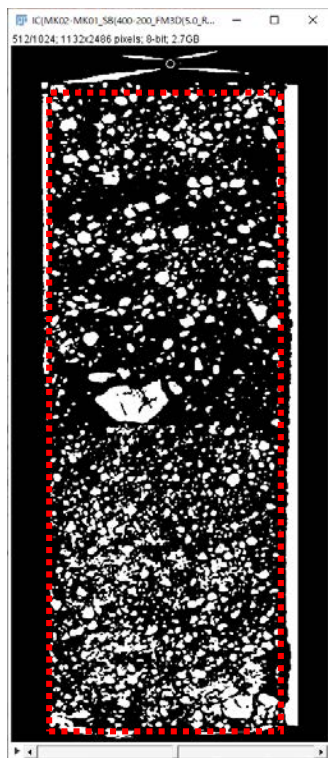
## 乱さない試料を活かす解析フロー



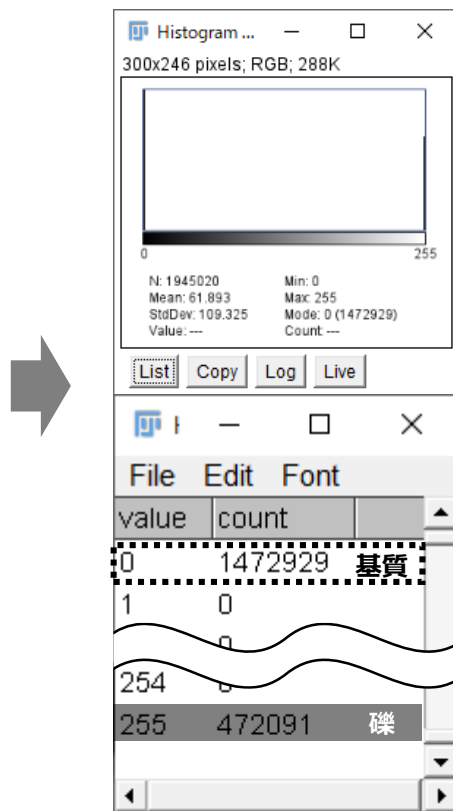
# 画像粒子解析 ～含礫率の解析～



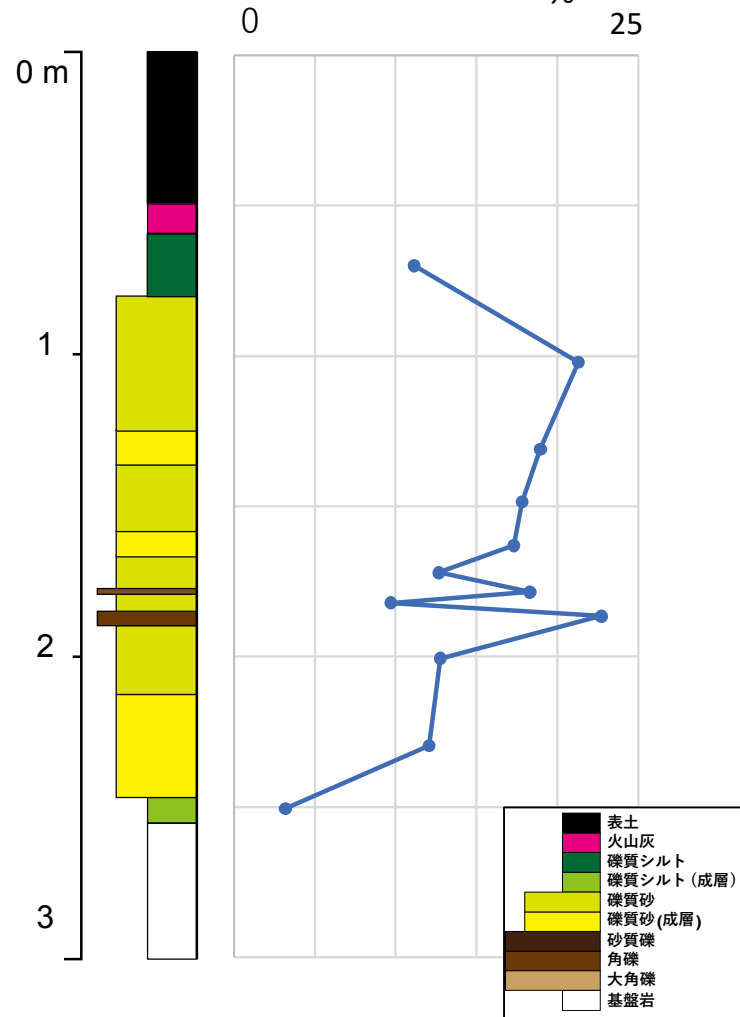
## 二値化



## 白/黒画素数の計数



## 体積含礫率%



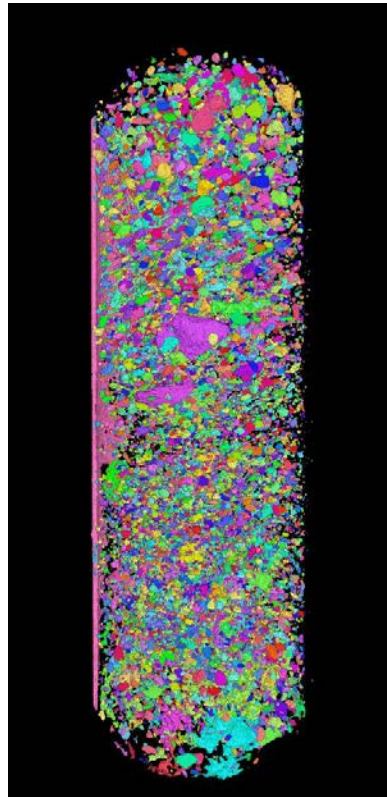
# 画像粒子解析 ～三次元解析～



つながり解析



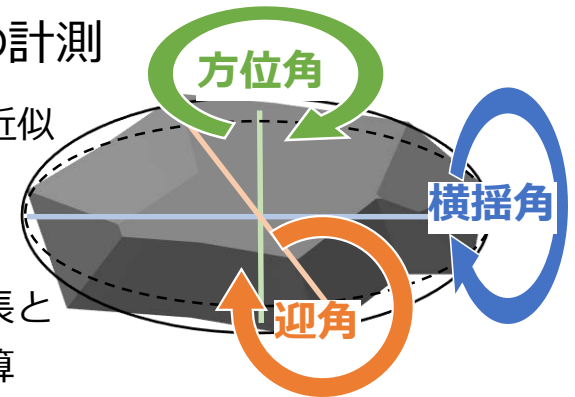
粒子の抽出



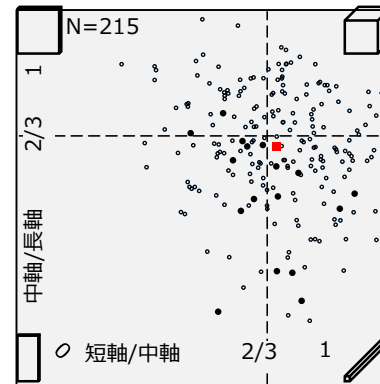
粒子形状の計測

粒子の楕円近似

近似楕円の三軸長と  
回転角度を計算

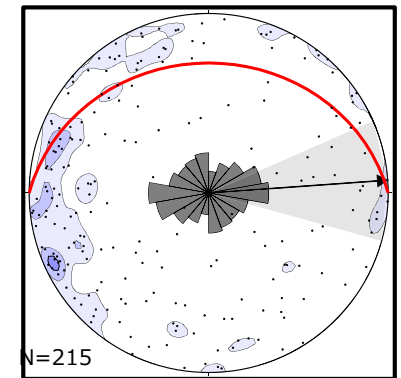


粒子形状およびファブリックの解析



○ 細礫 ● 中礫 ■ 算術平均

粒子形状の判別



赤大円 堆積面

ステレオプロット  
による粒子配列

礫粒子の形状や配列・配向を定量的に評価

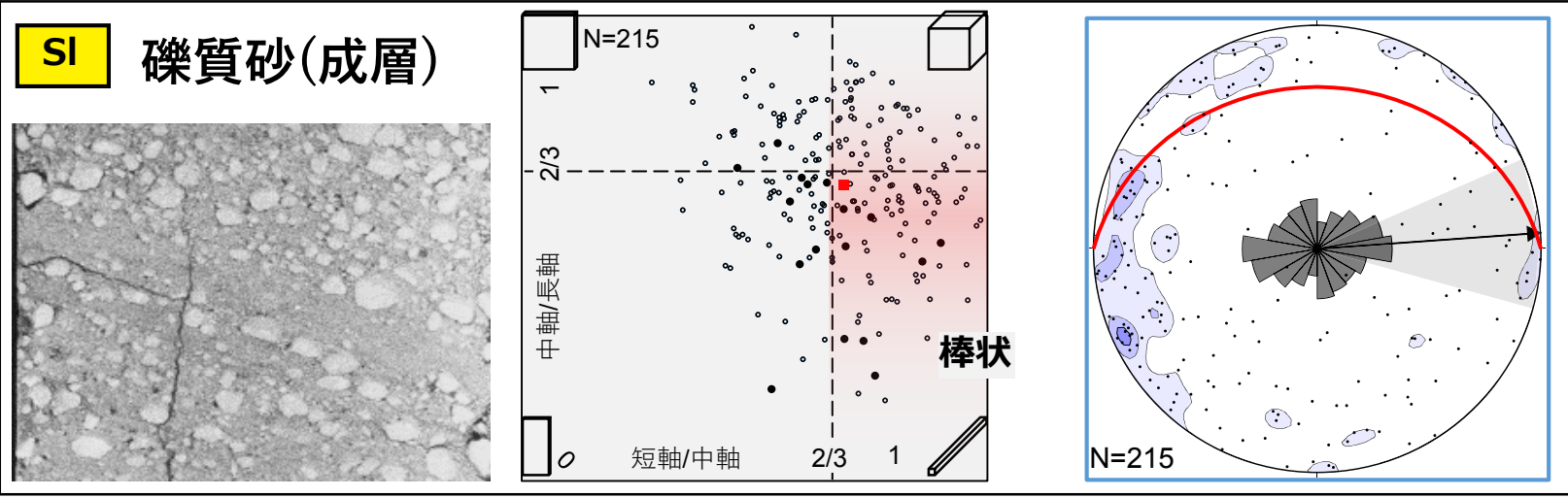
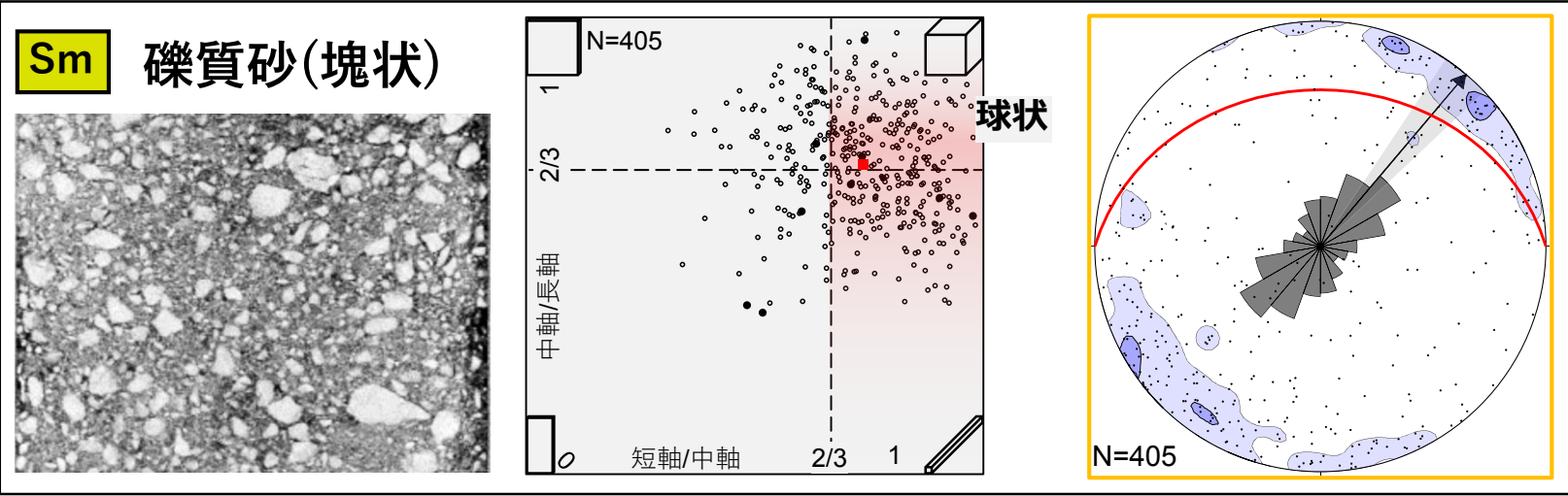


# 画像粒子解析の結果例



0 m  
1  
2  
3

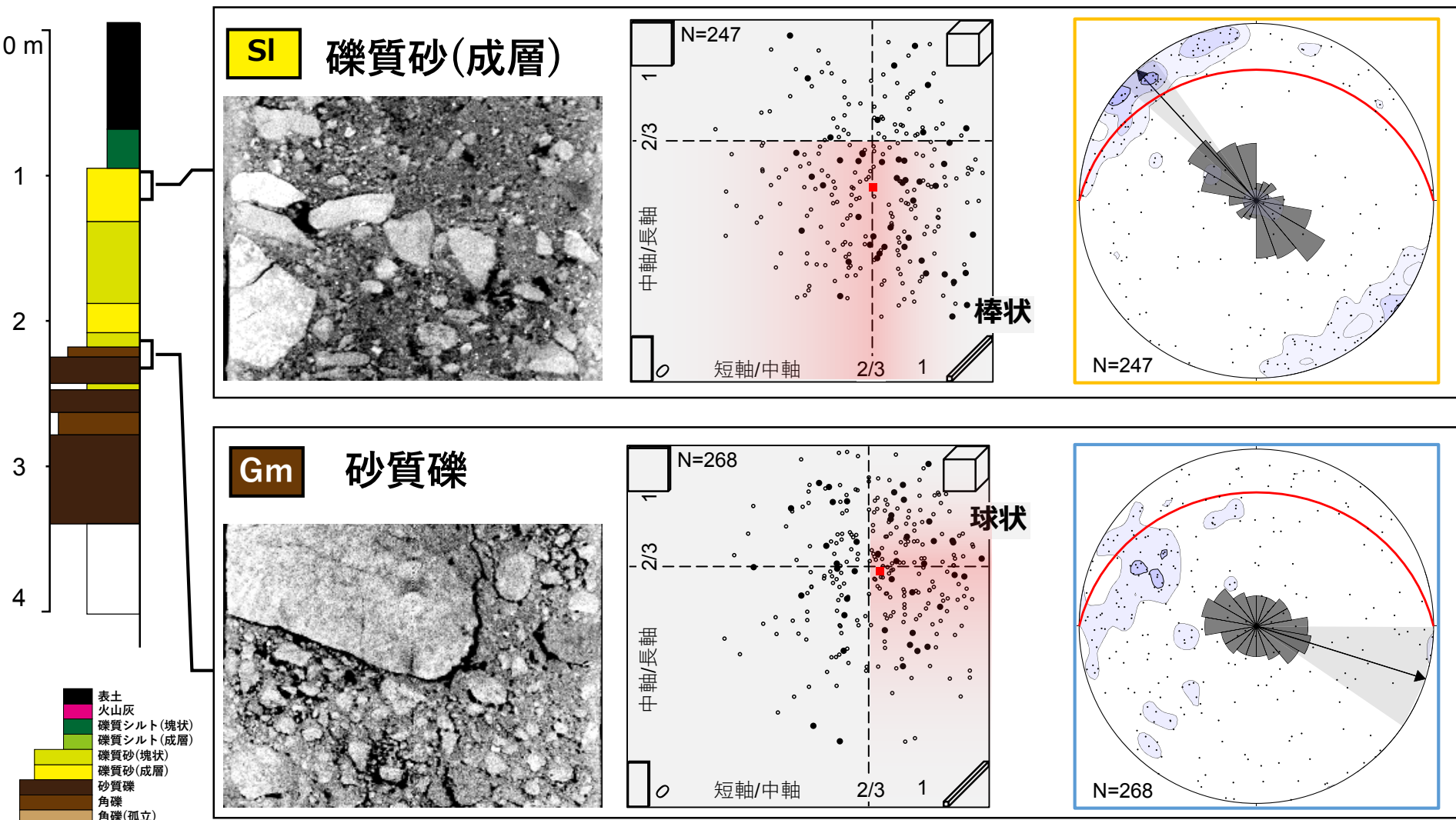
- 表土
- 火山灰
- 礫質シルト(塊状)
- 礫質シルト(成層)
- 礫質砂(塊状)
- 礫質砂(成層)
- 砂質礫
- 角礫(孤立)
- 角礫岩
- 基盤岩



堆積プロセスの差異を反映

下半球投影, 赤大円は堆積面  
(最大傾斜方向を上)に配置)

# 画像粒子解析の結果例

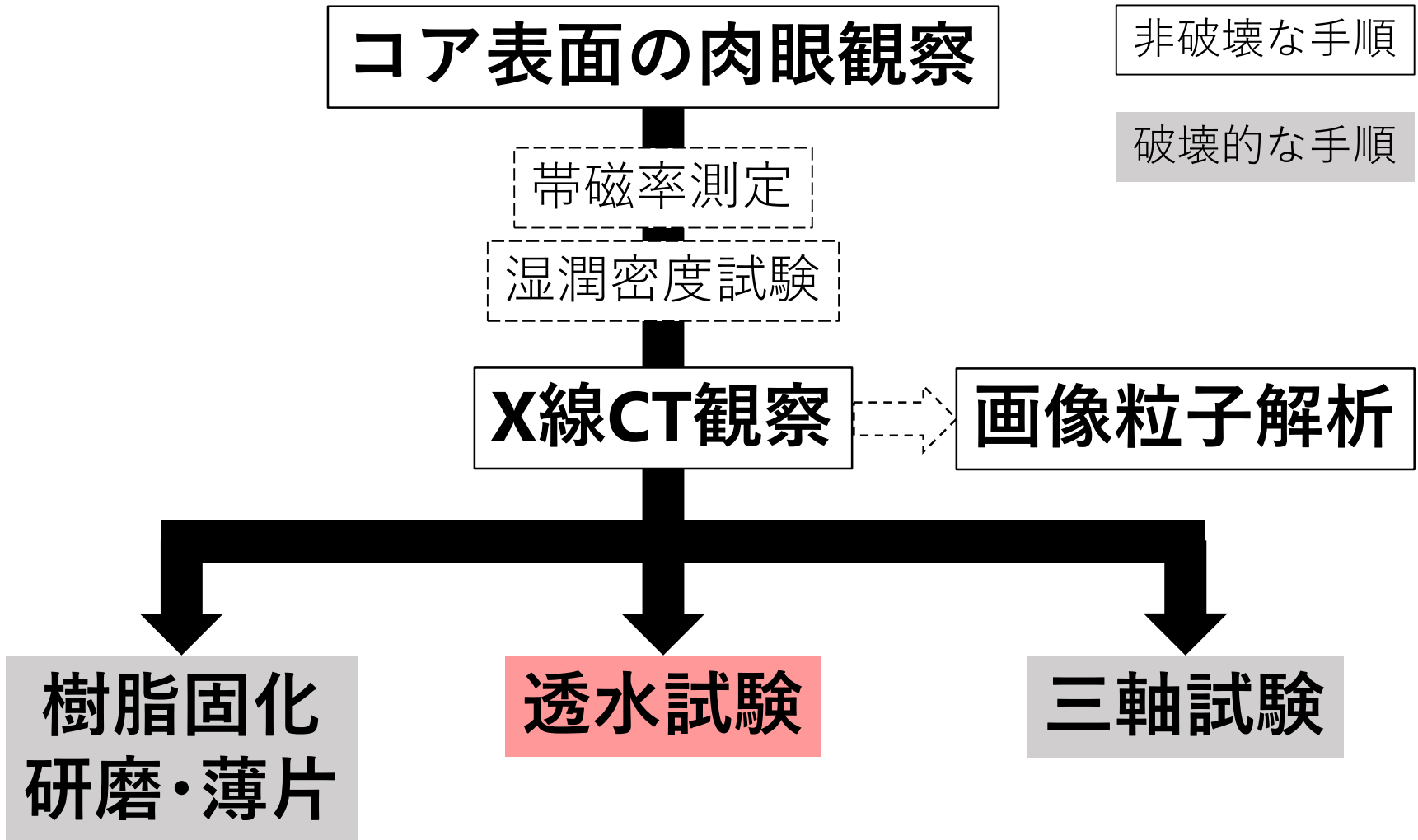


堆積プロセスの差異を反映

# 透水試験による透水性の解析



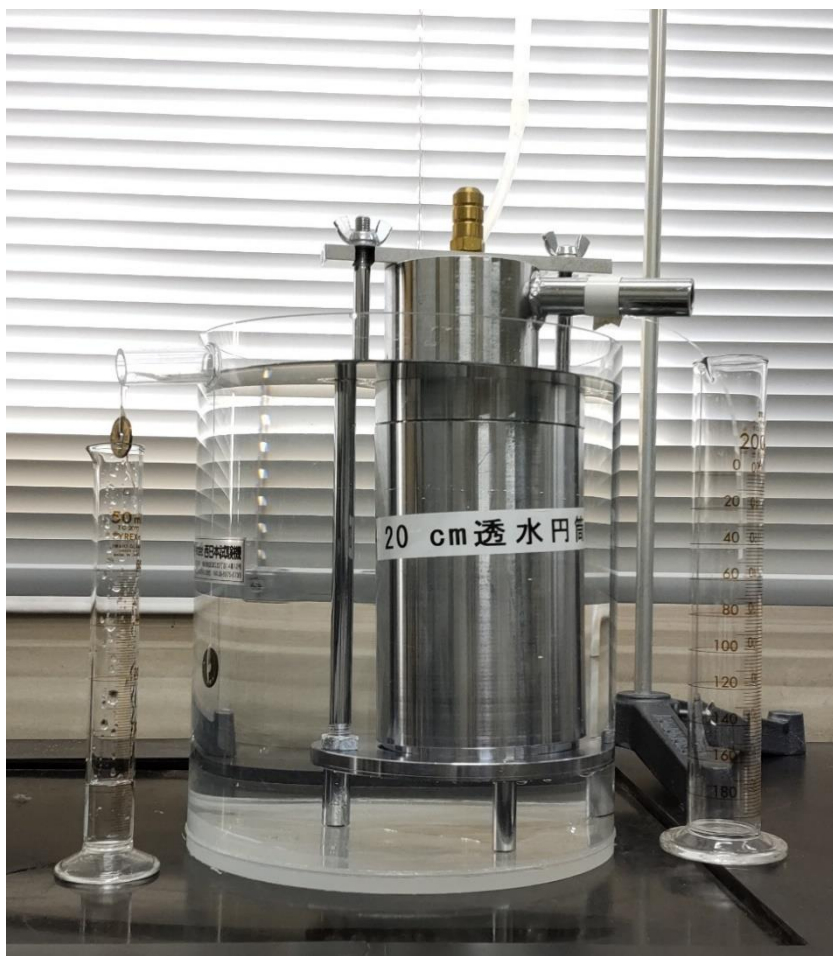
乱さない試料を活かす解析フロー



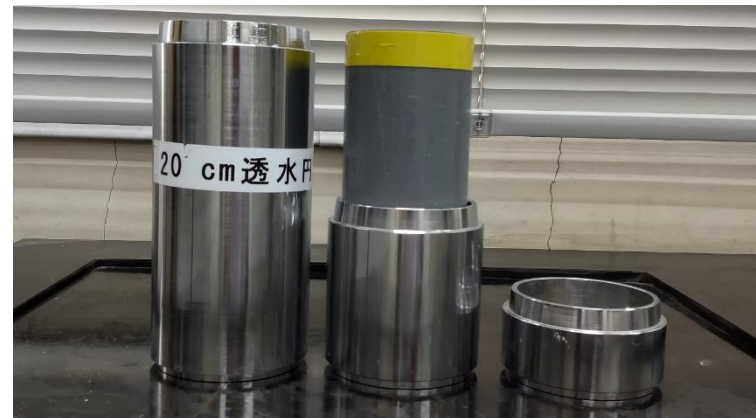
# 透水試験



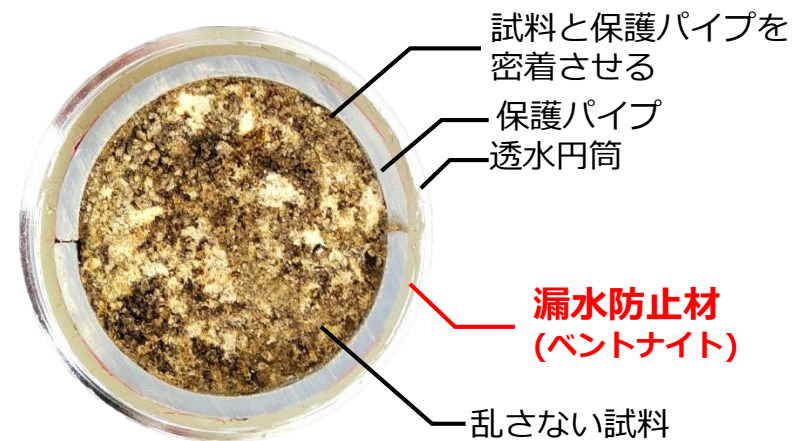
室内透水試験装置(定水位)



コア径に合わせた透水円筒 (特注品)



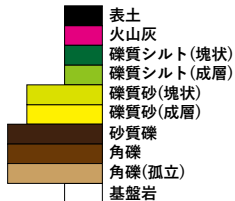
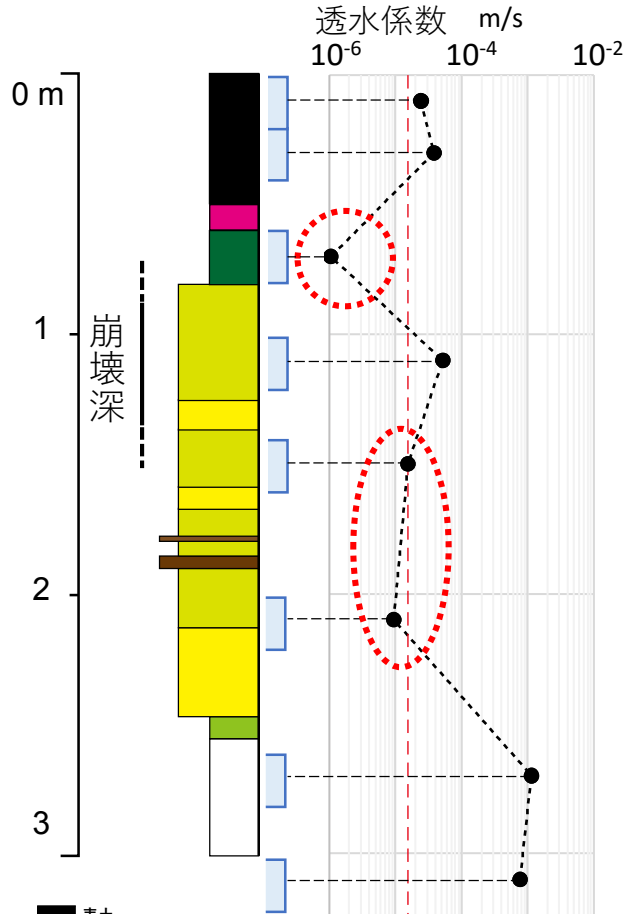
試料と透水円筒の隙間をふさぐ



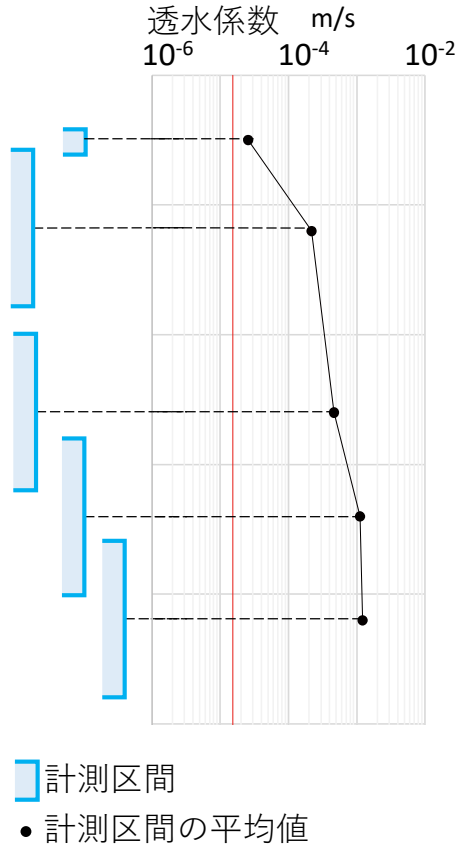
# 室内透水試験のメリット



## 室内透水試験



## 原位置透水試験



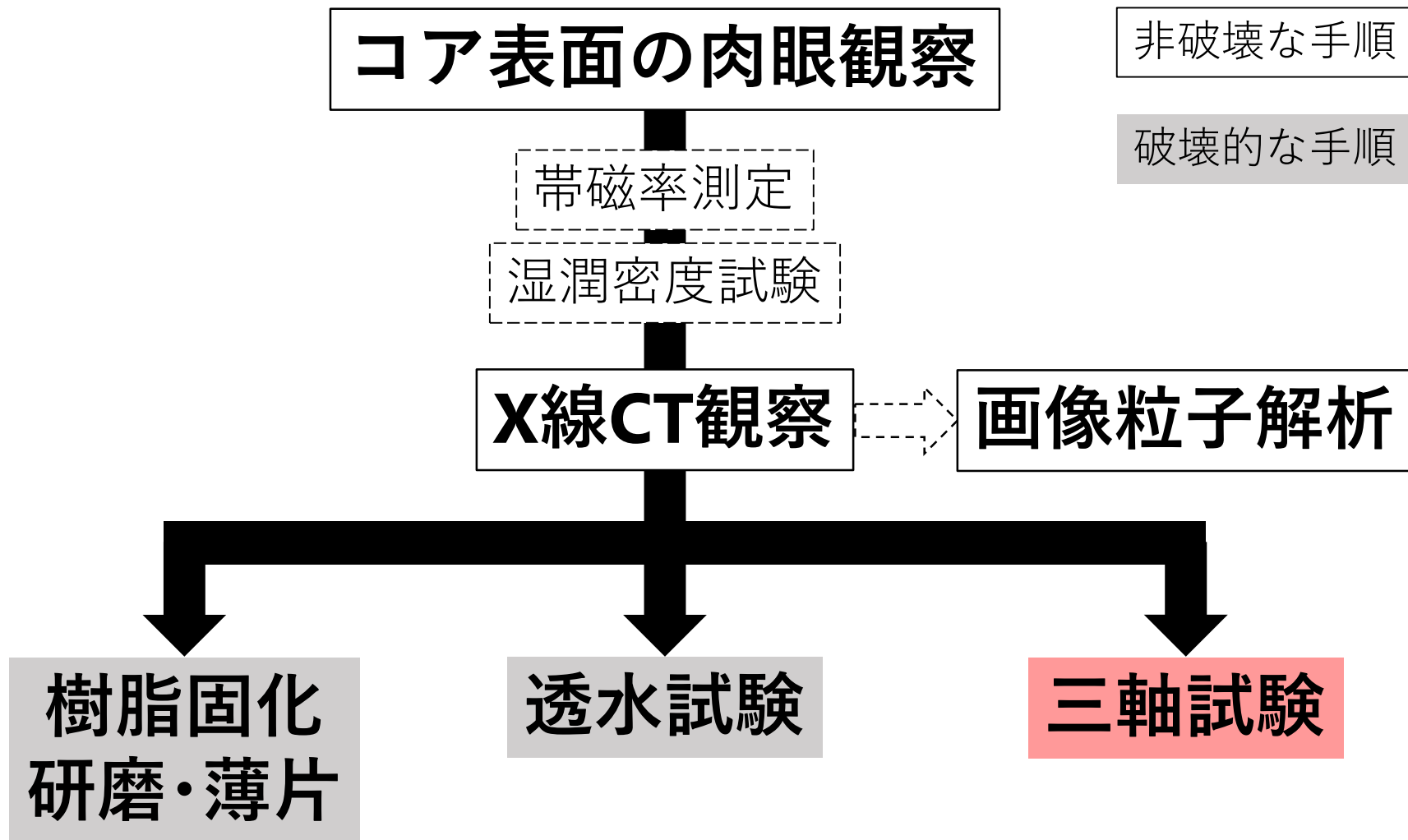
室内透水試験は  
原位置透水試験に比べて

- 測定区間を細かくできる  
(=高分解能)
- 層相との対応をふまえて  
測定区間を設定

## 透水性が低い層準を確認

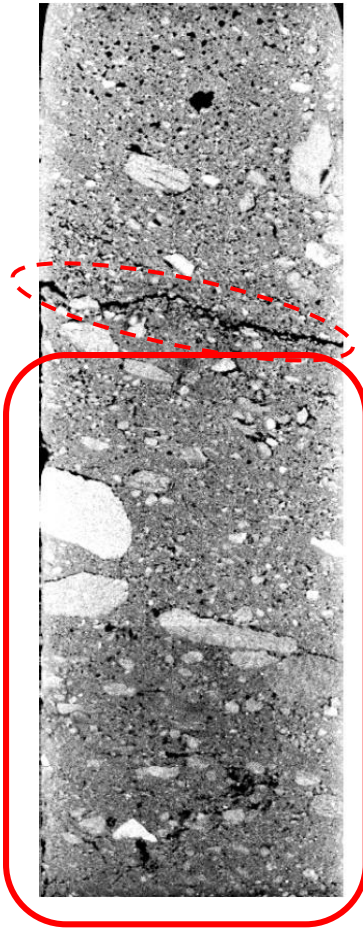
# 三軸試験によるせん断強度の解析

乱さない試料を活かす解析フロー



# 三軸試験(CUbar)

※試験の実施は  
寒地土木研究所による

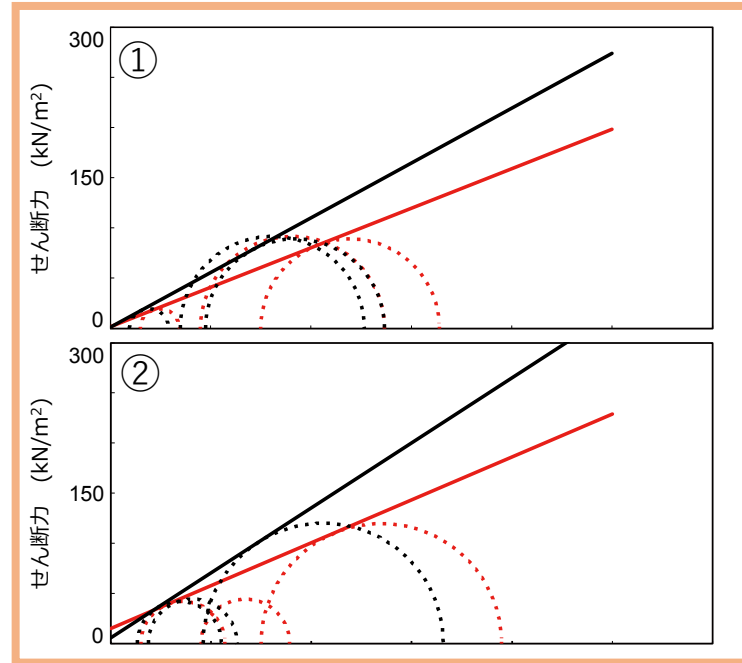
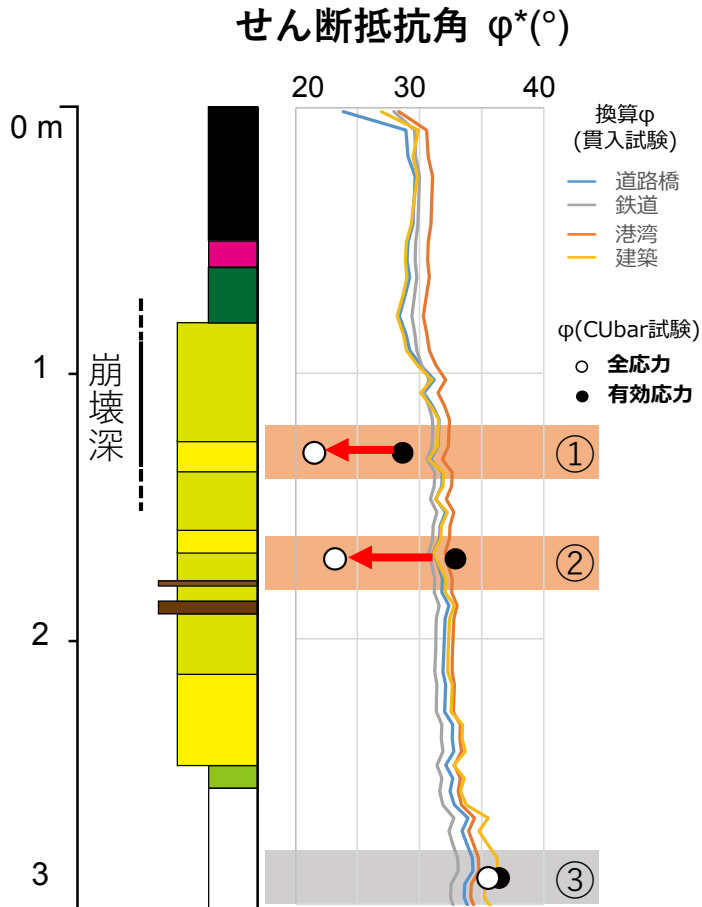


クラック等が極力少ない  
箇所を選別

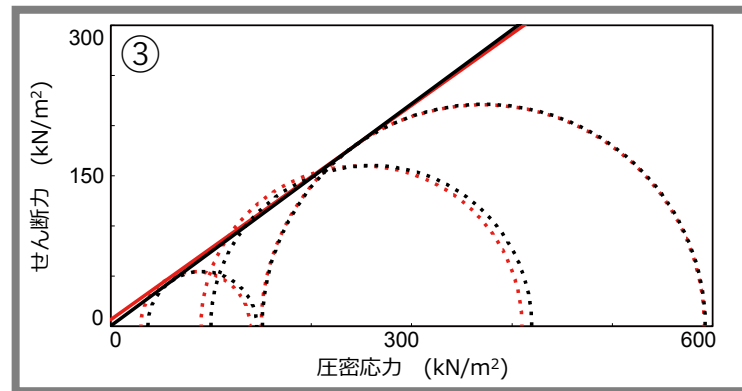
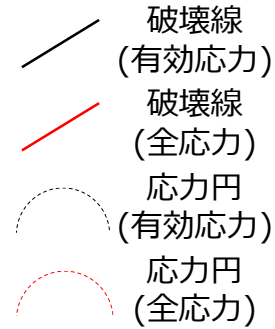


間隙水圧と全応力を実測

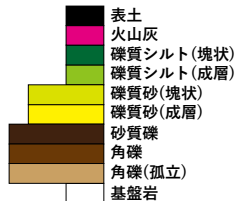
# 試験結果の例 ～有効応力・全応力～



周水河堆積物



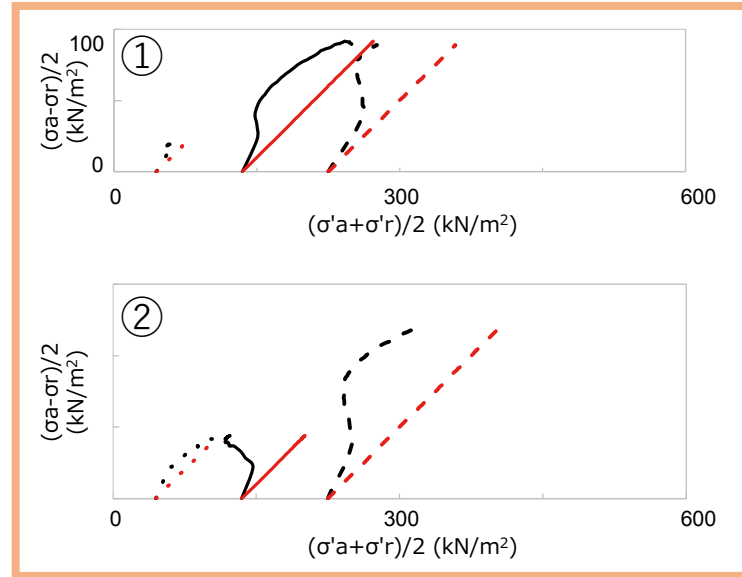
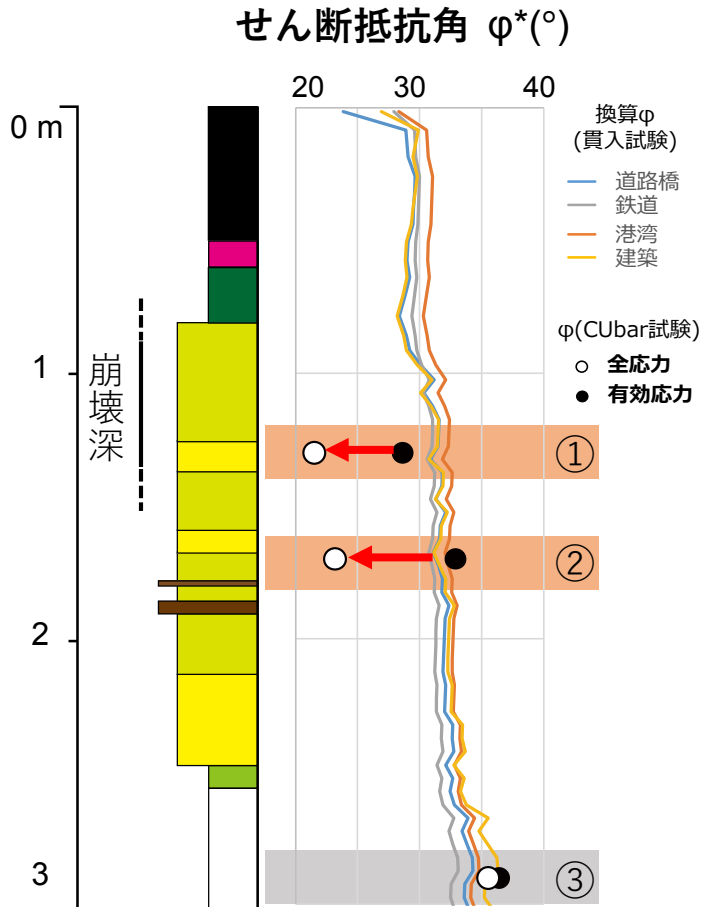
基盤岩



間隙水圧による有効応力の大幅な低下を確認



# 試験結果の例 ～応力経路～



有効応力経路

初期応力

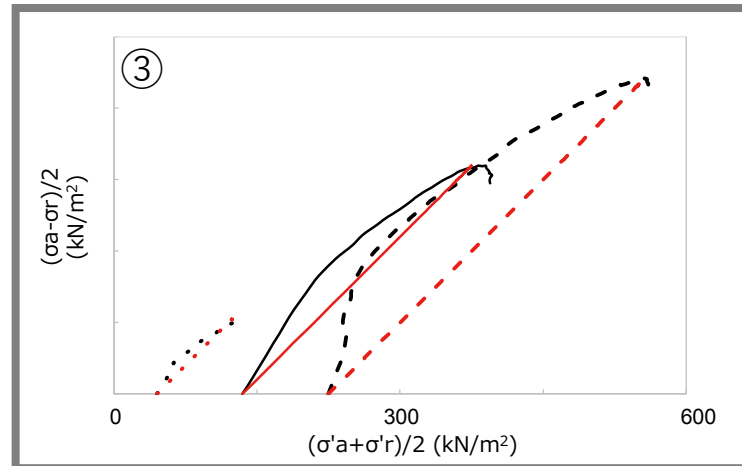
- 30 kPa
- 90 kPa
- - - 150 kPa

全応力経路

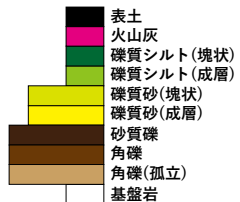
初期応力

- 30 kPa
- 90 kPa
- - - 150 kPa

周水河堆積物



基盤岩



緩詰砂や粘性土などと類似した挙動

# まとめ



高品質ボーリングコアを用いる利点

**本来の状態を保った試料を解析可能**

- X線CTを用いて，断面を非破壊で観察
  - ✓ 画像解析により粒子を三次元的に定量化
- 樹脂固化により，未固結・脆弱な試料を固定
  - ✓ 微細構造の検鏡が可能
- 土質試験により，原位置の土質特性を詳細に把握



## 周氷河堆積物の特徴を把握

- 層相の細分化・細粒相の確認
- 層相とファブリックの関係を確認
- 透水性の低い層準を確認
- 間隙水圧上昇による強度低下を確認

# おわりに



本講演では下記研究成果の一部を発表した

## ■ 道総研 重点研究(R1-4年度)

豪雨による緩斜面災害を軽減するための研究

—寒冷地に特有な斜面堆積物の判定手法の開発—

### 共同研究機関

■ 寒地土木研究所 (国立研究開発法人土木研究所)

■ 北見工業大学 (国立大学法人北海道国立大学機構)

### 協力機関

■ 北海道開発局 (国土交通省)

■ 北海道建設部 (北海道庁)

■ 北海道水産林務部 (北海道庁)

**関係した方々に記して御礼申し上げます**