

衝突破片の自動追跡

Automatic Tracking of Impact Fragments

会津大学

浅田智朗

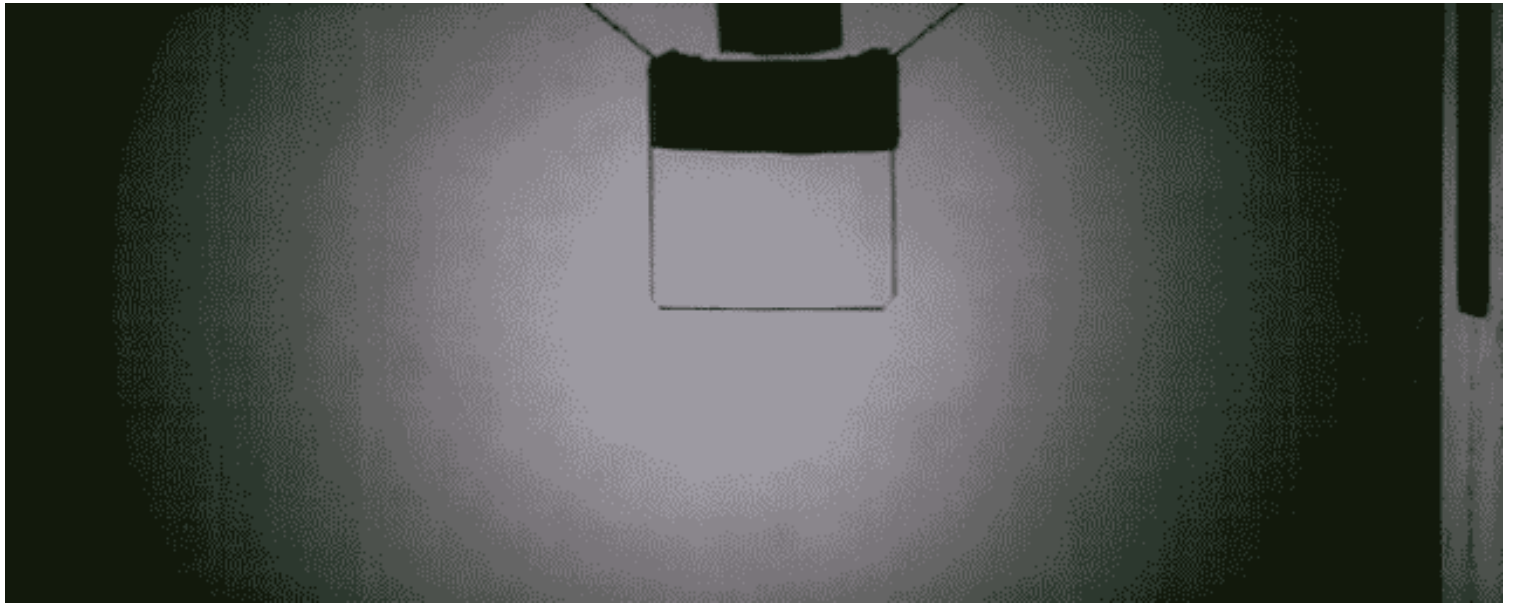
Introduction

- 太陽系, 小天体の進化過程を考えるに,
(高速)衝突現象の解明の重要性。
- (高速)衝突現象の素過程の重要性。
 - エネルギー配分
 - 運動量配分
 - 角運動量配分
 - 標的上の破片分布

...

Introduction

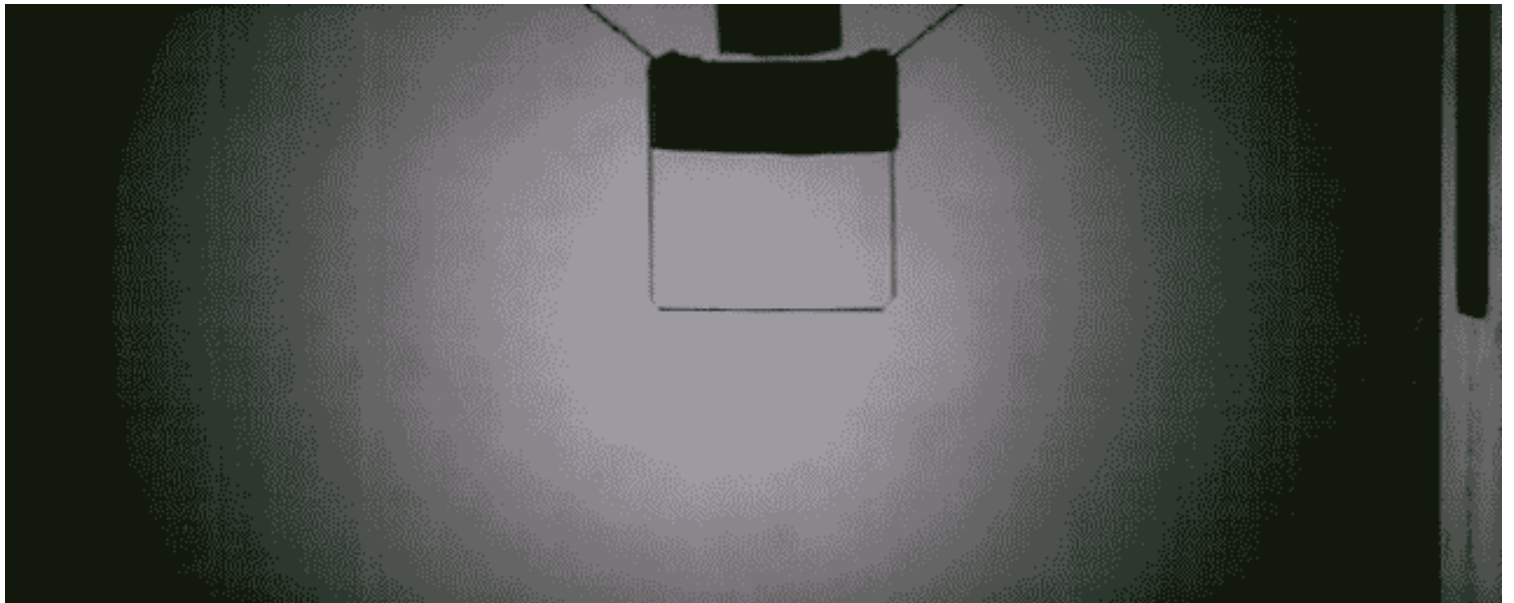
- 室内実験でのシミュレーション



衝突破壊実験の高速撮影動画像

Introduction

- 従来は，人間が手動で解析していた。



衝突破壊実験の高速撮影動画像

Introduction

- 人間による手動解析
- 技術, 経験, 時間が必要



この研究のゴール

解析ツールの開発

- 衝突破片の追跡
- 衝突現象の素過程の解析

手法の基礎的開発

- 2次元衝突による解析



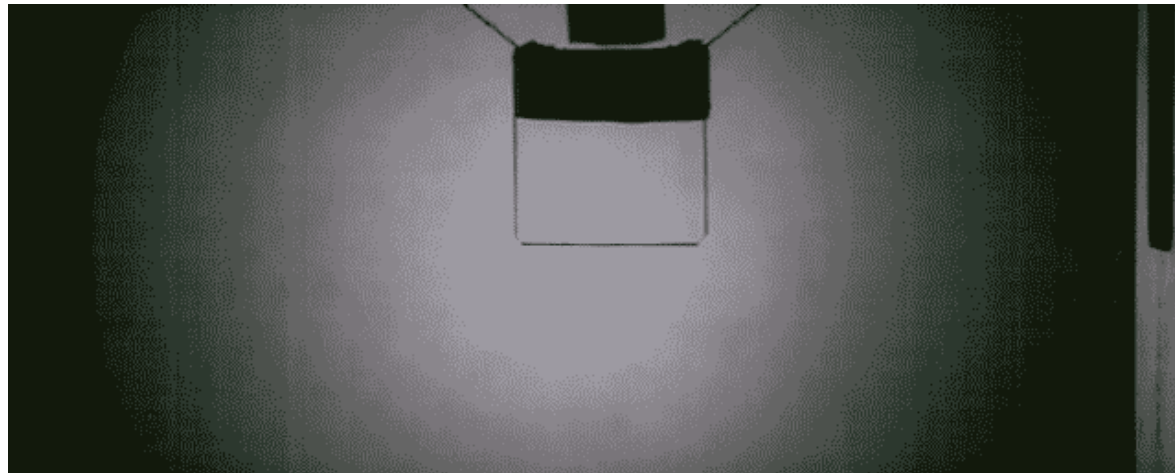
Data Format

- 動画フォーマット

- 4000 frame / 秒
- 640 x 256 pixels



- 242 x 166 pixels



手順

1. 前処理

- 背景補正 (Flat field correction)
- ノイズ除去 (Median filtering)

2. 参照画像として(後の画像から)破片を指定

3. 2D-CDP により(時間的に前の)入力画像から破片(点)を追跡

4. 最小二乗近似によりHelmert 変換係数の計算

5. 参照画像の更新

6. 3. 4. 5. を繰り返す

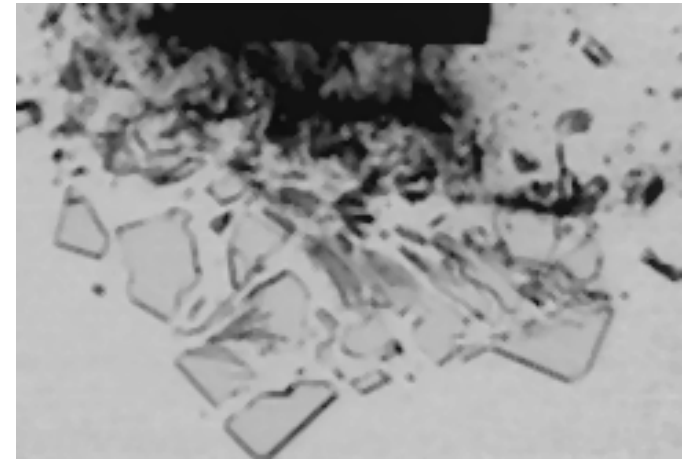
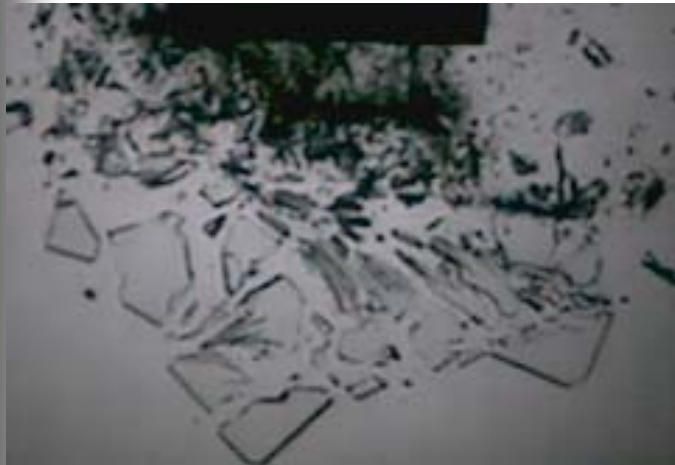
前処理

1. 背景補正 (Flat Field Correction)

(周辺減光, 不均一な背景光の除去)

2. Median filtering (3 x 3)

(小ノイズの除去)



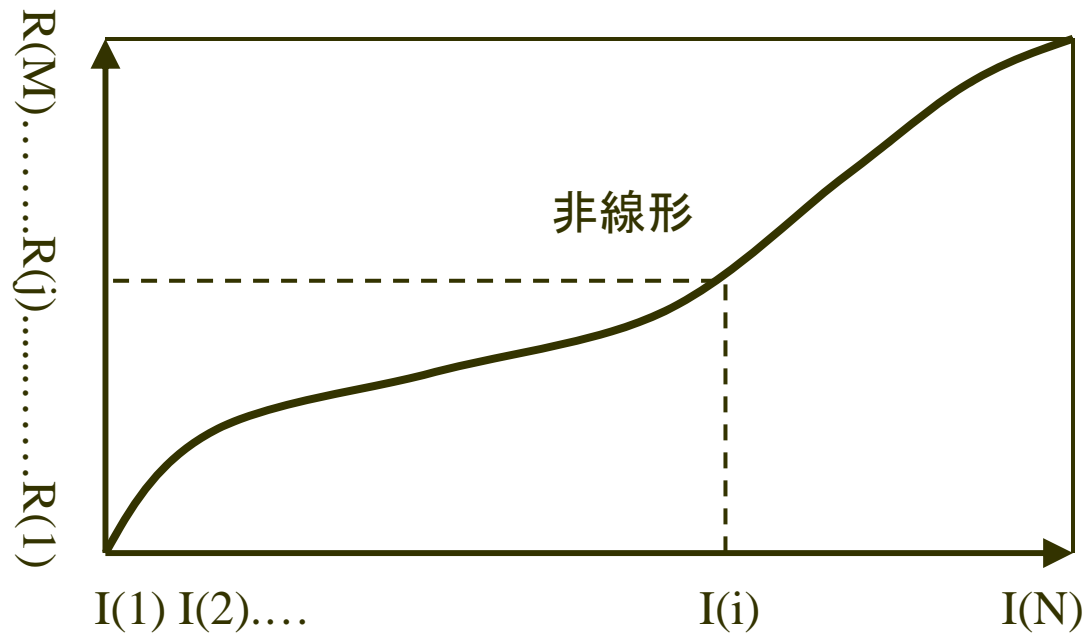
2D-CDP

- **Dynamic Programming**
[*Bellman, 1957*]
- **Continuous Dynamic Programming**
連続DP [*R. Oka, 1978*]
2倍までの拡大・縮小, $\pm 45^\circ$ 以内の非線形
マッチング
- **CDP適用後に単調連続性を確保**
[*Y. Iwasa and R. Oka, 2005*]

DP (Dynamic Programming)

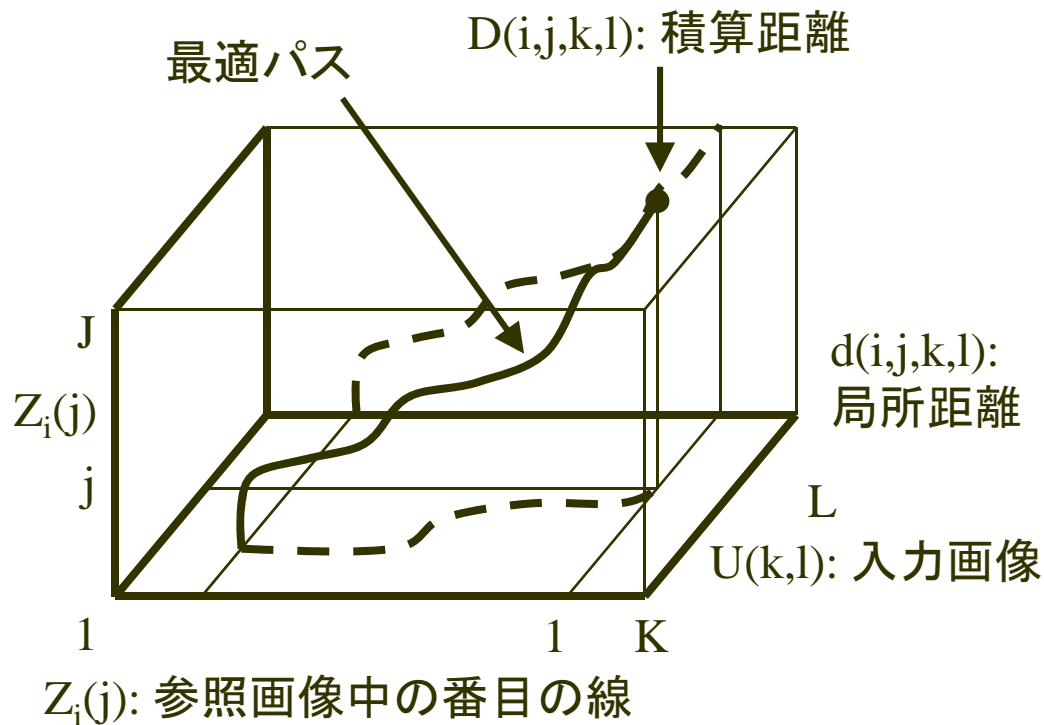
- 連続データのマッチングに適用

[Bellman, 1957] [Vintsyuk, 1968]



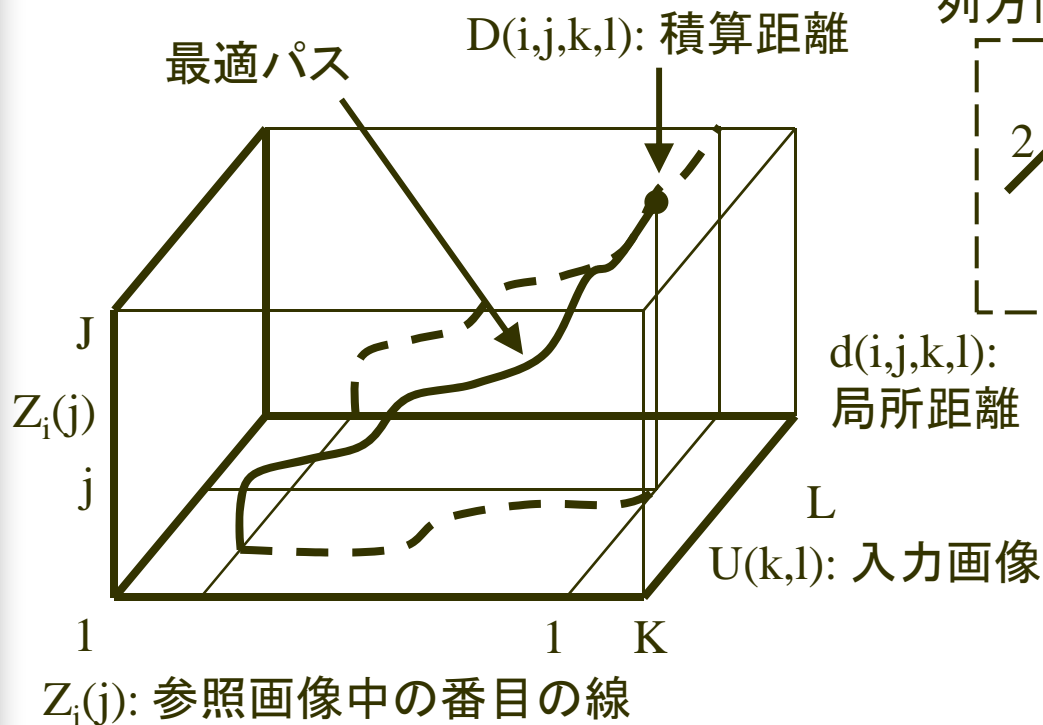
2D CDP (2次元連続DP)

- 2倍までの拡大・縮小, $\pm 45^\circ$ 以内に適用可能な非線形マッチング手法

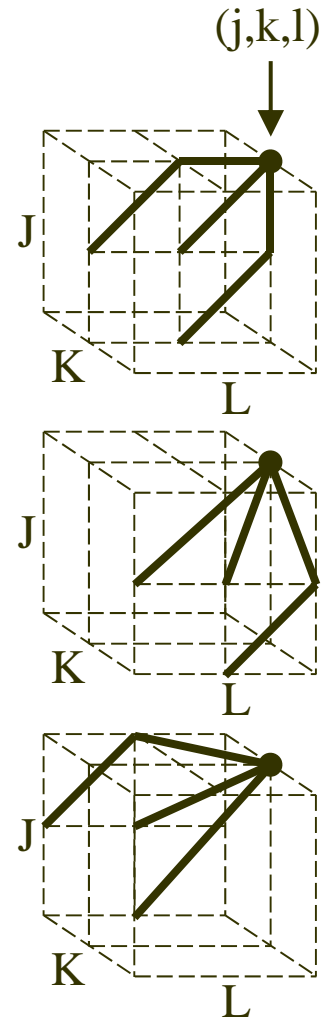
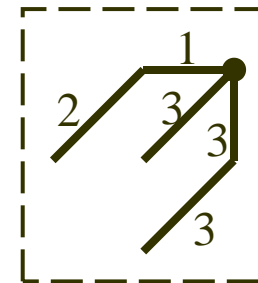


2D CDP (2次元連続DP)

- 2倍までの拡大・縮小, $\pm 45^\circ$ 以内に適用可能な非線形マッチング手法



列方向のCDP



Helmert 変換

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix}$$

$$s = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \begin{cases} a = s \cos \theta \\ b = s \sin \theta \end{cases}$$

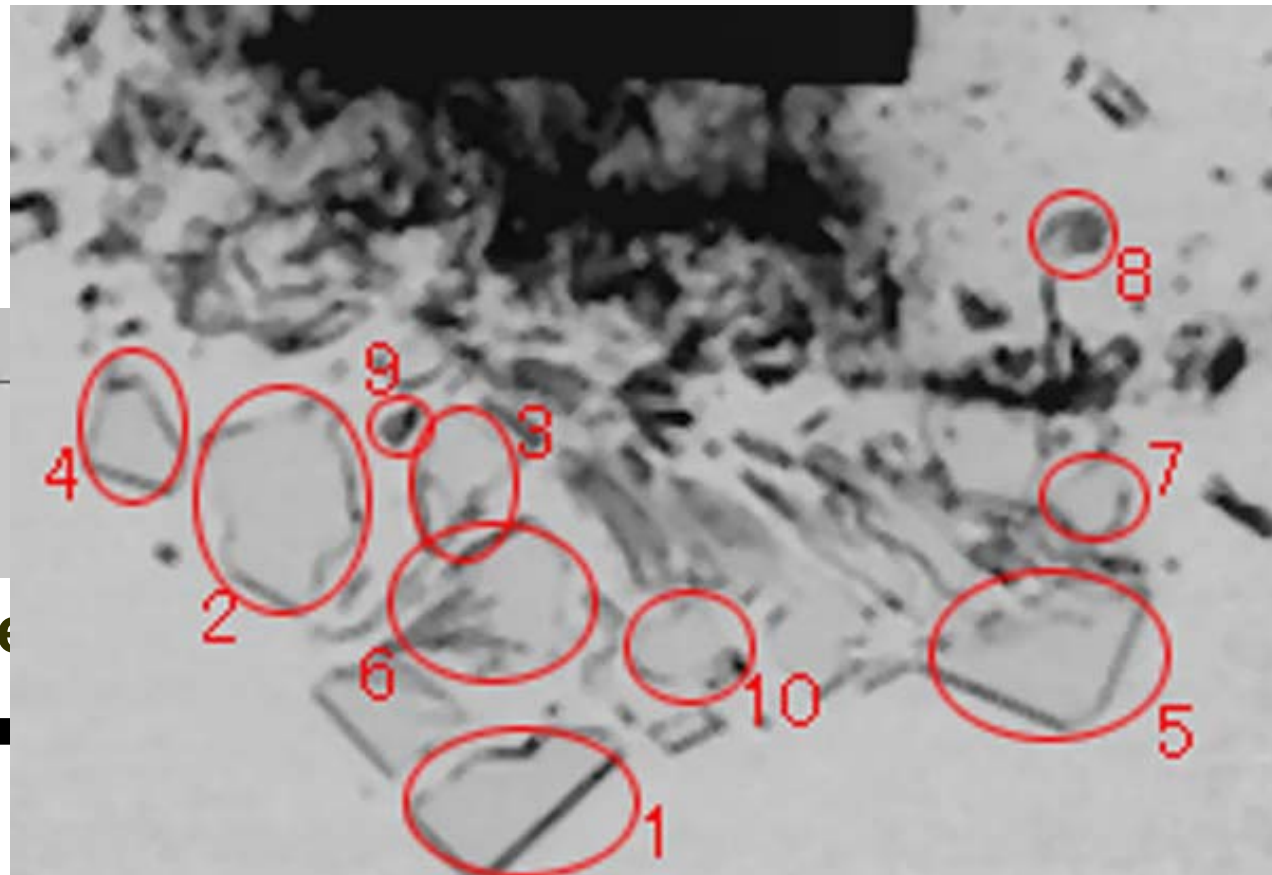
x, y : 参照画像上の座標

X, Y : 入力画像上の座標 s, θ : 拡大倍率, 回転角

a, b : Helmert 変換係数 c, d : 平行移動量

追跡

- 10個の破片を追跡



Frame

ne 4

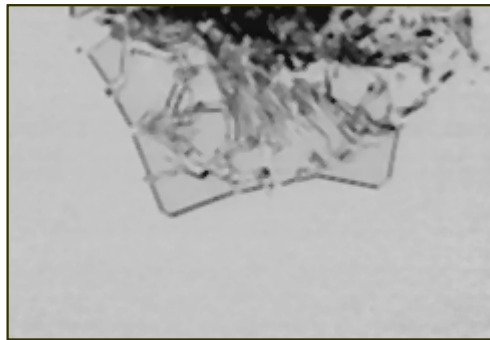
結果

追跡 例

2D-CDP とHelmert変換の組み合わせ



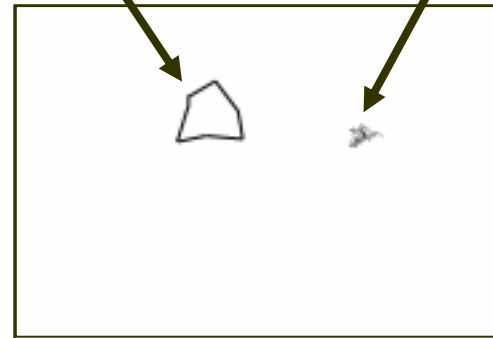
frame 8からの参照画像



frame 8

正しい破片

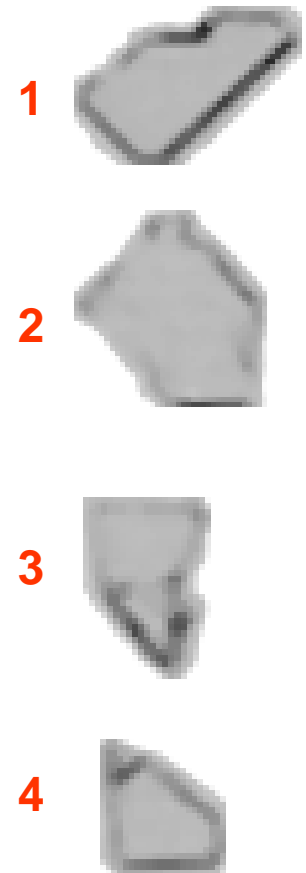
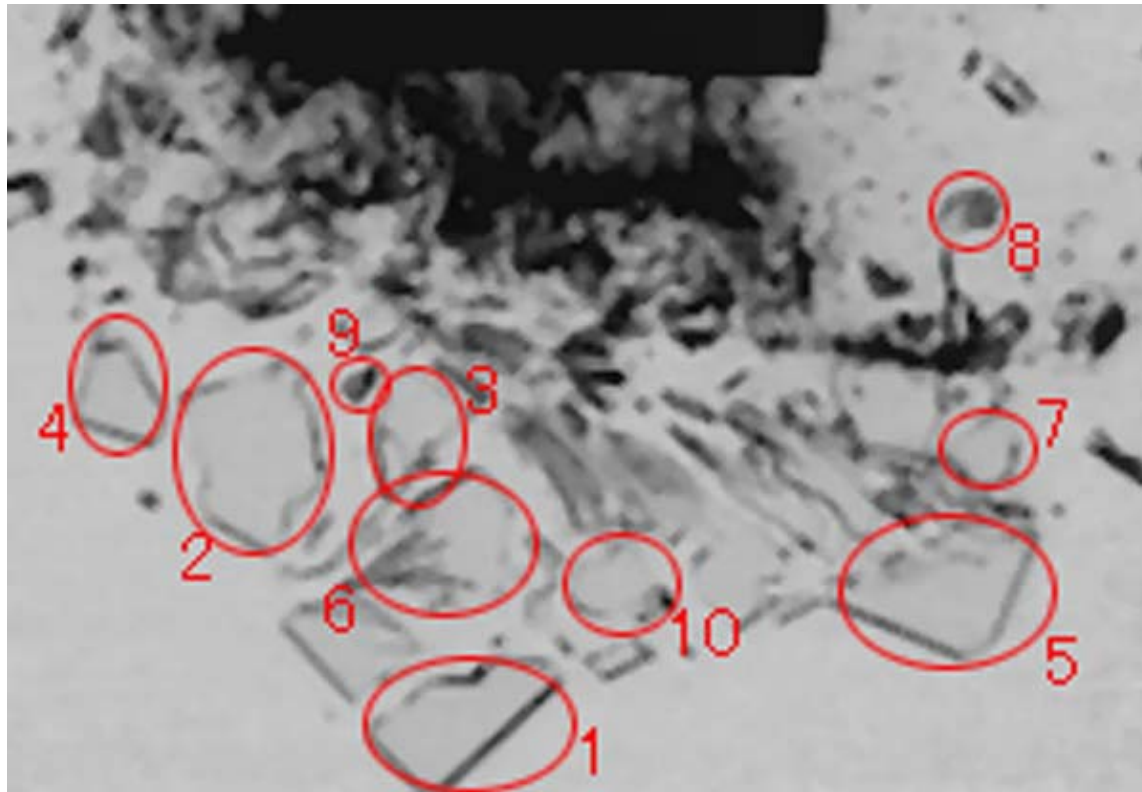
追跡失敗



出力画像

追跡

● 10破片中, 4大破片の解析



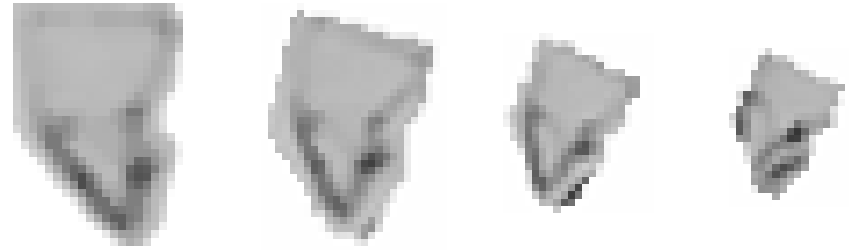
移動速度

	フレーム 追跡数	自動検出	手動検出
#1	2	33.4 m/s	30.9 m/s
#2	3	32.2±0.3 m/s	31.4 m/s
#3	4	27.2±0.2 m/s	28.2 m/s
#4	3	37.7±0.7 m/s	33.5 m/s

拡大縮小倍率, 回転速度

	フレーム 追跡数	拡大縮小 倍率	回転速度
#1	2	92 %	67 rps
#2	3	100 ± 2 %	133 ± 16 rps
#3	4	93 ± 6 %	150 ± 8 rps
#4	3	95 ± 4 %	117 ± 71 rps

結論



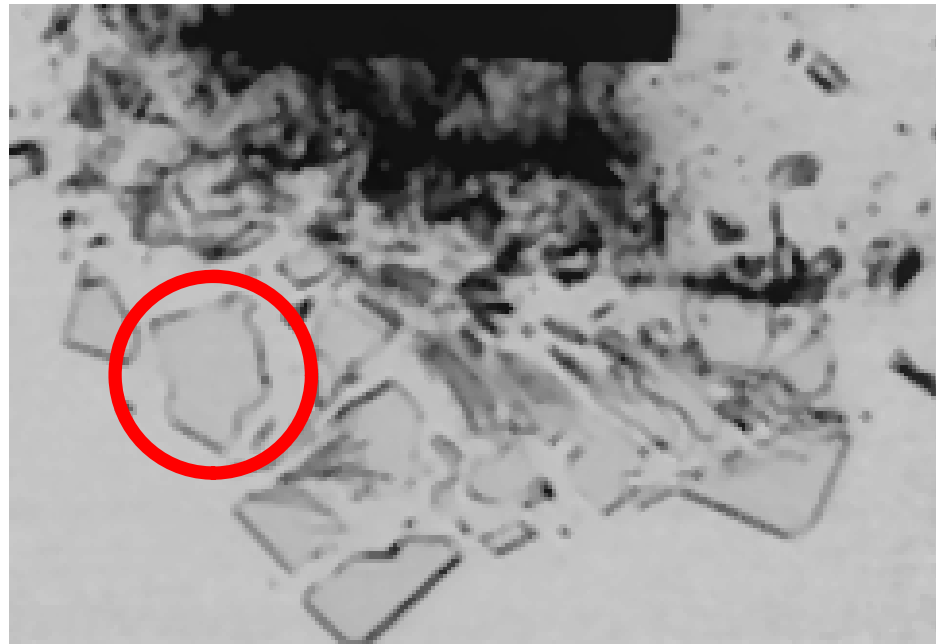
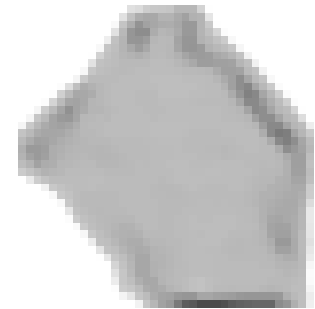
- 全破片について，数フレームの自動追跡ができた。
- 追跡精度については，問題点が残る。
 - 破片形状のフレーム間での変形
 - フレーム間での破片の縮小



追跡失敗

追跡困難な理由

- ぼけた画像
 - 輪郭, コントラスト
- フレーム間での破片の回転



改良型 2D-CDP

- より精細な追跡方法の検討



- 改良型2D-CDP

[*Y. Yaguchi, K. Iseki & R. Oka, 2008*]

- 移動方向の制限を拘束条件
- 最小の $D(i,j,k,l)$ を探索

Future Works

- 微小破片の追跡
- 3次元衝突実験への拡張
 - 3次元形状
 - 速度
 - 回転速度
 - 元標的内での破片の形状復元

ご清聴ありがとうございました。



Evaluation of possible methods

	Rotation	Scaling	Shape change
2DCDP(2-dimensional continuous dynamic programming)	△	△	○
Mean-Shift algorithm	○	×	△
KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) algorithm	×	×	×
SSDA(sequential similarity detection algorithm)	×	×	×
Least Square Matching	※△	※△	※△

※Depending on the used function