

弾性体モデルによるデータス テッチング手法の開発

栗田光樹夫、江見直人、石井遊哉(京都大学)

141119

第4回可視赤外線観測装置技術ワークショップ

イントロダクション

計測器は測定範囲がある



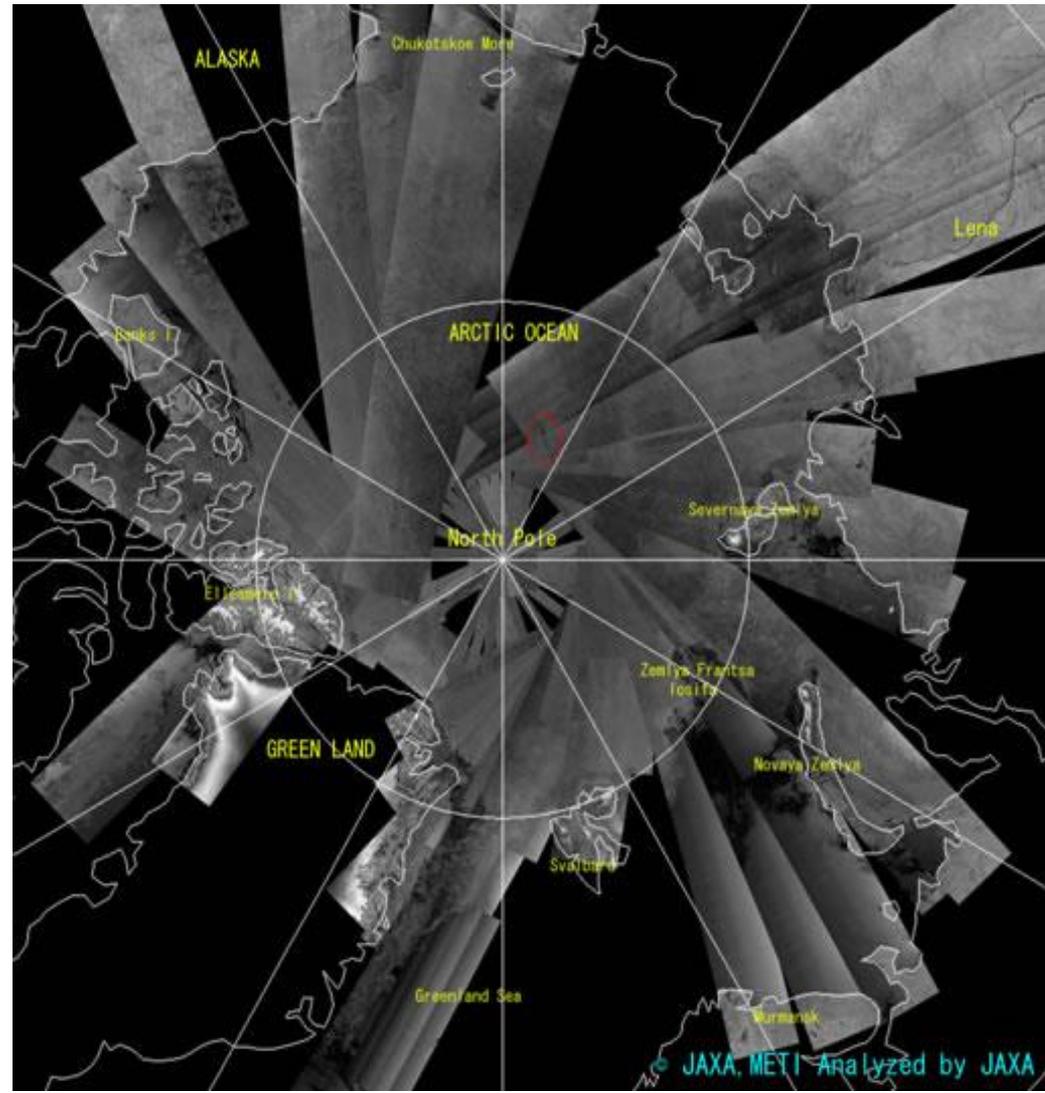
測定範囲を超える対象を計測すると**独立した複数系列のデータ**が得られる



各系列データには計測誤差が加わり、互いに矛盾した結果となる



系列データの接続(ステッチ)はうまくいかない。

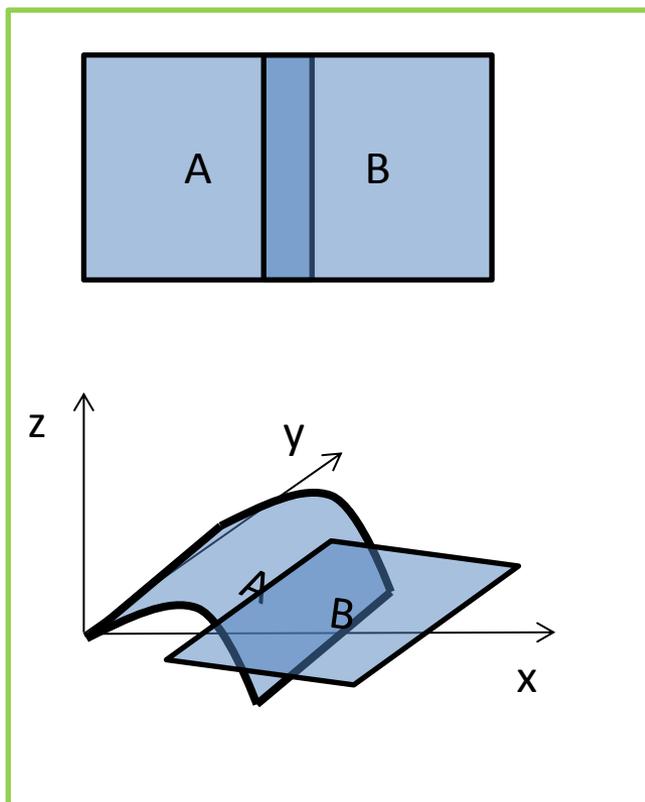


従来の方法

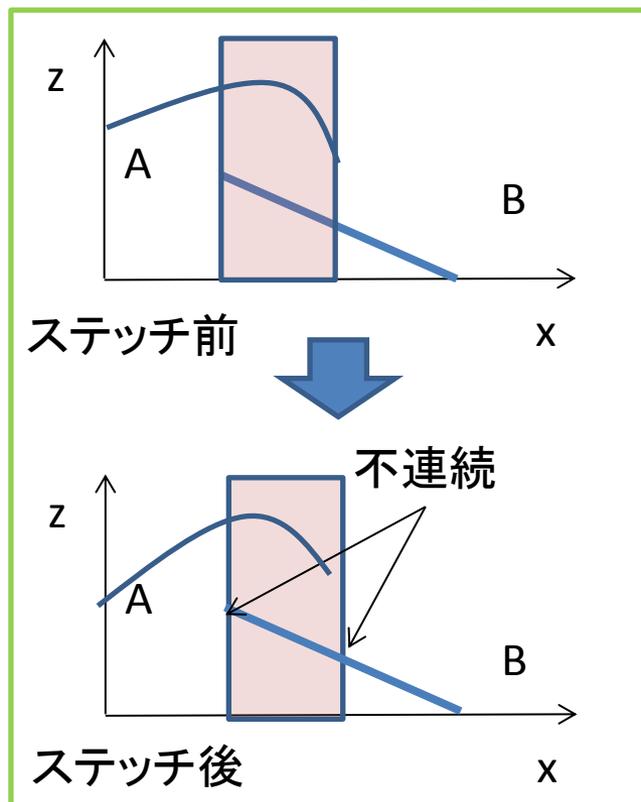
- 剛体的なデータの接続
 - 科学データで用いられる
 - 段差が残る
 - データ評価は系列データごと
- アルファ・ブレンディング
 - 科学データには用いられない
 - 段差が無く見た目がきれい

剛体的なデータ接続

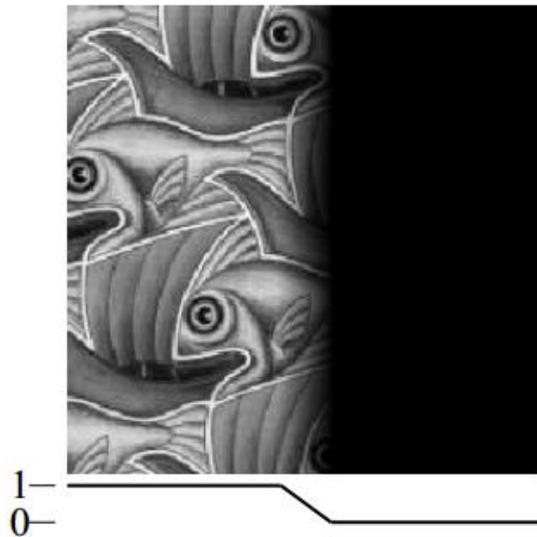
- 重なった領域の偏差が最小になるように傾きとシフトのみを補正
 - データを**剛体**として扱う
- 不連続さは解消しない



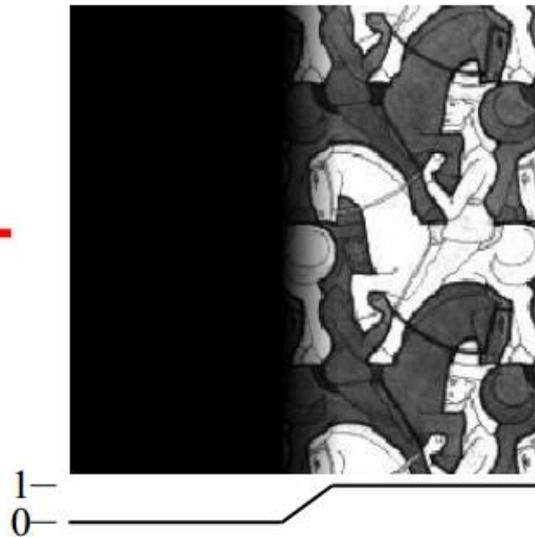
傾きシフト以外の誤差を持つとき



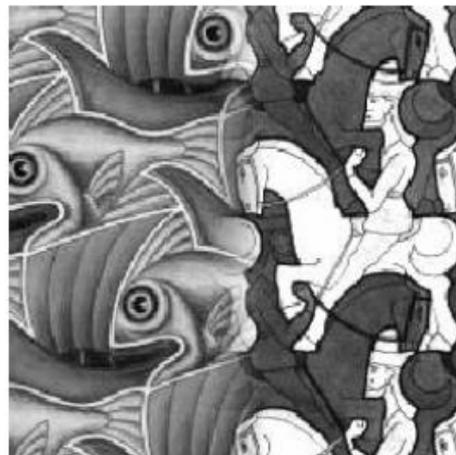
アルファ・ブレンディング



+



=

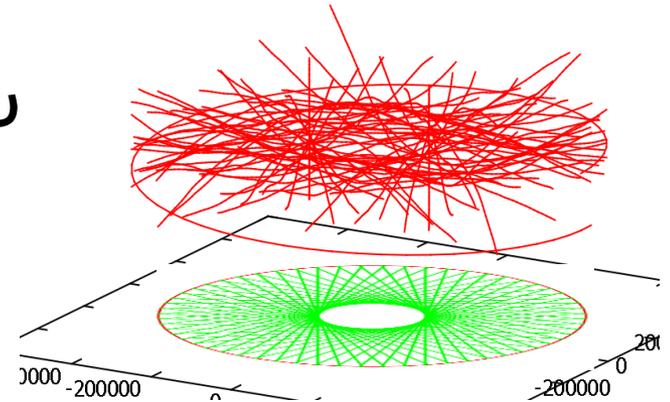


Encoding as transparency

$$I_{\text{blend}} = \alpha I_{\text{left}} + (1-\alpha) I_{\text{right}}$$

本手法の原理

- データを弾性体とみなす
 - 計測結果 → 弾性体の形
 - 計測精度 → 弾性体の固さ
- 交点において矛盾があっても強制的に接着
- 弾性体の最小エネルギーを解く
 - 矛盾を全体で共有

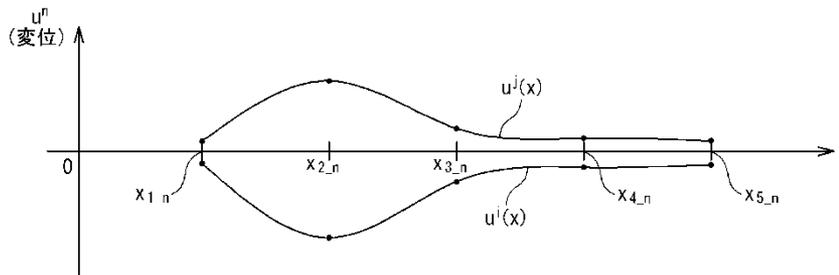
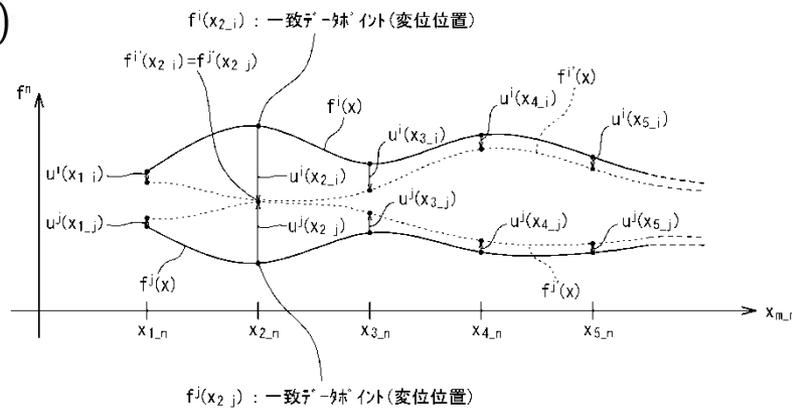
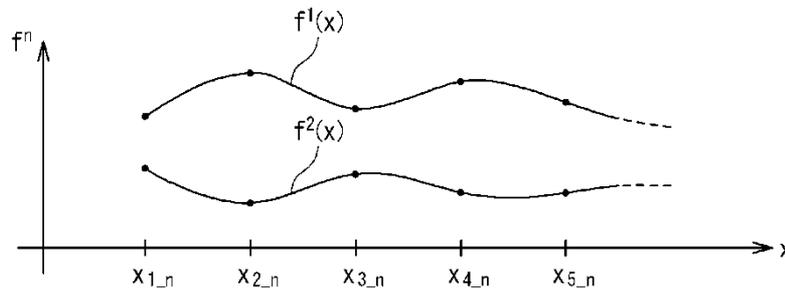


本手法の原理

ステッチング条件: $f^i(x_{m_i}) + u^i(x_{m_i}) = f^j(x_{m_j}) + u^j(x_{m_j})$

最適化: $\min \sum_{n=1}^N \int \ddot{u}^n(x)^2 dx$

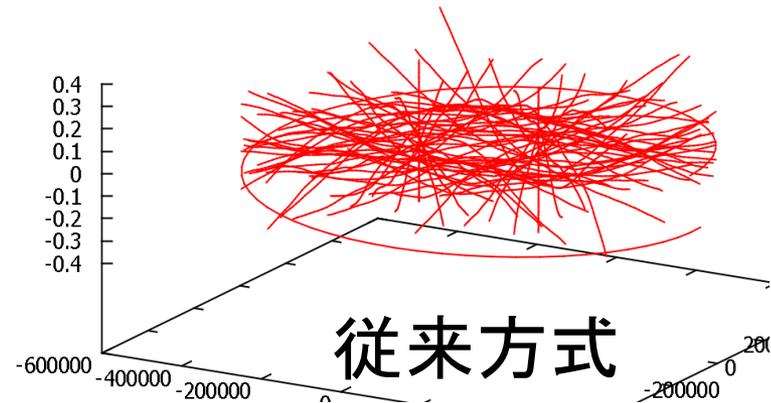
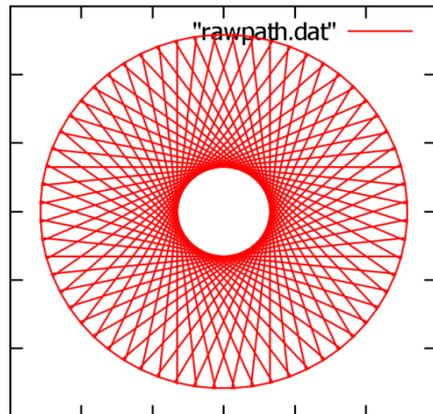
スプライン
カーブ



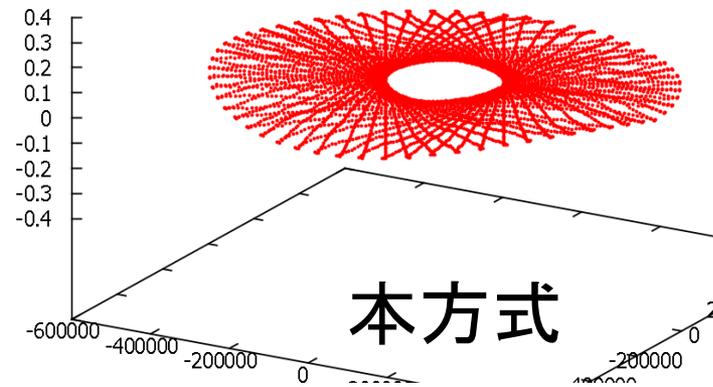
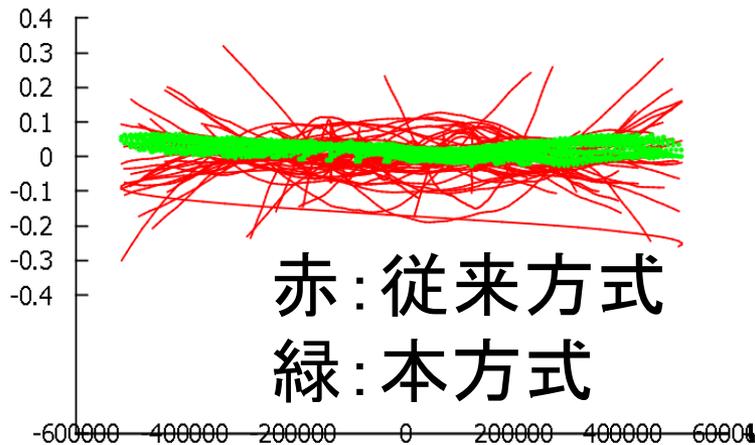
従来方法: 偏差を最小化

本方法: 偏差を**ゼロ**とし、データの**補正量**を最小化

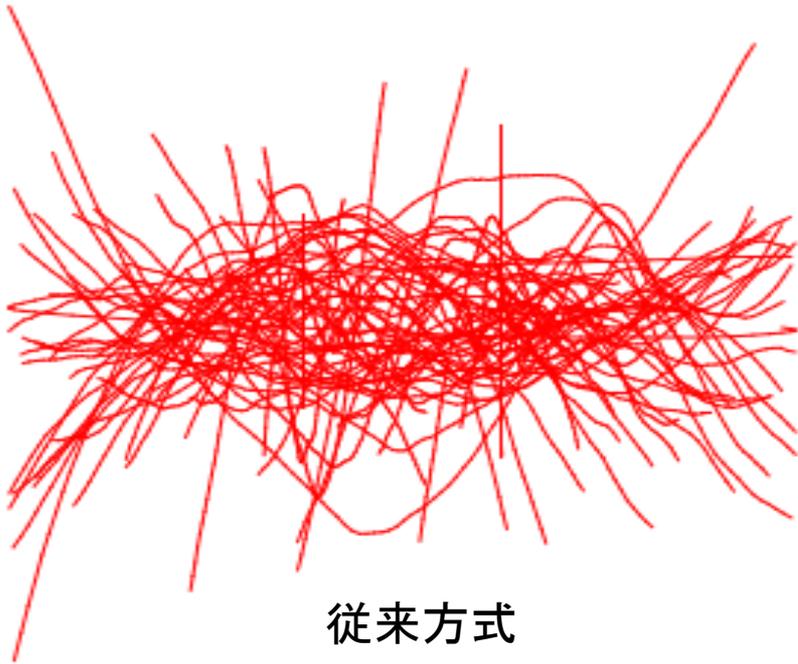
例 平面計測



計測パス

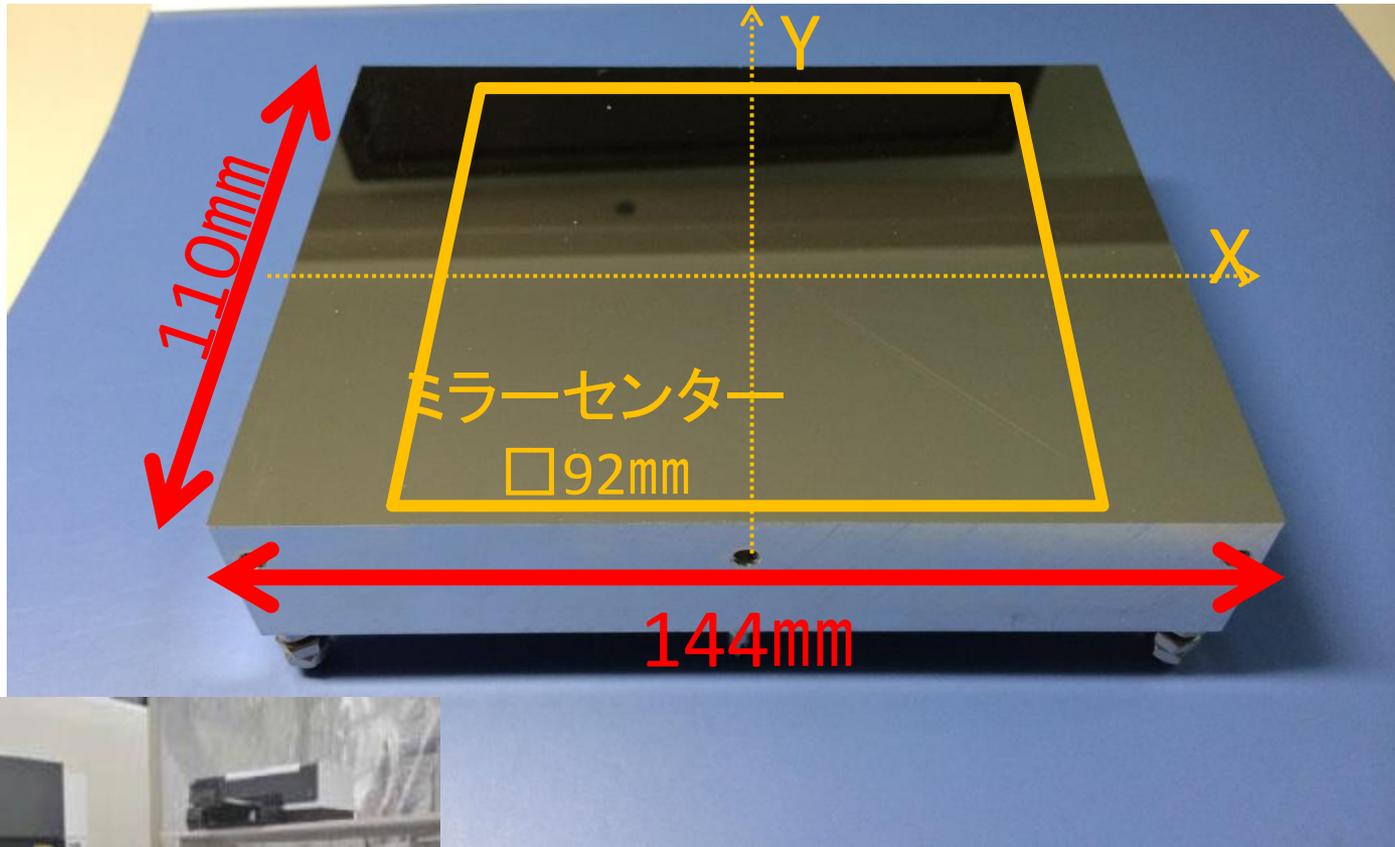


埋もれた情報の検出 平面に釣鐘形状

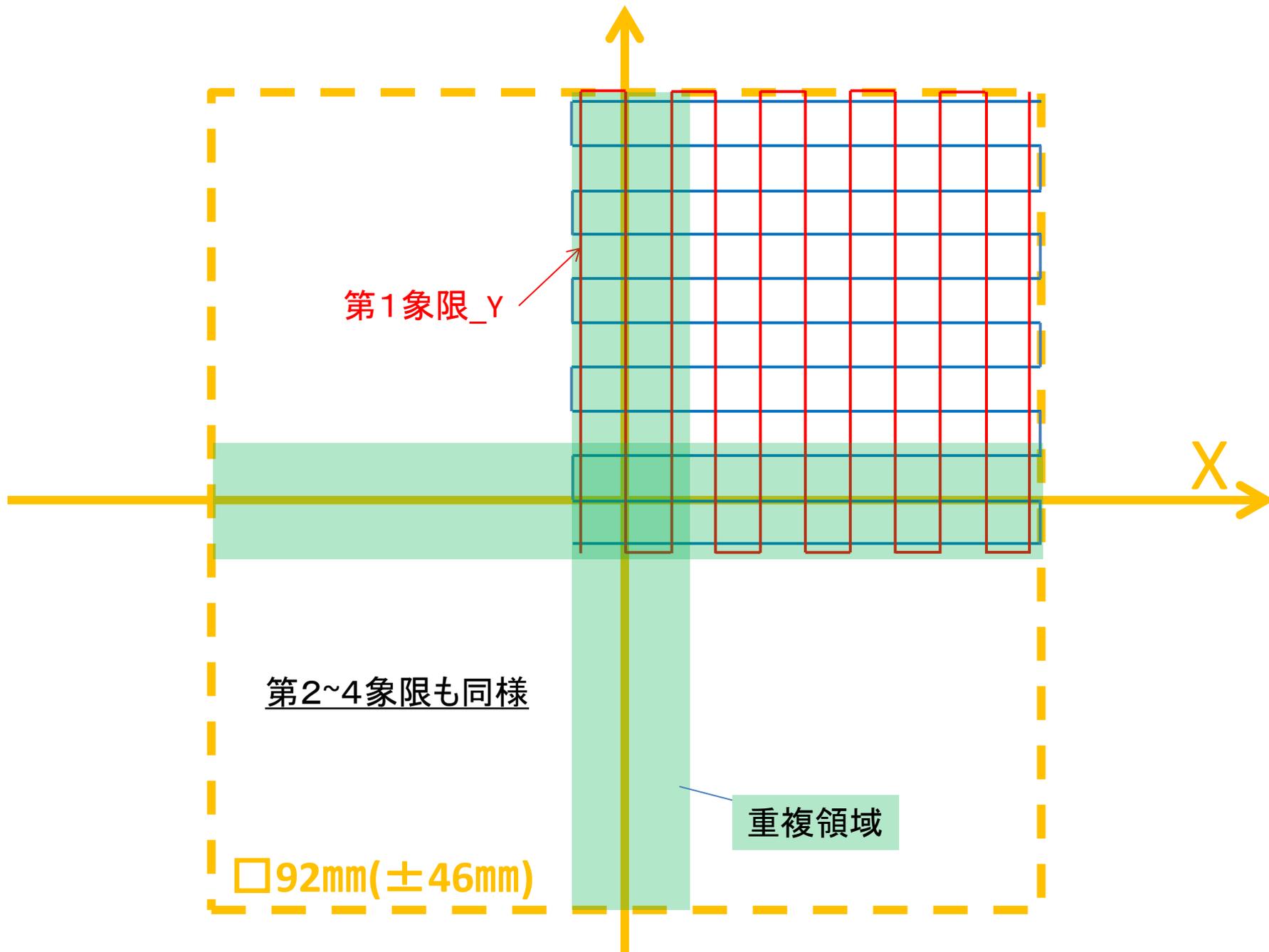


スムージングなどの処理と異なり、空間情報を損なわない

クリスタル光学での実験例

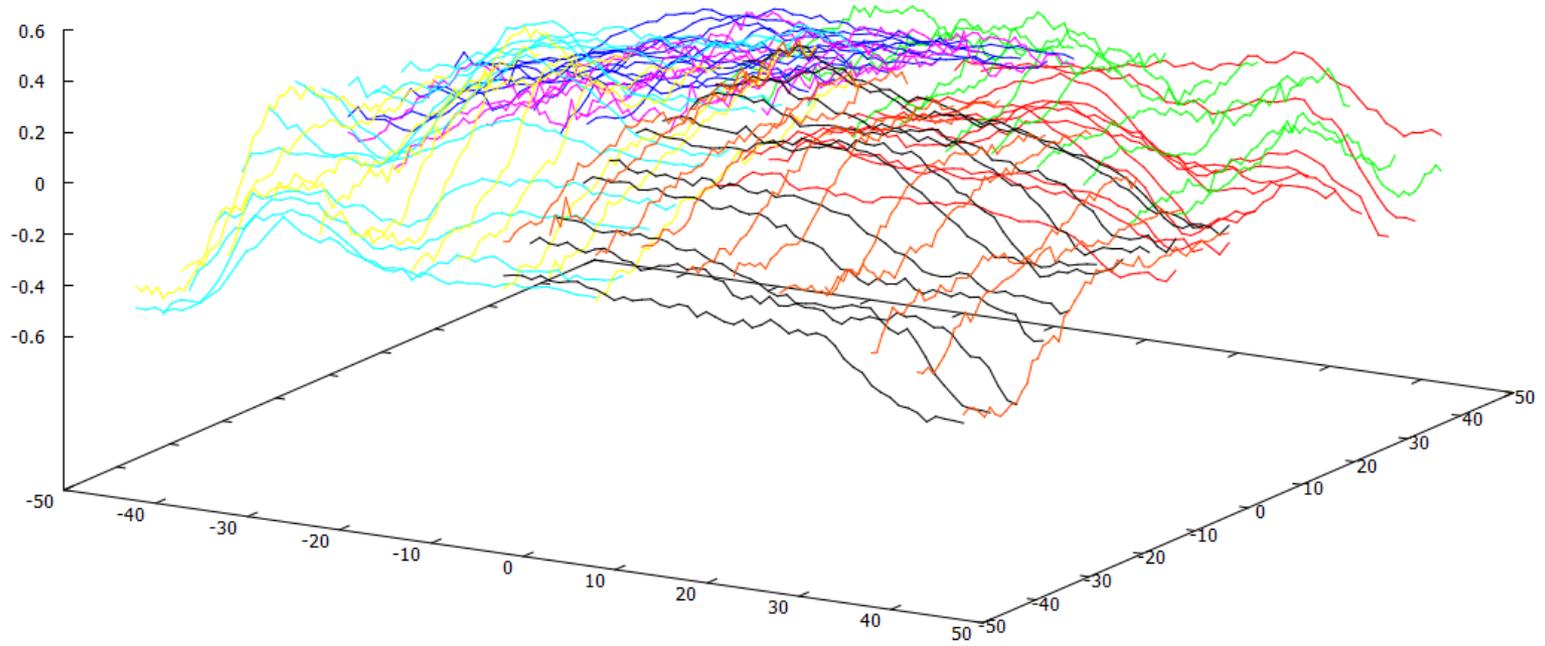


平面鏡をUA3Pで計測

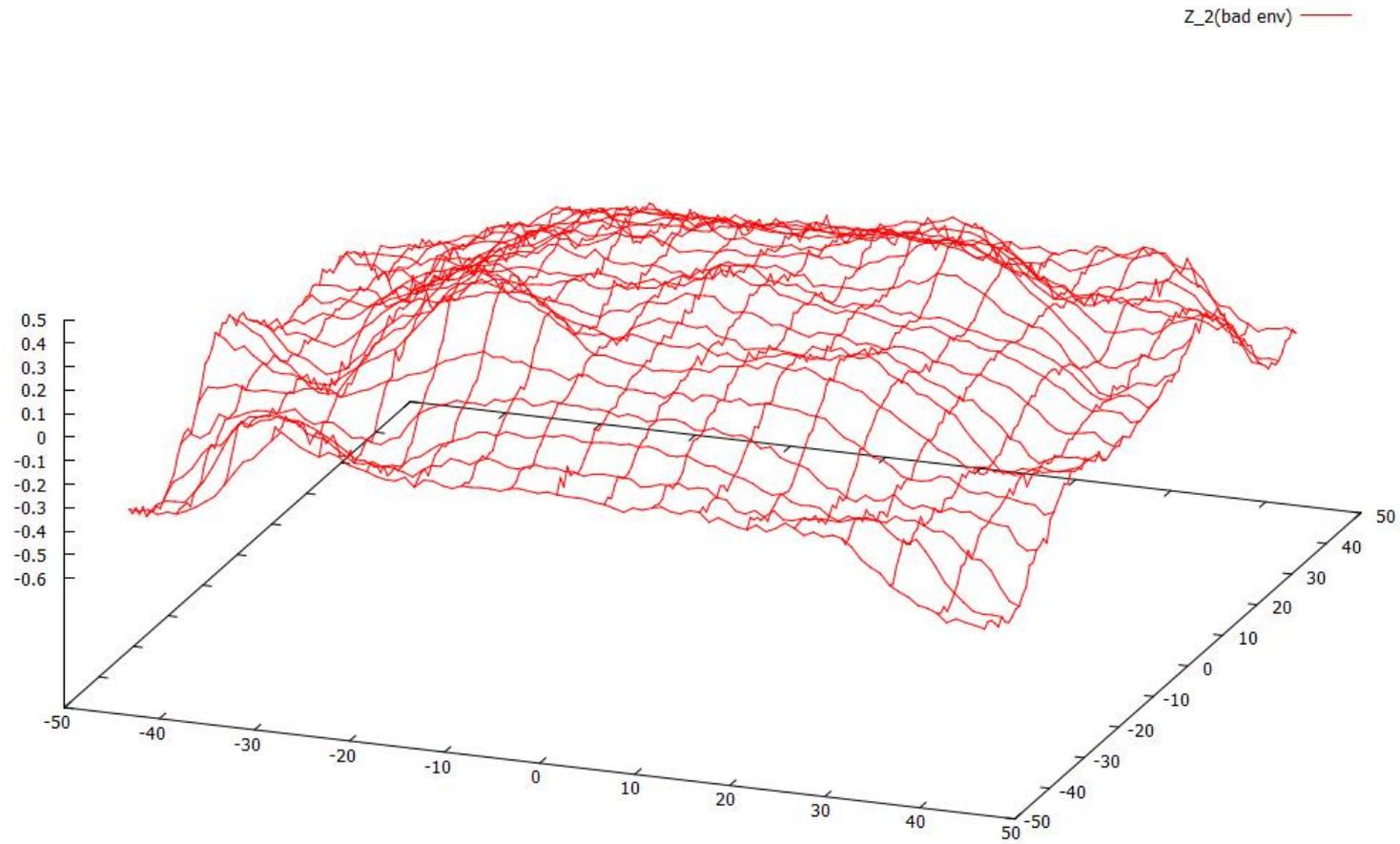


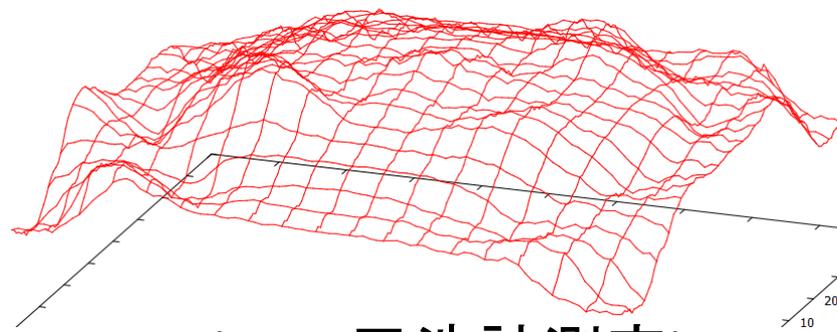
UA3Pが設置されている部屋のドアを開けた状態での計測

系列データのねじれが大きい

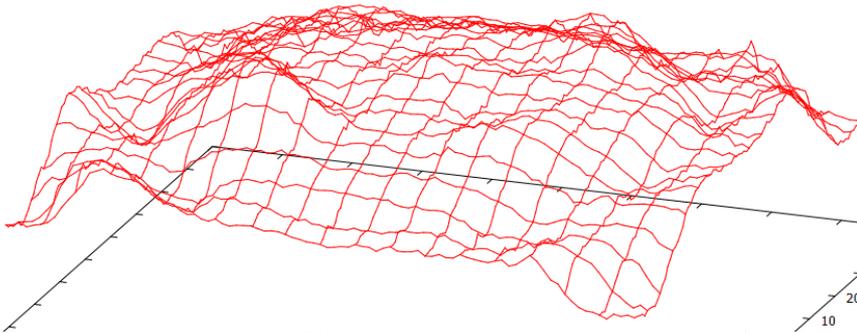


4つの象限をステッチした結果(悪環境測定)

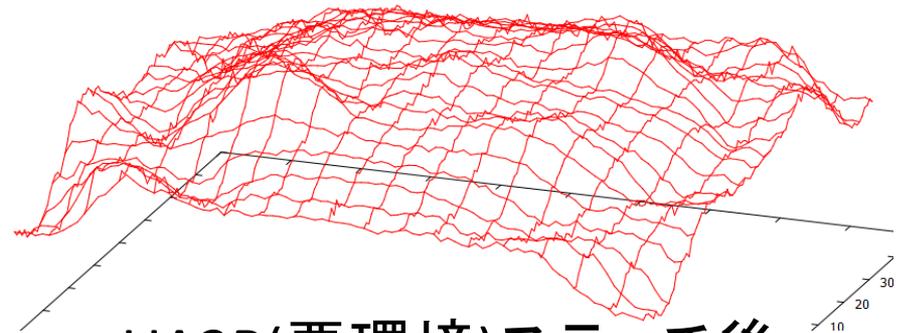




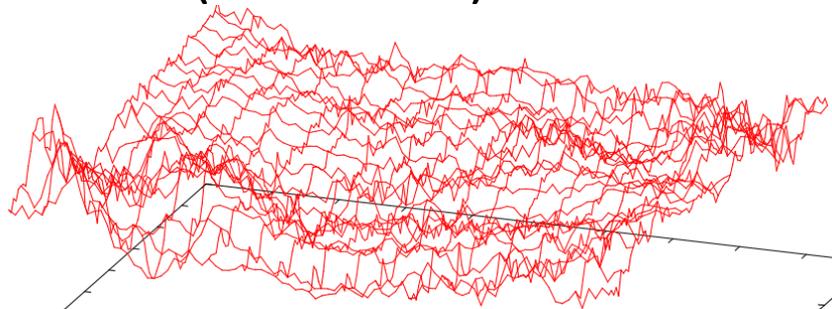
(Zygo干渉計測定)



UA3P(通常環境)ステッチ後

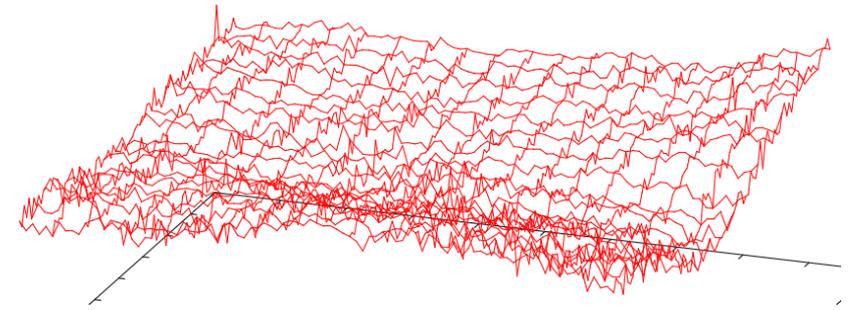


UA3P(悪環境)ステッチ後



UA3P—Zygo(通常環境)

PV=321nm, RMS=55nm

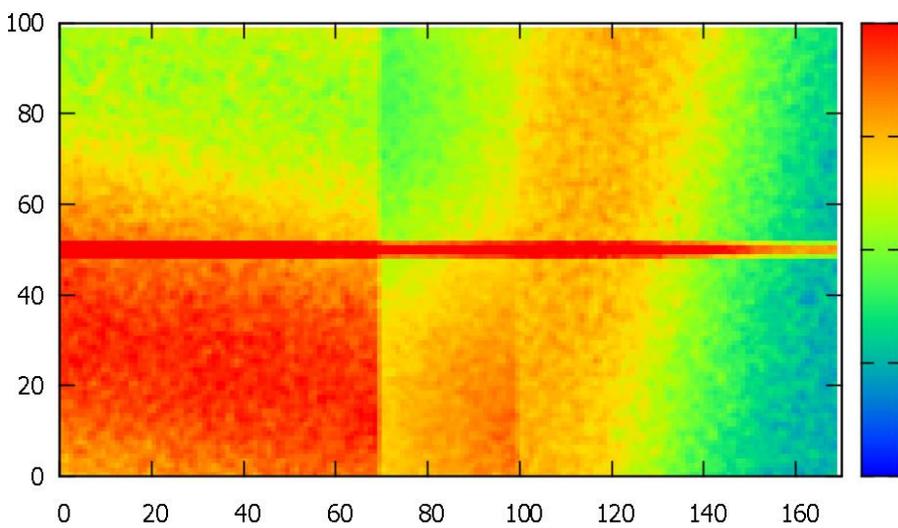
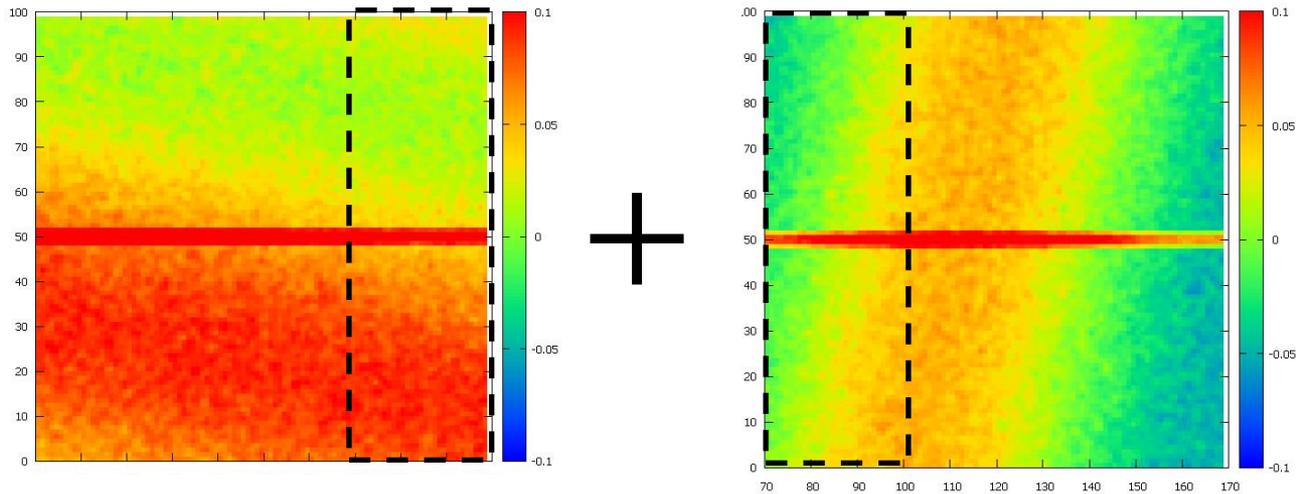


UA3P—Zygo(悪環境)

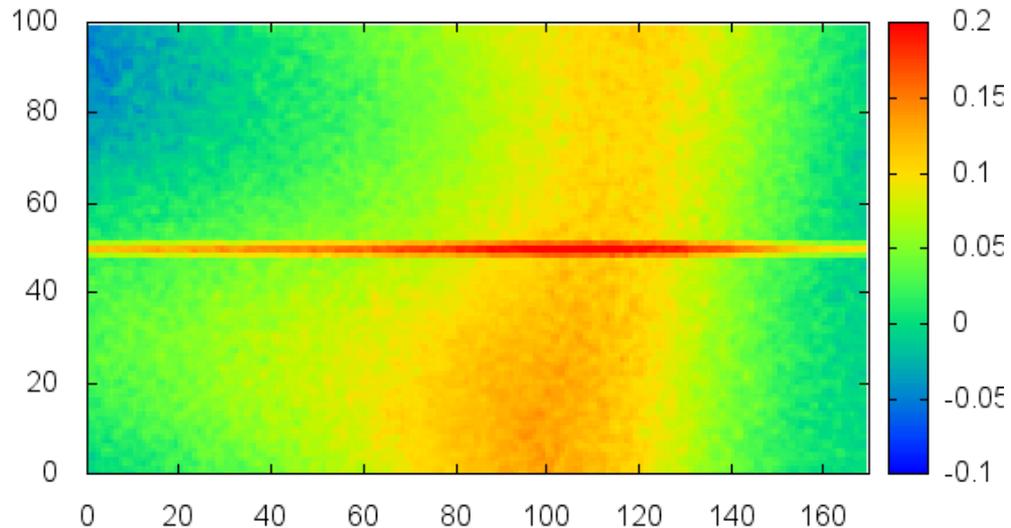
PV=264nm, RMS=40nm

象限のつなぎ目がなめらかで悪環境でも通常環境と同様の結果が得られる

例：2次元マップ シェル要素



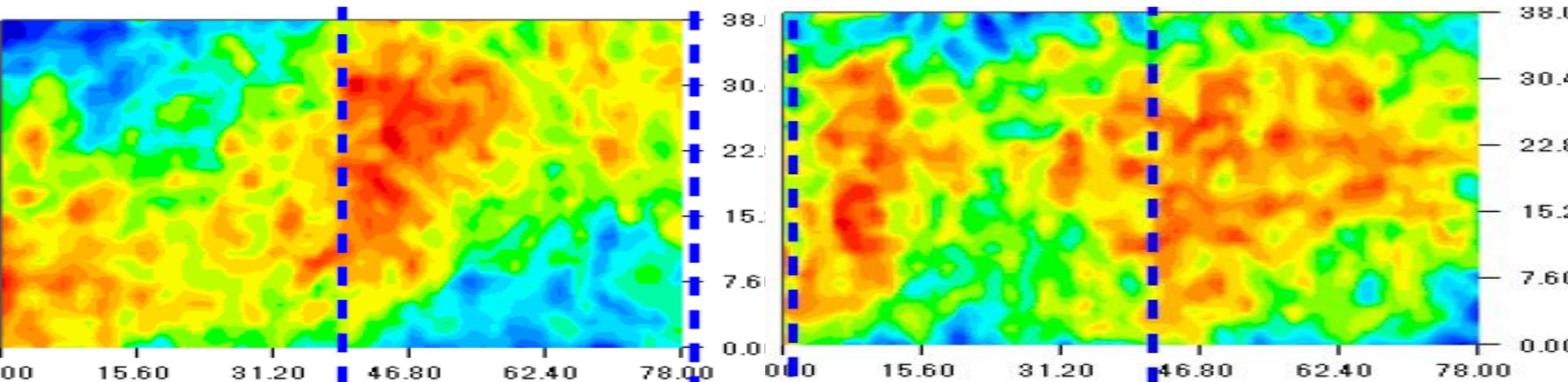
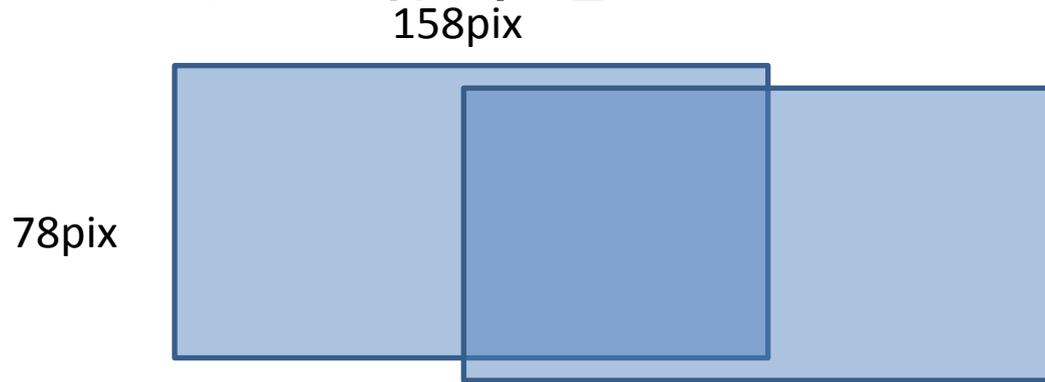
従来方式



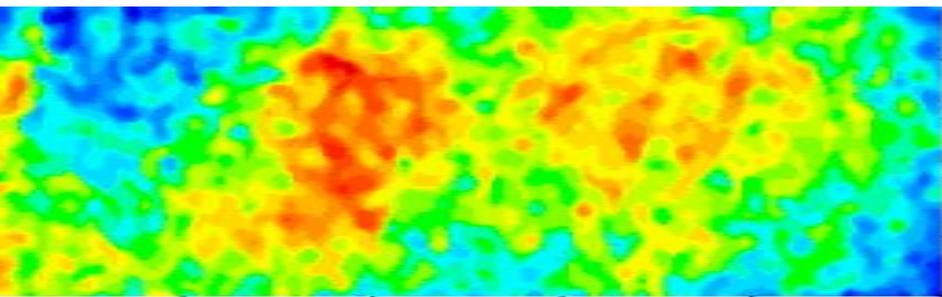
本方式

溝尻光学での実験例

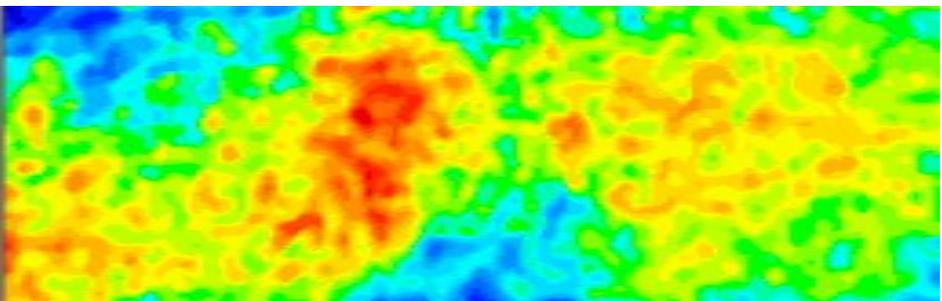
- 干渉計での計測結果をステッチング



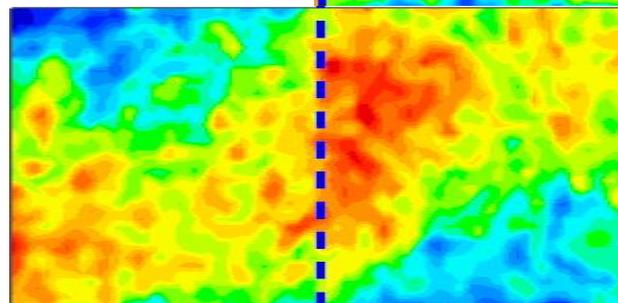
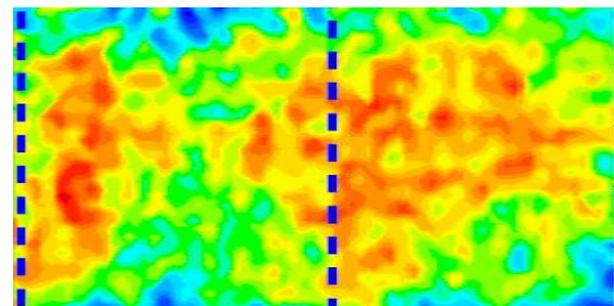
ステッチ後の結果



一括計測



部分計測ステッチ後



部分計測未処理

議論

- この手法の対象とする誤差
- 一般性: 算術平均との比較
- ソルバ
- 応力の活用
- 固有値の活用

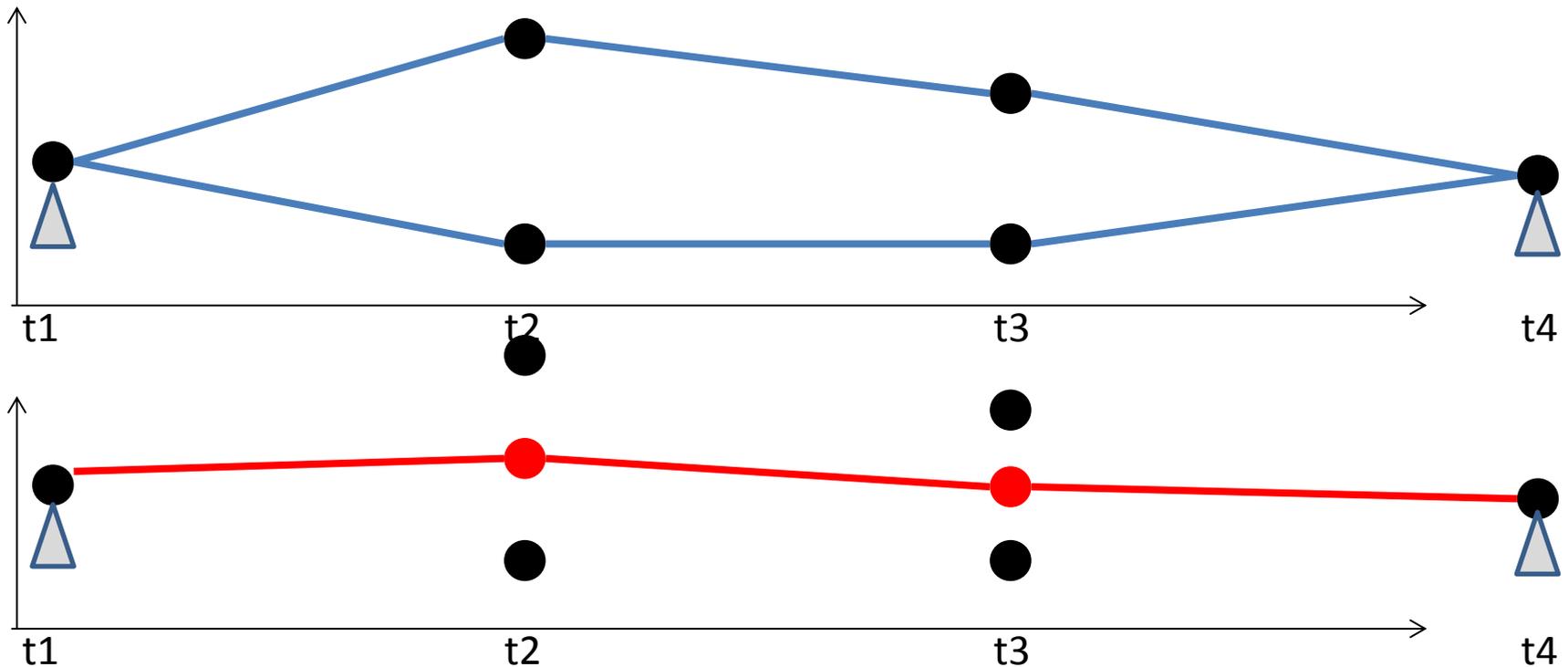
対象とする誤差

- 系列データは時間的空間的にゆらぐ
- 時間的空間的に離れたデータほど相関が弱くなる(逆はない)
- 通常は頻繁に標準資料による校正を行いながらデータの信頼度を均一にする
 - サンプル効率の低下
 - 校正ができない場合も多々ある

	計測	誤差の周波数	隣接したデータ間の誤差	処理
量子的なゆらぎ	分解能	最小 サンプリング 周波数と同じ	無相関	算術平均
オフセット	再現性	最大 系列データ サイズと同じ	強い相関	校正 原点調整など
上記の間の誤差	ドリフト	多様	距離に応じて	本方式

平均と弾性体

系列データのサンプル点が完全に一致する場合は算術平均処理が可能



上下の弾性体の固さは形状に依らず同じなので接合すると
算術平均と同じ結果が得られる

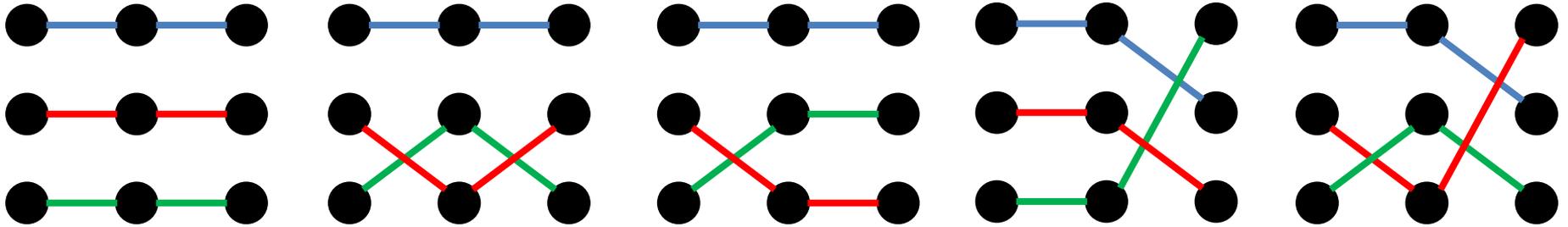
ソルバ

- ソルバ: **有限要素法**

×: 引張・圧縮や降伏・破断といった無用な機能が邪魔

○: 応力マップや固有値の副産物に価値があるかもしれない。

応力の活用



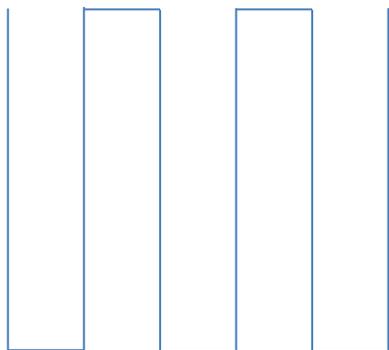
- 有限要素解析を行うと、変位と応力図が得られる。
- 他のデータと矛盾が大きいほど応力は大きくなる
- 合成前に行うシグマクリップと異なり、合成後に評価ができる
→より高精度化が図れるかもしれない

固有値の活用

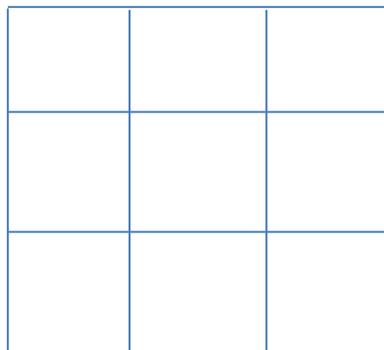


- 固有値は構造の固さを意味する
- 系列データが良く絡み合えば固有値は高くなる→良く補正し合う状態
- 計測前に戦略を立てることができる

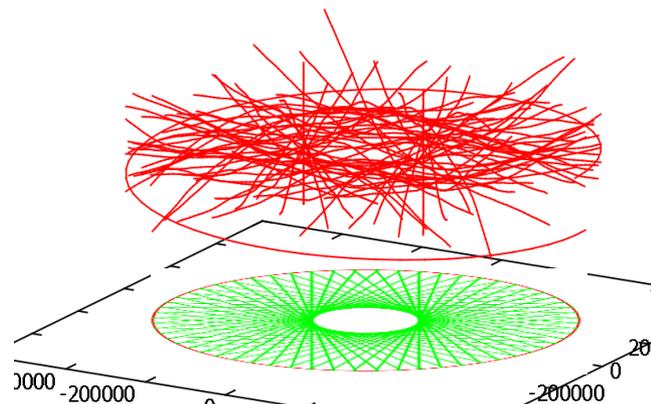
職人は経験的に固い編み方を知っている。



固有値小
弱い構造
補正能力なし



固有値大
強い構造
補正能力大



まとめ

- 弾性モデルによるデータ処理法を提案
- 偏差のあるデータの偏差をゼロにできる
- 有限要素法でつり合い(最小エネルギー状態)を計算
- これまで平均処理でしか対処できなかった誤差のドリフト成分を効率よく補正できる
- 固有値解析によって計測戦略を評価できる