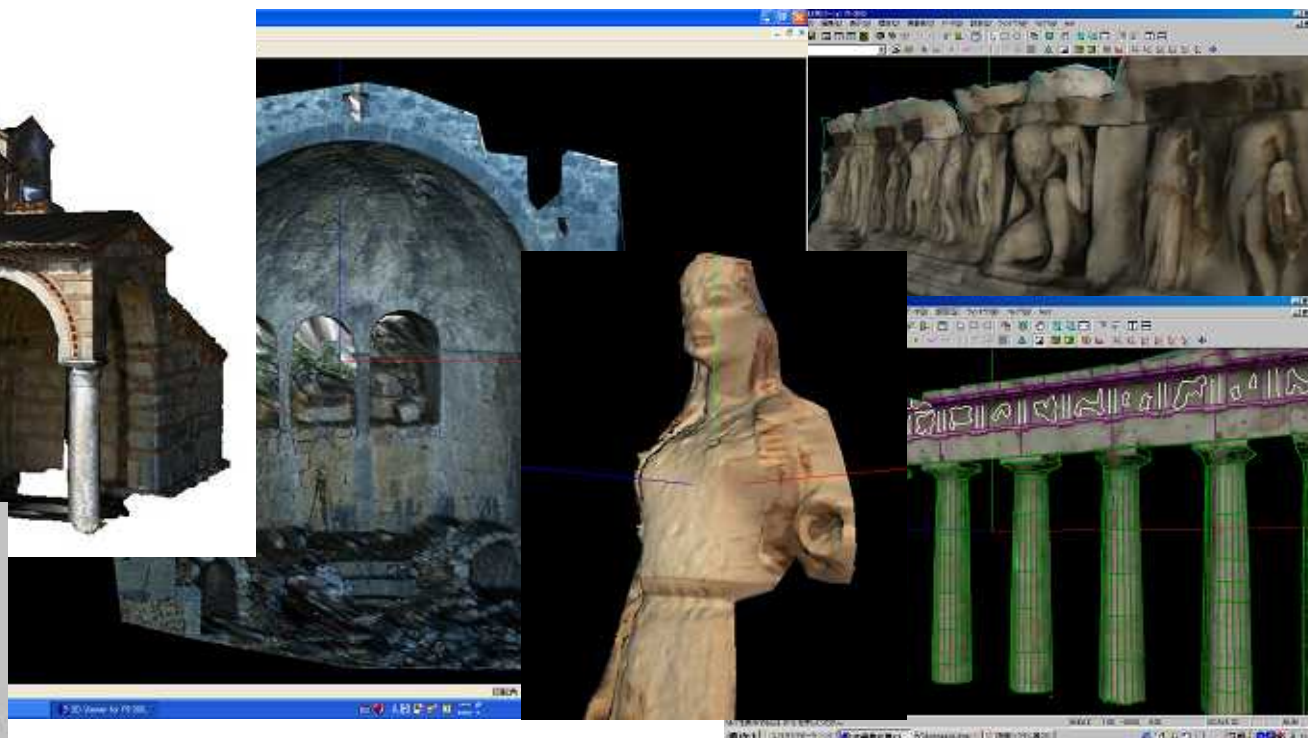


デジタルカメラとPCを利用したデジタル写真 測量システムと文化財への様々な応用



株式会社 トプコン

研究所画像応用研究室

高地伸夫

デジカメ画像から簡単に3Dモデル作成！



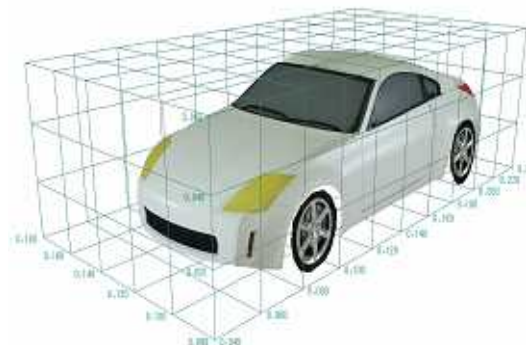
3D画像計測ステーション
PI-3000



TINモデル



デジタルカメラ撮影



テクスチャ付き3Dモデル

内 容

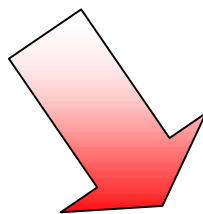
- 1 . はじめに
- 2 . 基本原理
- 3 . システム構成
- 4 . デジタルフォトグラメトリ (写真測量) 技術説明
- 5 . 計測・モデリング デモ
- 6 . 応用例紹介
- 7 . おわりに

航空写真測量
(マッピング)



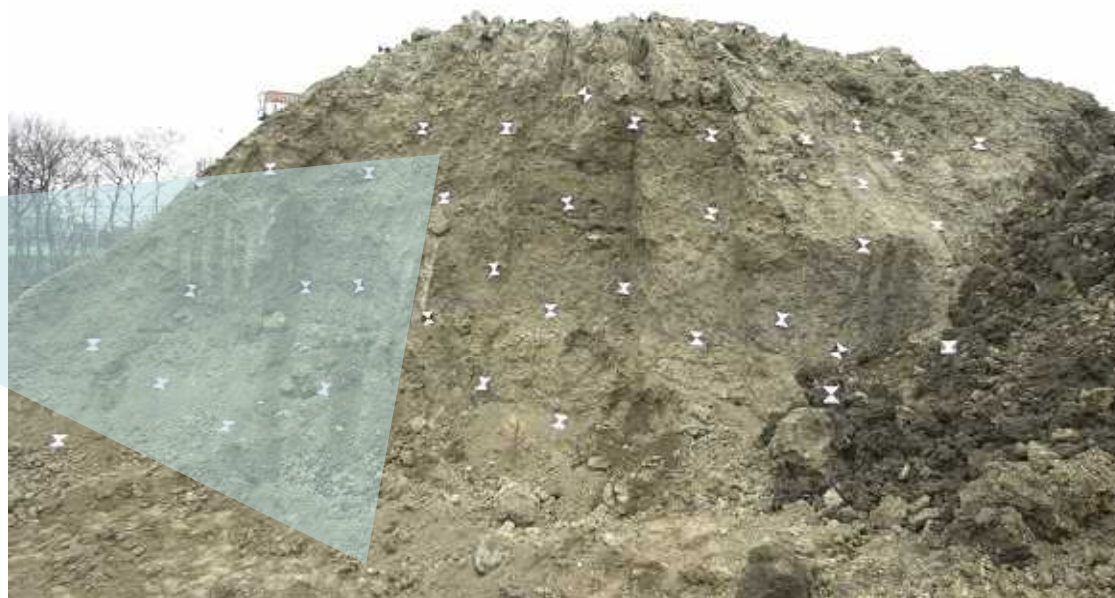
はじめに

- ・デジタルカメラの低価格・高画素化
→ 10,000万画素 ¥100,000
- ・パソコンの低価格・高速化 → 4 GHz



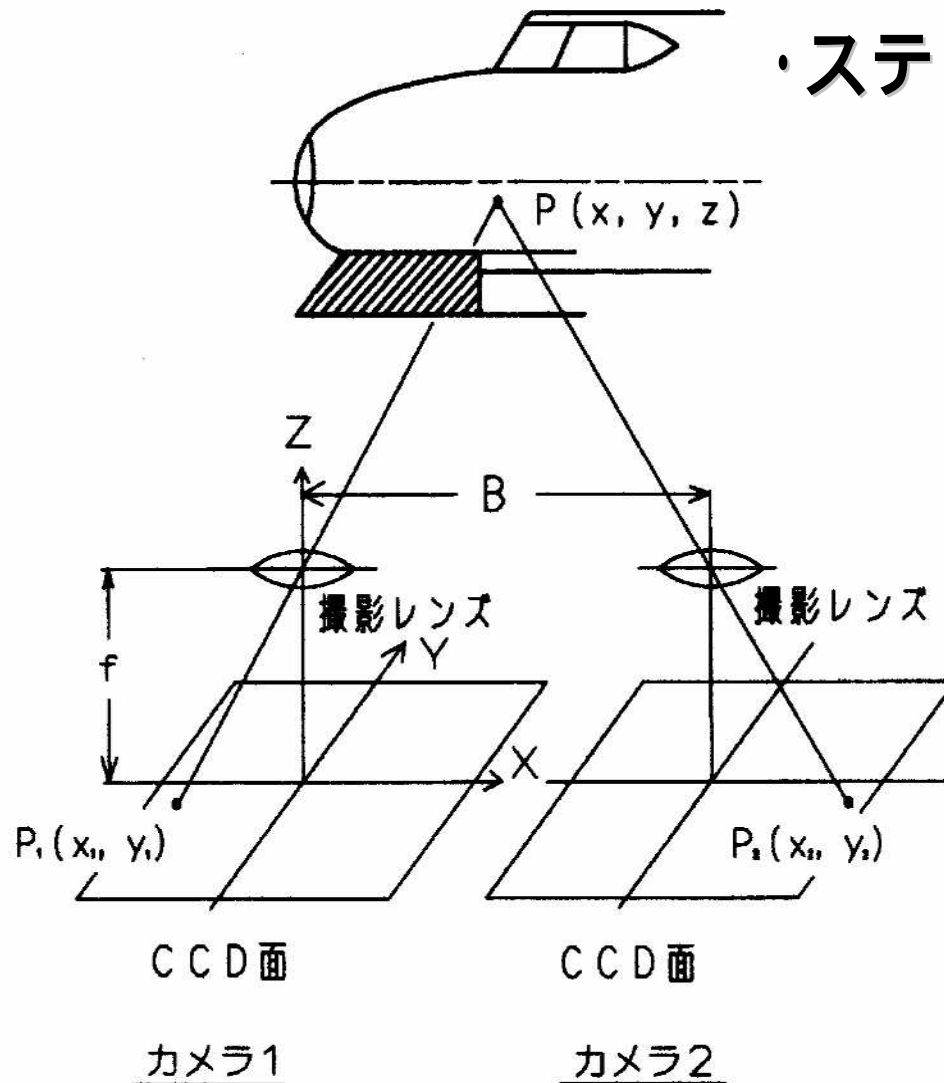
デジタルカメラによる計測へのニーズ大！
(デジタル写真測量技術の利用)

地上(近接)写真測量



基本原理

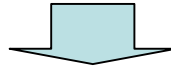
・ステレオ画像法による3次元計測



左右画像の対応点探索
(ステレオマッチング)による
対象物の三次元位置計測

計測フロー

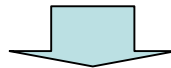
計測準備



撮影



計測処理: PC (ソフト)



図面出力・3Dデータ出力

システム構成



Digital Camera

市販デジタルカメラ



PC

パソコン



Stereo Monitor

3Dモニタ



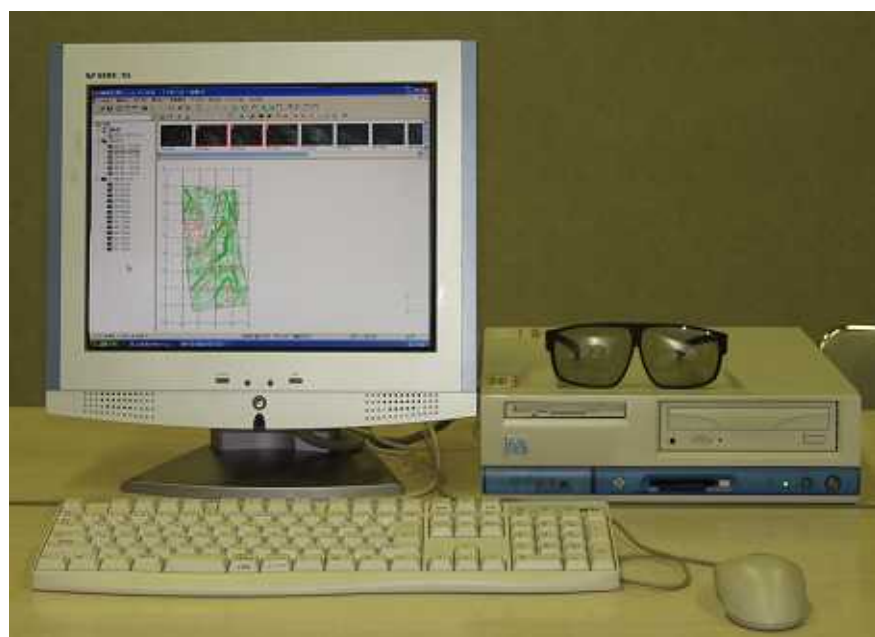
Polarized Glasses

偏光眼鏡

3Dモニター

μボール方式3D液晶モニター

15インチ(製品)



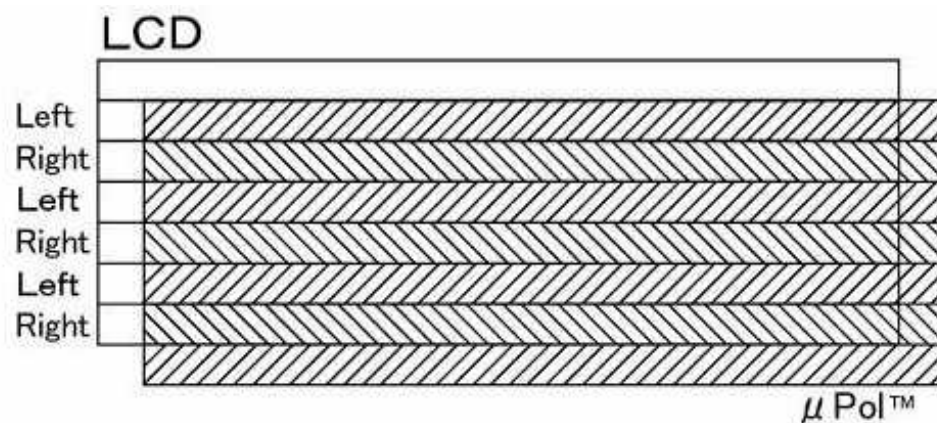
30インチ(デモ用)



リアルなカラー画像として立体観測

3D計測結果(複雑な凹凸)のチェック、編集、計測結果確認

μポール方式3D液晶モニターとは



奇数、偶数ライン毎に
90° 偏向させた特殊
なフィルムを液晶モニタ
ーに貼る。

「μ Pol™ (マイクロポール)」システム インターリーブ方式



偶数ラインを
左眼で認識



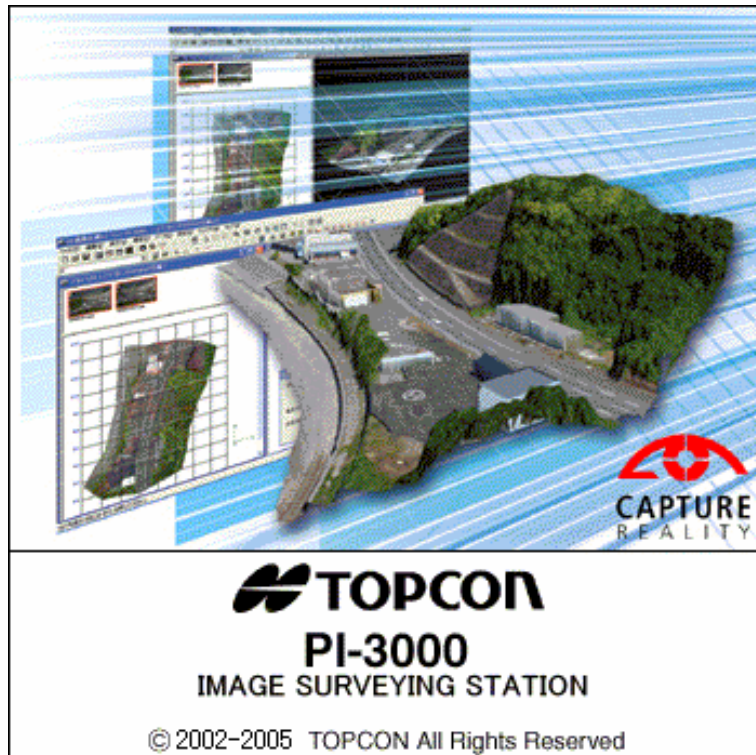
奇数ラインを
右眼で認識



偏光効果

- ・フリッカーなし
- ・フルカラー表示
- ・特殊な電気回路不要
- ・低価格

デジタルフォトグラメトリ(デジタル写真測量)ソフトウェア



屋外での3次元計測・モデリング
土木施工、建築、遺跡、大規模対象物
航空写真による地形計測、GIS
その他 幅広く利用



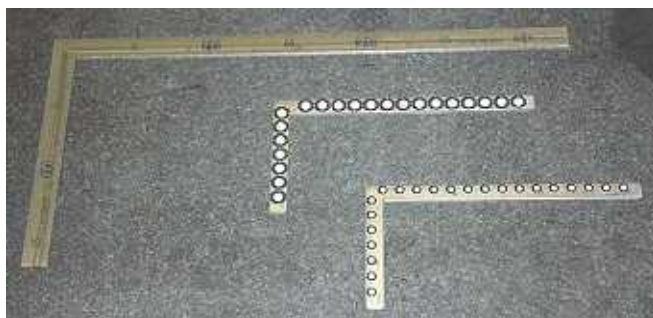
工業計測
中・小規模対象物の
3次元計測・モデリング
数10cm ~ 数m

デジタルフォトグラメトリ ソフトウェア

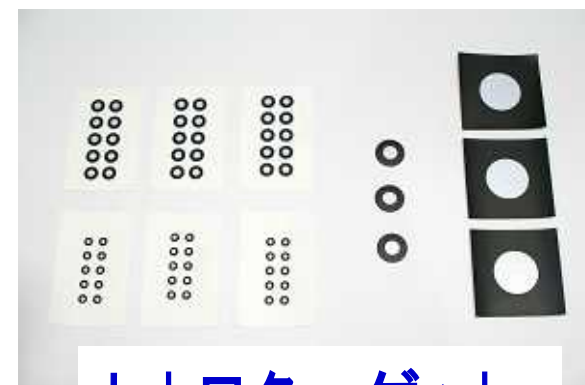


- ★ デジタルカメラで撮影した2枚以上のデジタル画像から簡単な操作で3Dモデルを作成する画像計測ソフトウェア
- ★ バンドル調整法の採用により、多数枚の画像の計測から全周計測までの3Dモデル作成。
- ★ 3Dモニターと3Dメガネによる詳細計測、立体観測可能

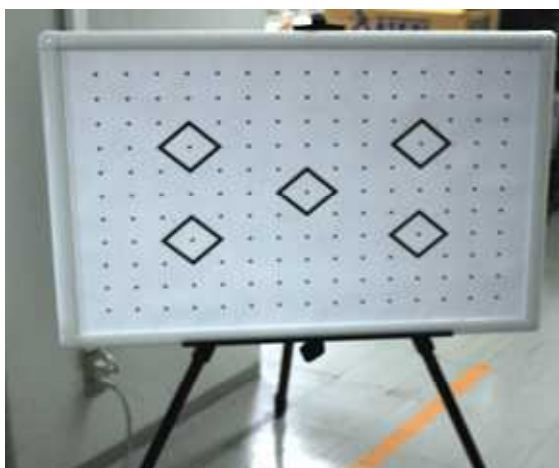
計測用オプション



↑
← 基準尺



レトロターゲット



キャリブレーションボード



基準フレーム

測量機器



トータルステーション



GPS

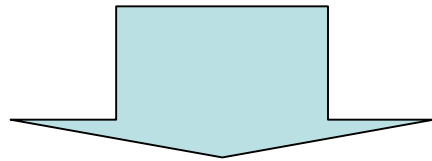
デジタルフォトグラメトリ (写真測量) 技術説明

計測準備

- デジタル写真測量技術 -

撮影計画策定

カメラ・レンズの選択
撮影距離、カメラ間距離決定

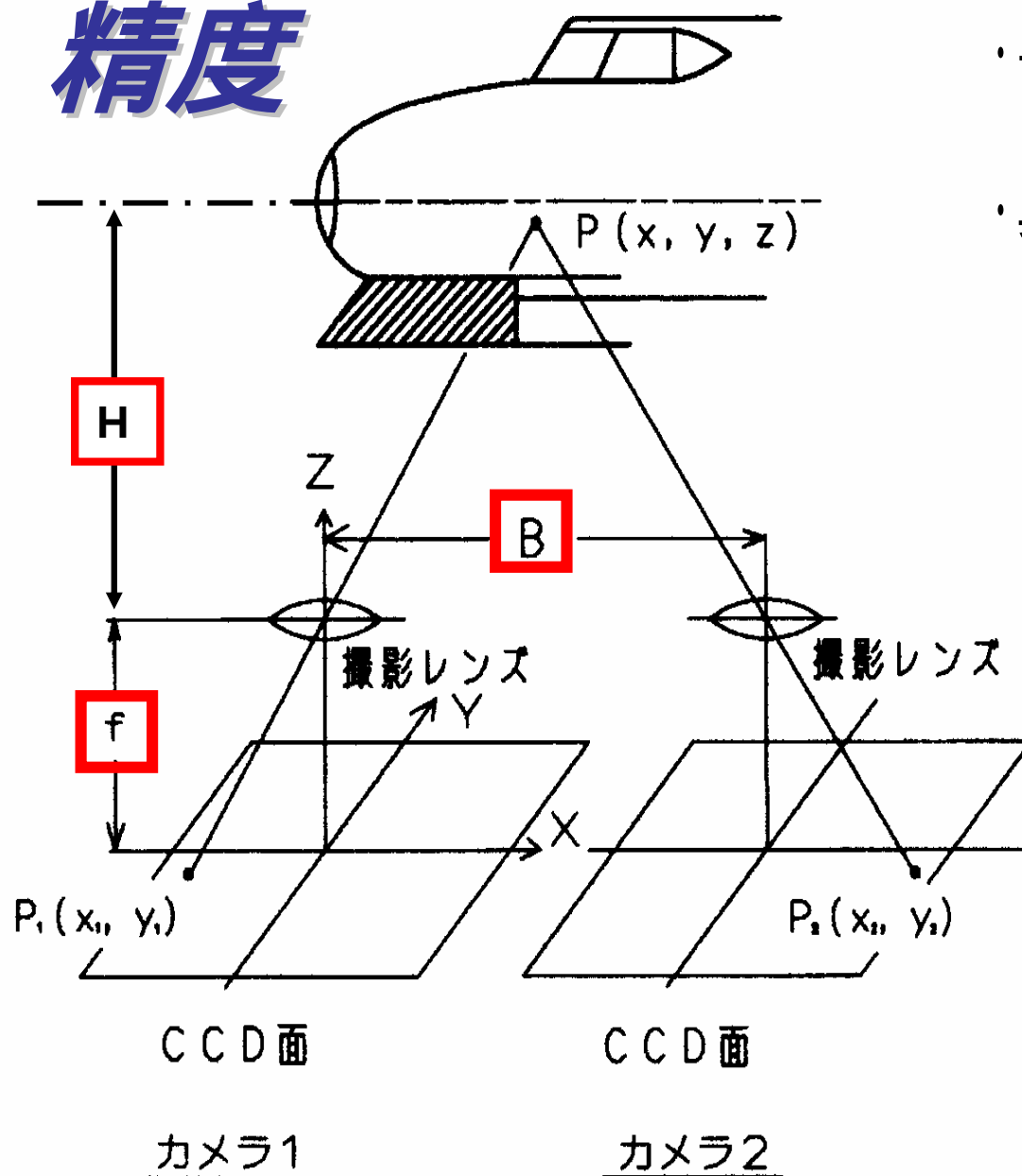


カメラキャリブレーション

- ・カメラの焦点距離、
- ・レンズ歪
- ・レンズの中心位置
を正確に求める

高精度計測にはカメラキャリブレーションは必須！

精度

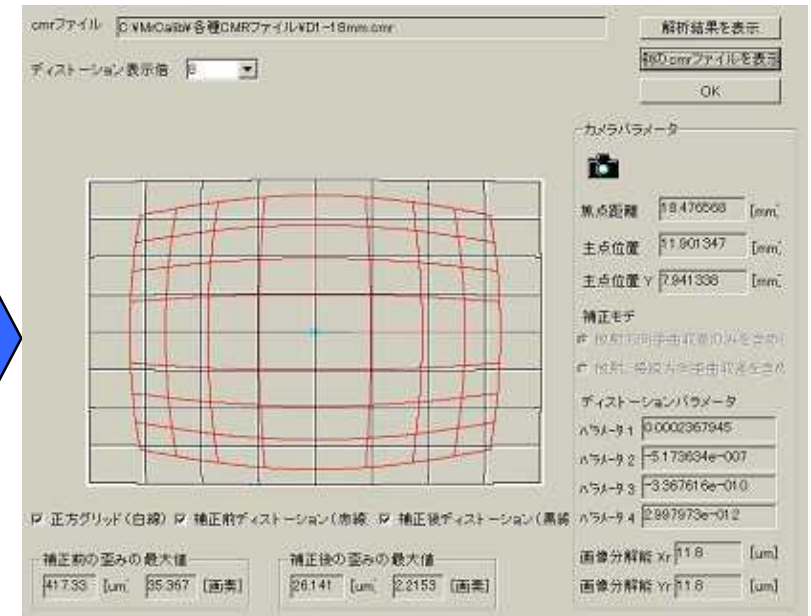
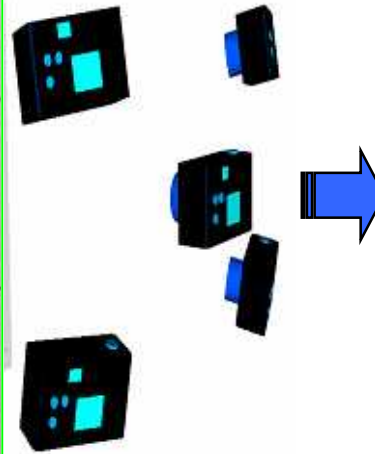


- ・平面方向画素分解能
 $\Delta XY = H/f * \delta p$
- ・奥行き方向画素分解能
 $\Delta Z = H \cdot H / (f \cdot B) * \delta p$

H : 撮影距離
 f : 焦点距離
 B : カメラ間距離
 δp : 画素サイズ

計測対象物の大きさ、
 要求精度により、
 ・レンズの焦点距離 f
 ・撮影距離 H
 ・基線長 B
 を決定

カメラキャリブレーション



高精度3Dチャート撮影

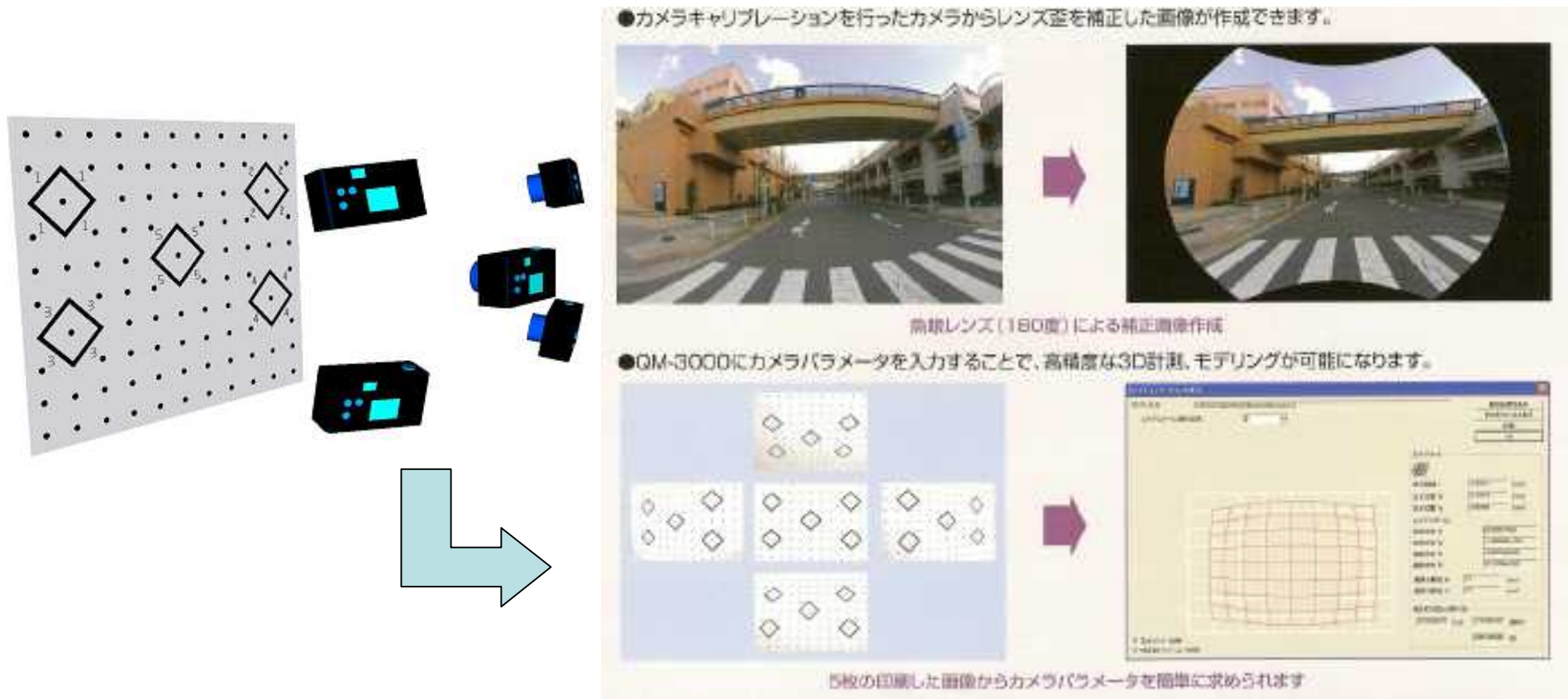
基準点数: 99点、精度: 0.3mm
カメラの角度を変えて、5箇所から撮影

キャリブレーション解析

5枚の画像からバンドル調整法によりディストーション、焦点距離、主点位置計算

計測精度: 1 / 10、000以上 (撮影距離: 10mで1mm)

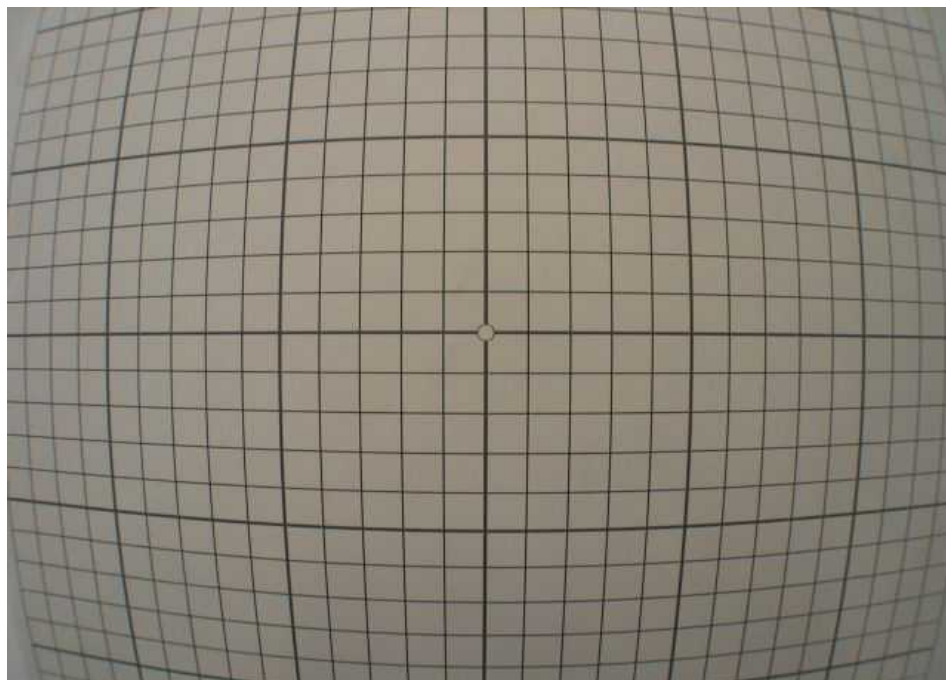
カメラキャリブレーション



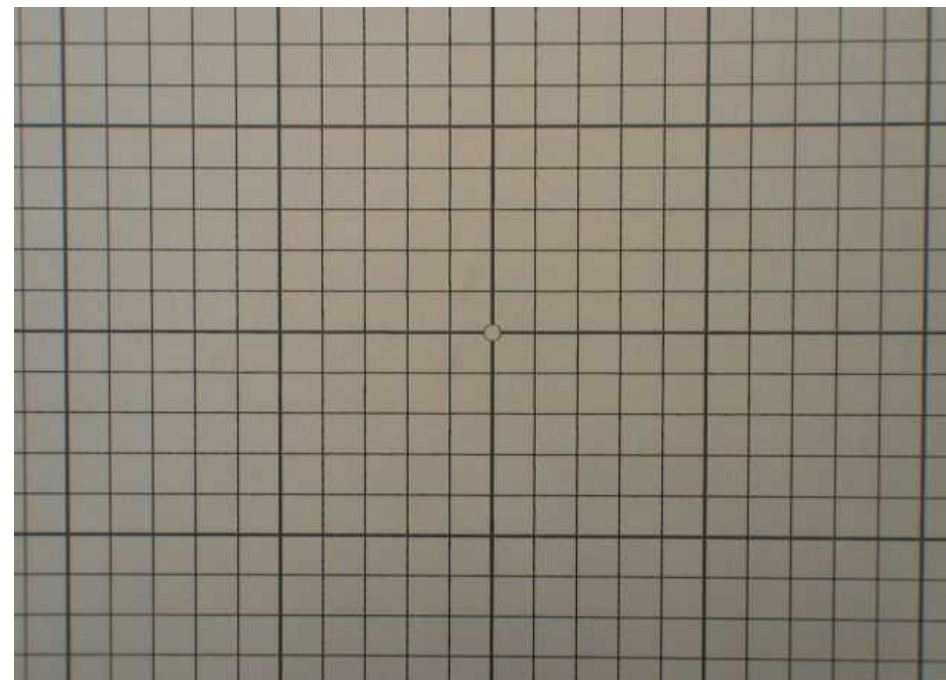
計測作業: 5枚撮影 → 全自動計測 ~ 5分

計測精度: 1 / 5、000以上 (撮影距離: 5 mで1 mm)

レンズディストーション



補正前



補正後

撮影・計測処理

－デジタル写真測量技術－

撮影(画像取得)

ステレオ画像作成
(標定処理)

3D計測・図化
(全・半自動)

3D画像再構築

・撮影位置算出

- ・相互標定、絶対標定
- ・バンドル調整

・左右画像の対応点探索
(ステレオマッチング)

・3次元データ算出

・3Dモデル作成

・断面図、等高線、
正射投影画像(図面)作成

図面出力
3Dデータ出力
3DCAD
レプリカ作成

撮影・計測処理

ーデジタル写真測量技術ー

撮影(画像取得)

- ・デジタルカメラ: **ハンドフリー**
- ・ステレオカメラ: **固定**
- ・マルチカメラ: **固定**

撮影



・1台のカメラにより移動しながら計測

・市販デジタルカメラによるハンドフリー撮影、計測

・ステレオカメラによる撮影・計測

・複数カメラによる撮影・計測

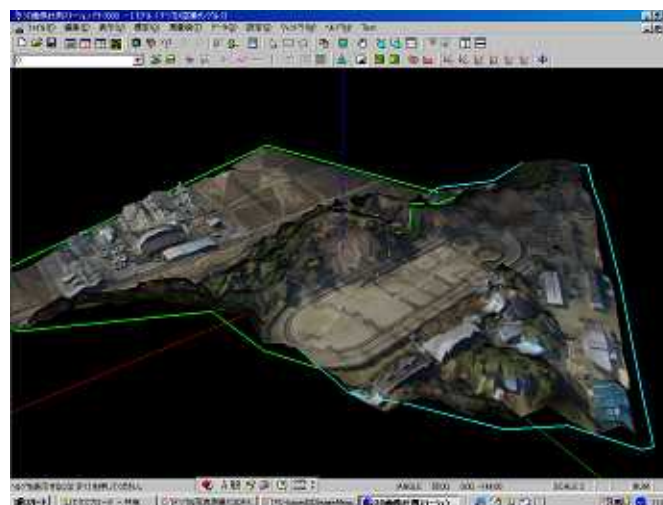


撮影(空中)



空中撮影画像

- ・ 航空写真
- ・ ラジコンヘリ
- ・ 衛星画像



計測処理

- デジタル写真測量技術 -

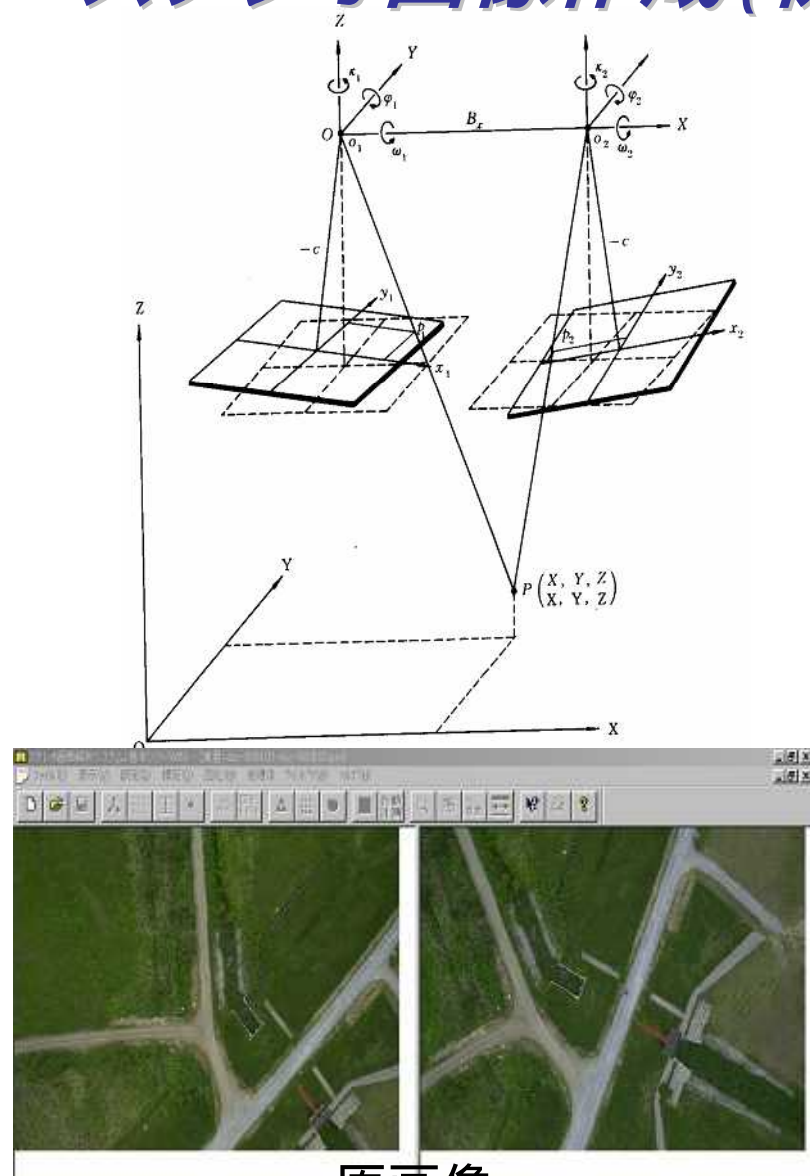
画像取得



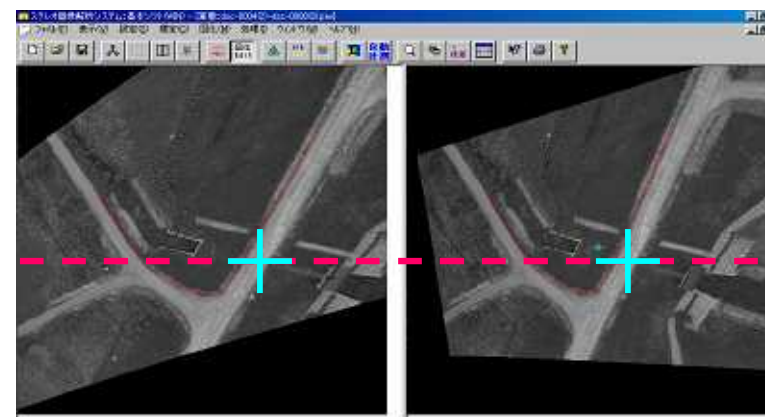
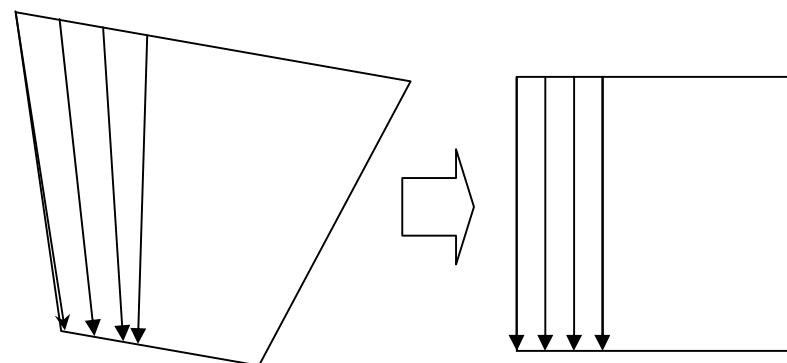
ステレオ画像作成
(標定処理)

- ・撮影位置算出
- ・相互標定、絶対標定
- ・バンドル調整

ステレオ画像作成(標定)



- ステレオ画像作成処理をおこなうために、
 - ・各画像上で6点以上計測する(標定)
 - ・カメラ固定の場合は必要なし



原画像

ステレオ画像

計測処理

- デジタル写真測量技術 -

画像取得



ステレオ画像作成
(標定処理)



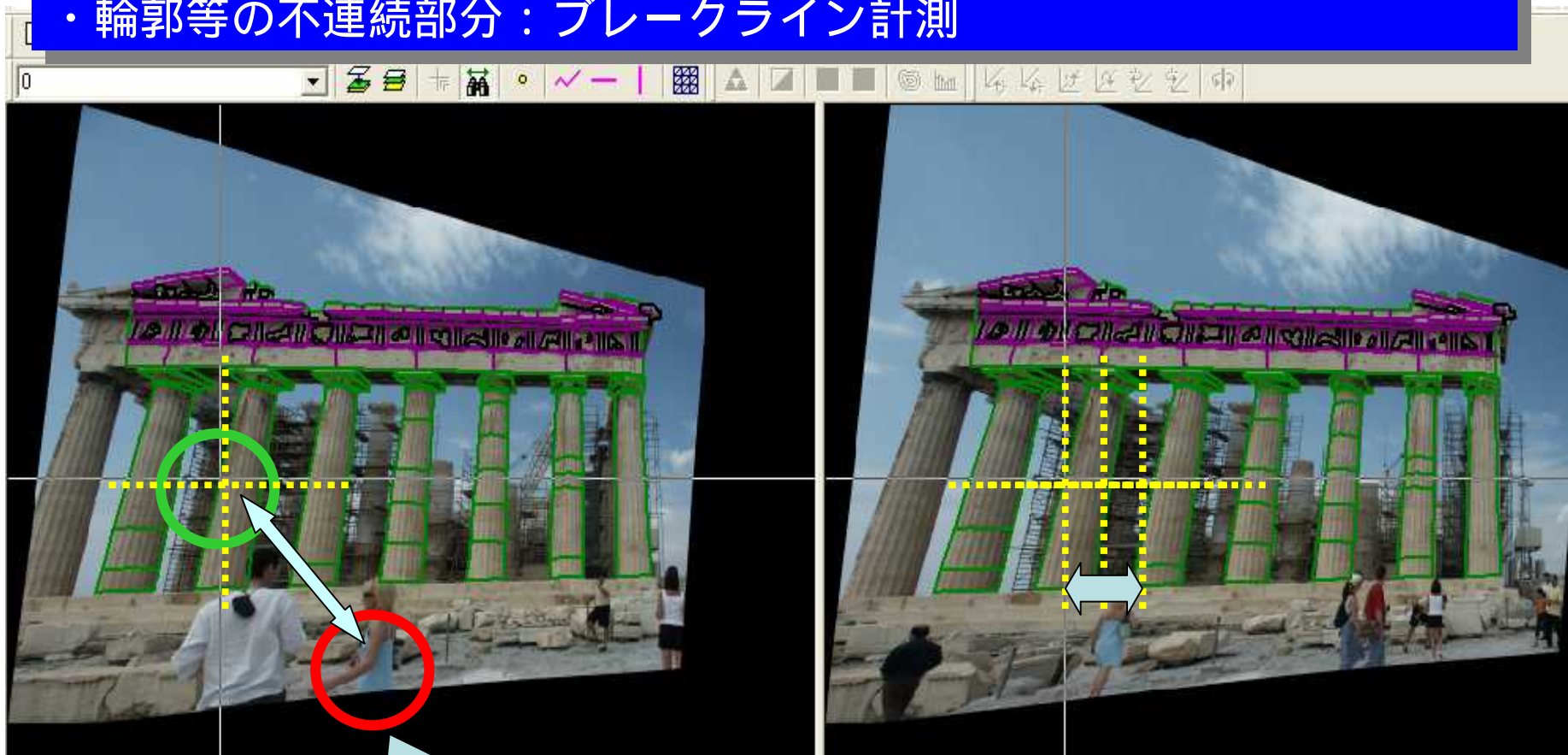
**3D計測・図化
(全・半自動)**

- ・左右画像の対応点探索
(ステレオマッチング)
- ・3次元データ算出

3D計測：マニュアル(半自動)図化

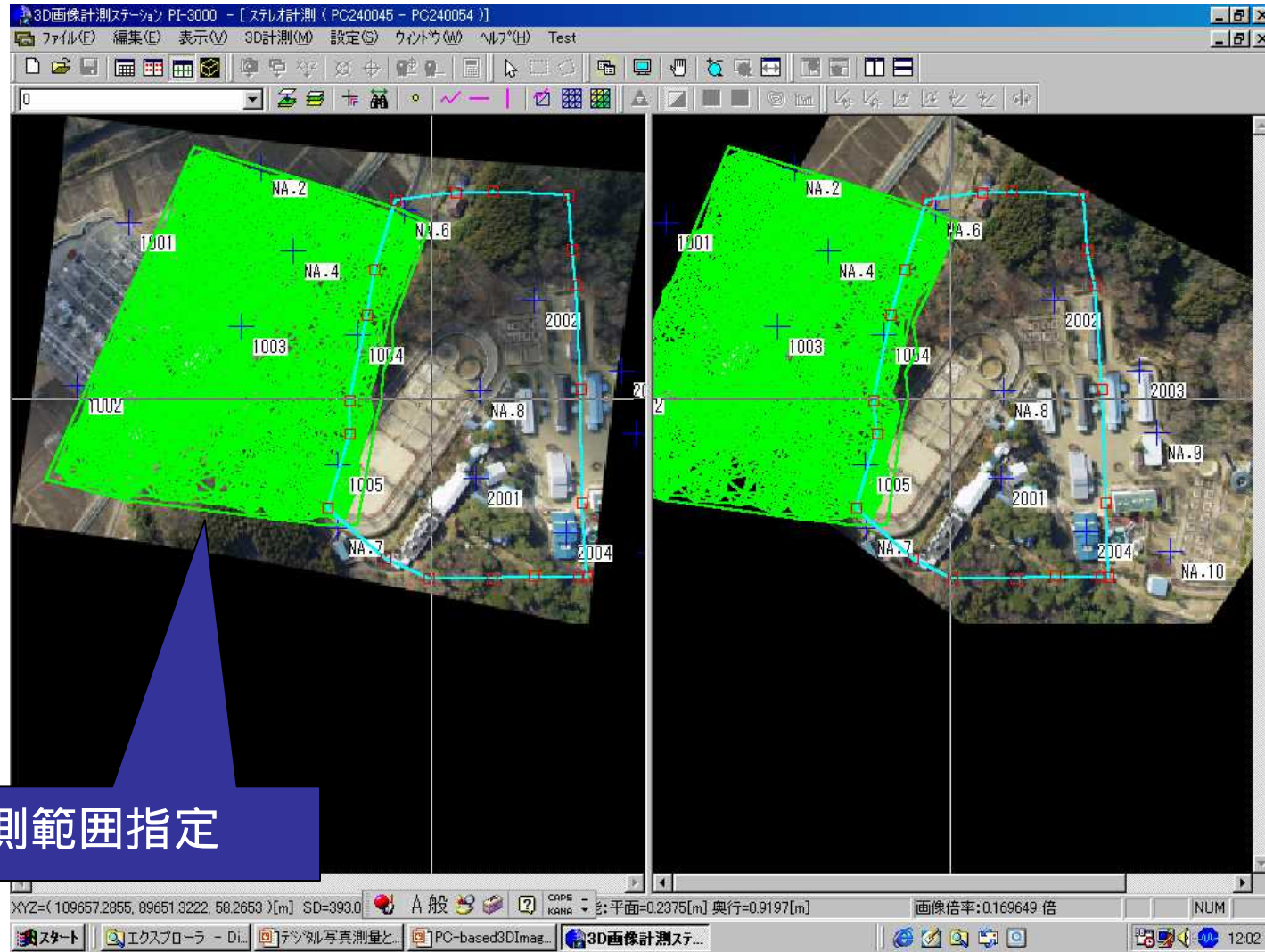
マニュアル計測（図化）：マウスによるポインティング＋自動相関

- ・ 自動計測の範囲指定
- ・ 輪郭等の不連続部分：ブレイクライン計測



3D図化

3D計測：面自動計測（ステレオマッチング）



自動計測範囲指定

3D計測：DSM面自動計測（ステレオマッチング）

粗密探索法

粗い画像 → 細かい
画像へマッチング



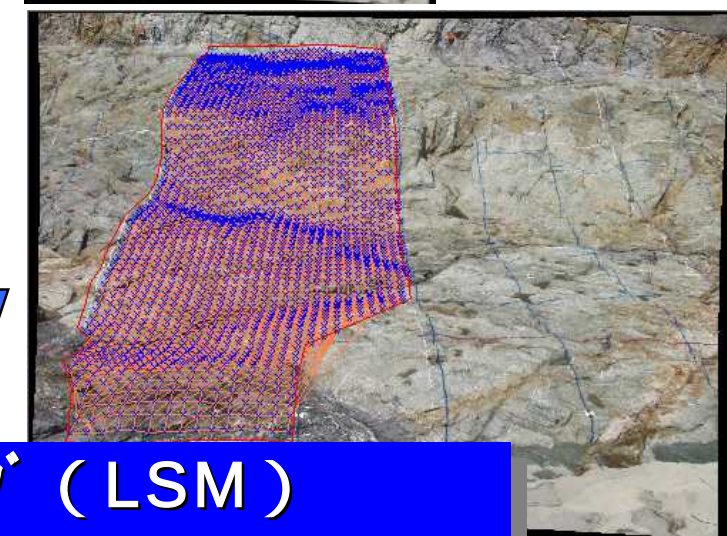
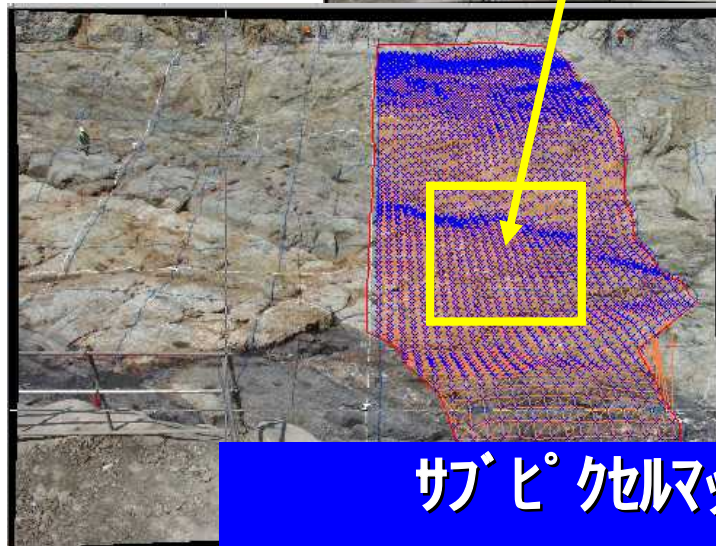
粗: 1/4



TIN内挿 マッチング

中: 1/2

密: 1/1



サブピクセルマッチング（LSM）

高密度・高精度なDSM

計測処理

ーデジタル写真測量技術ー

画像取得



ステレオ画像作成
(標定処理)



3D計測・図化
(全・半自動)

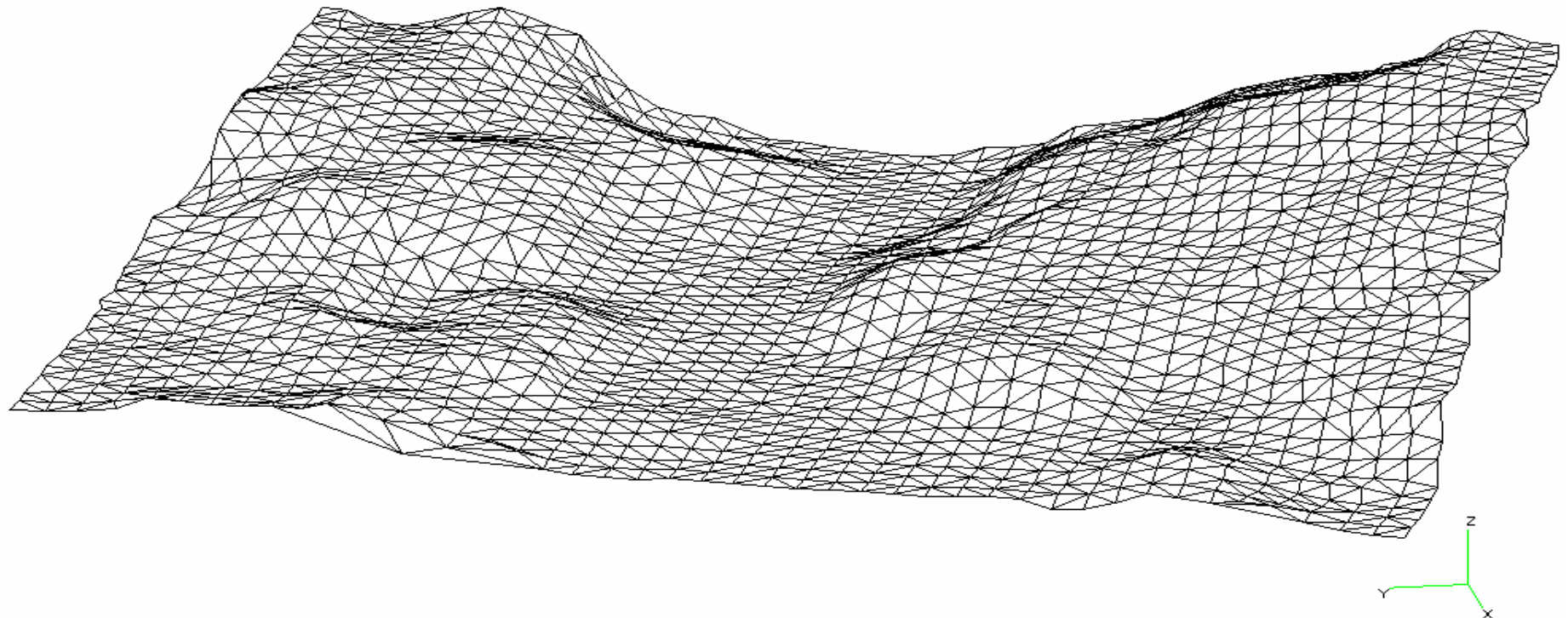


3D画像再構築

- ・3Dモデル作成
- ・断面図、等高線、
正射投影画像(図面)作成

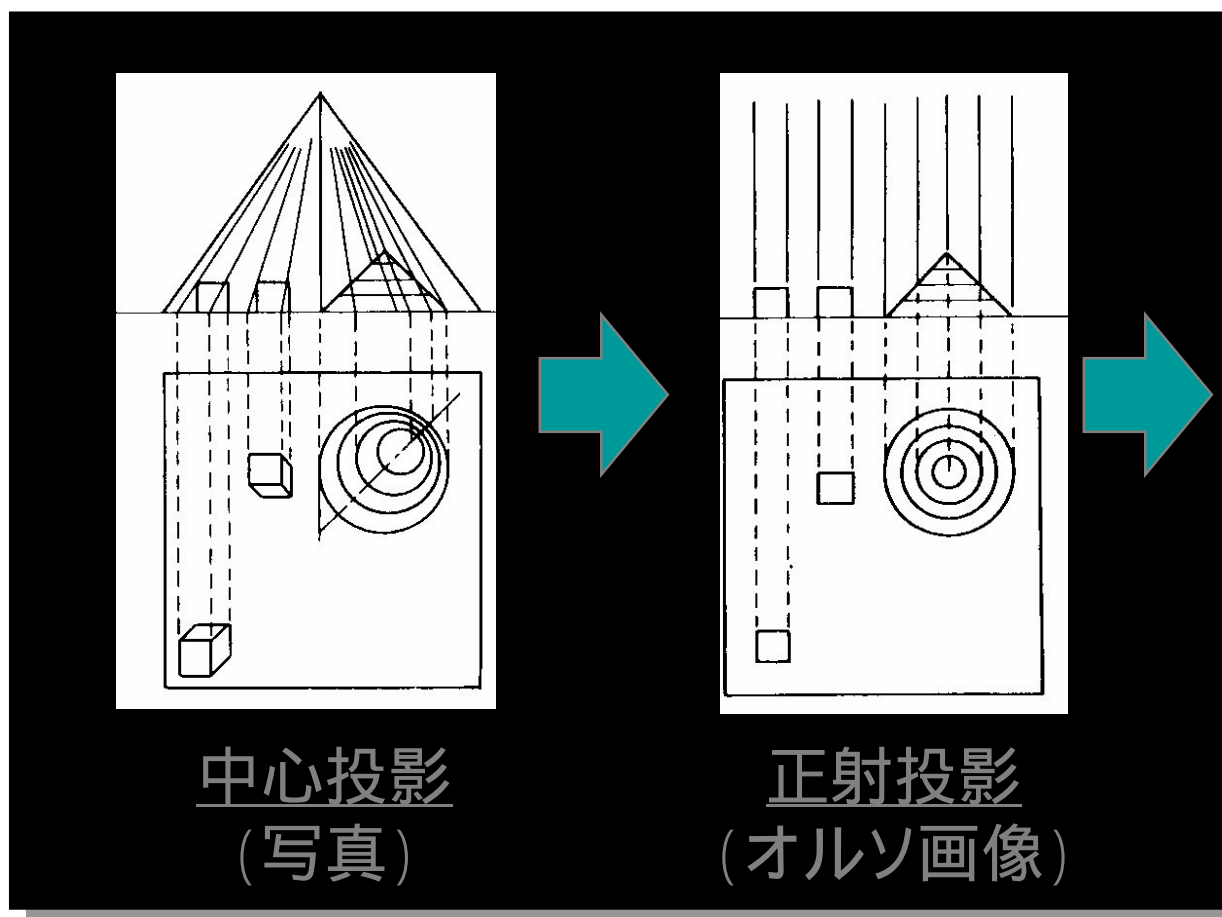
TIN(三角網内挿処理)

- ランダムな3次元データから標高の内挿処理
- TINデータを合成、全周モデル作成
- 鳥瞰画像:ワイヤーフレーム、3Dモデル作成
- 等高線画像、断面図



正射投影(オルソ)画像作成

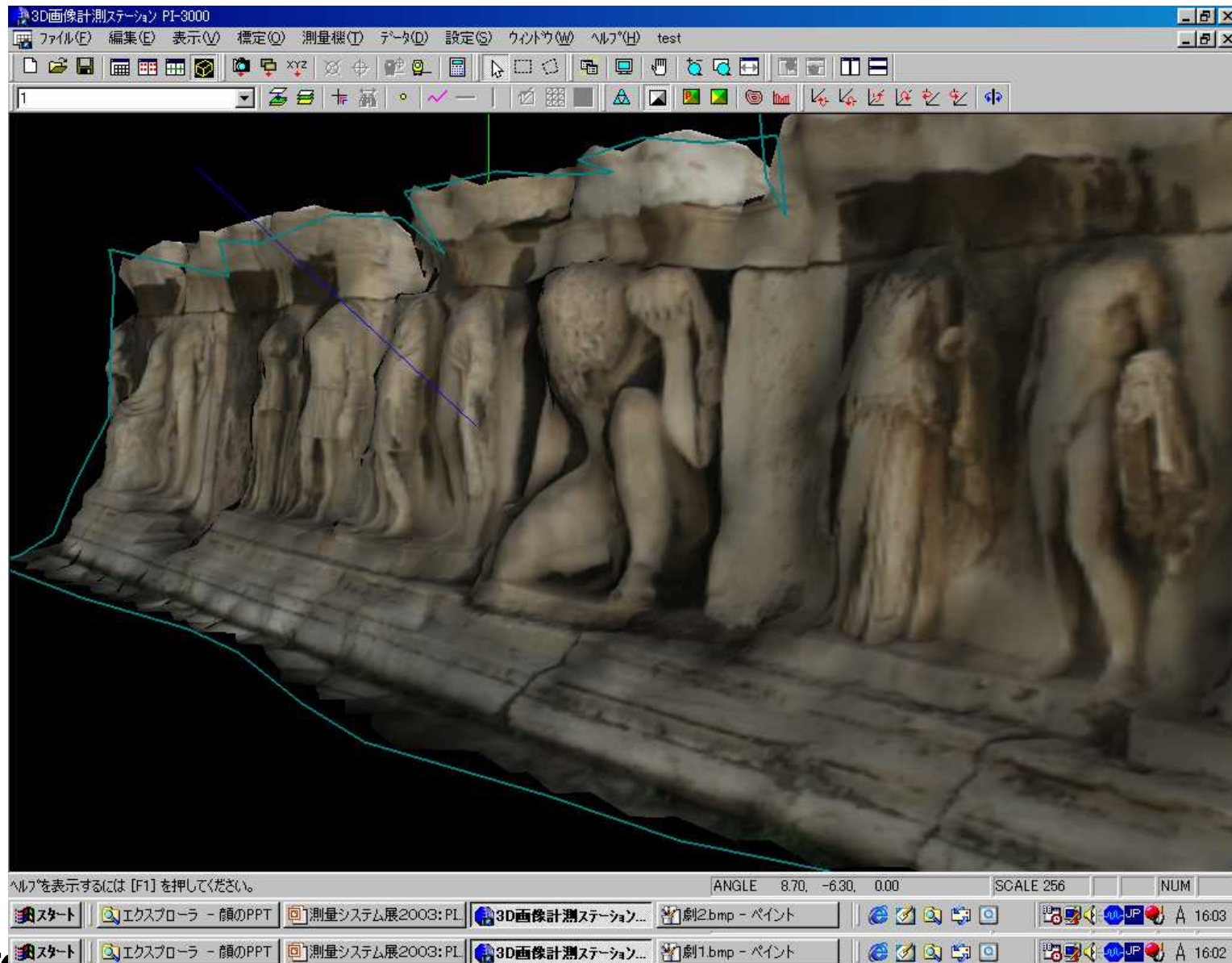
カメラの傾きや比高による歪みを補正し、正射投影とした画像



地図や図面と
同じ位置情報
を持つ

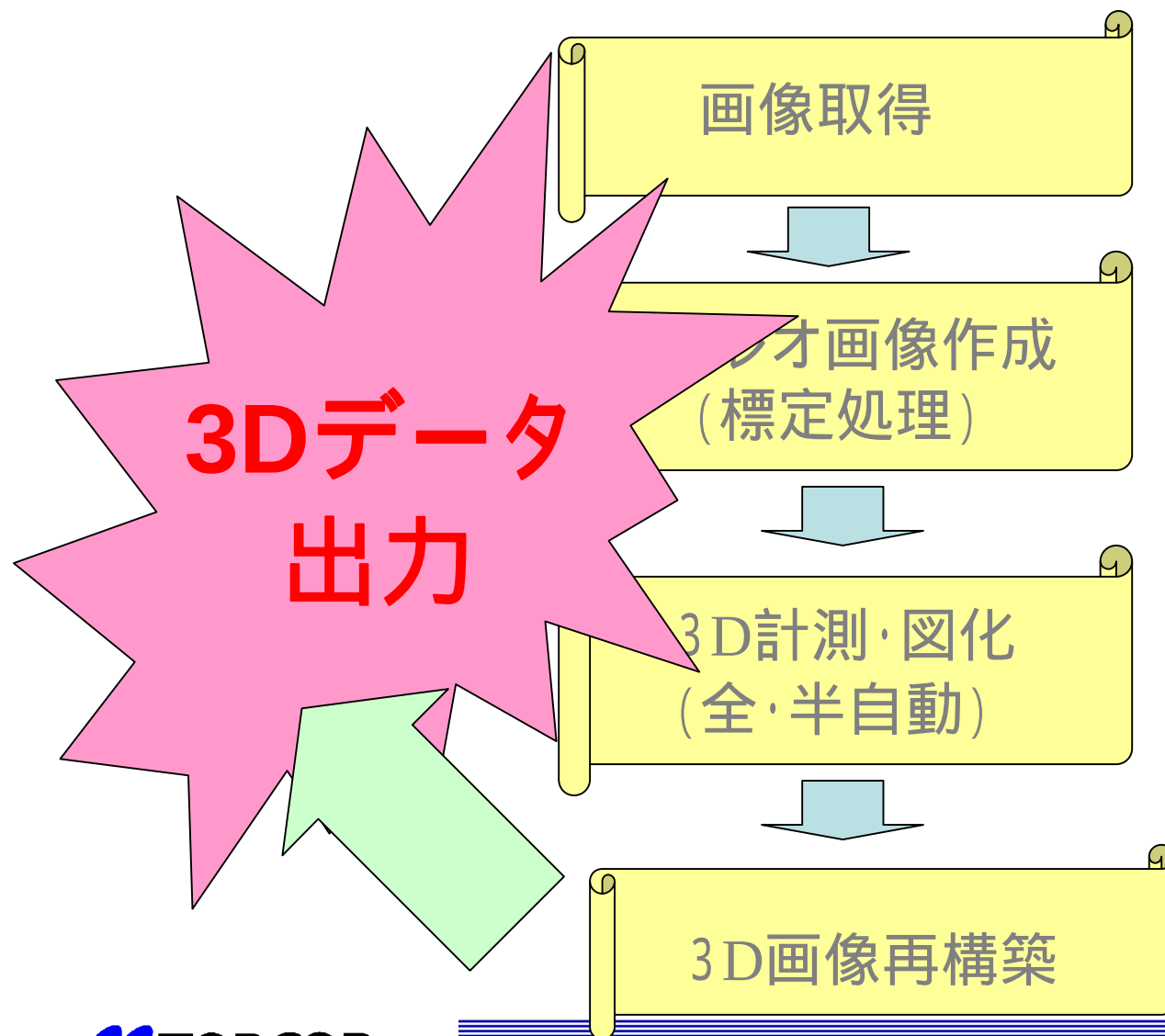
図面出力

3Dモデル編集



計測処理

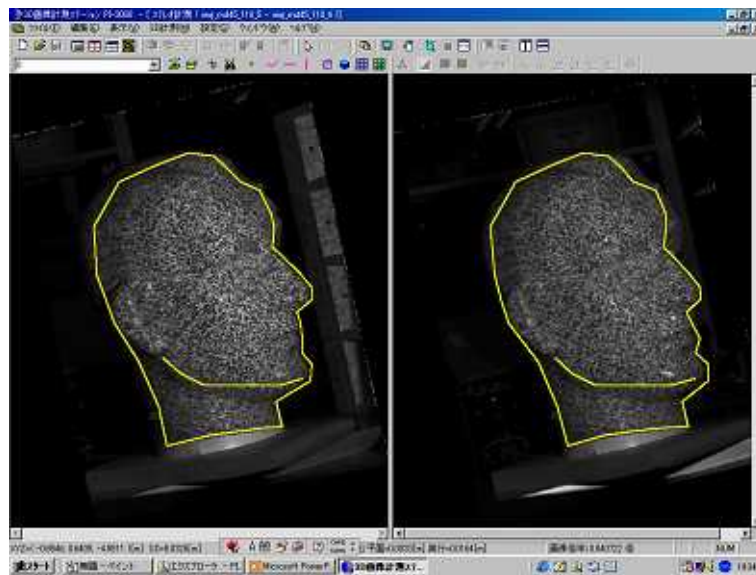
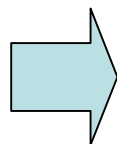
- デジタル写真測量技術 -



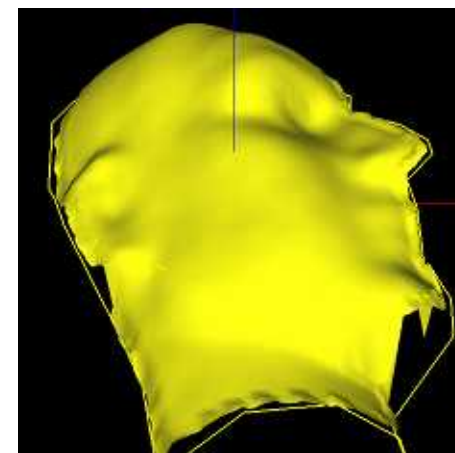
3D計測精度(マネキンによる検証)



マネキン原画像



ステレオ撮影(パターン投影)

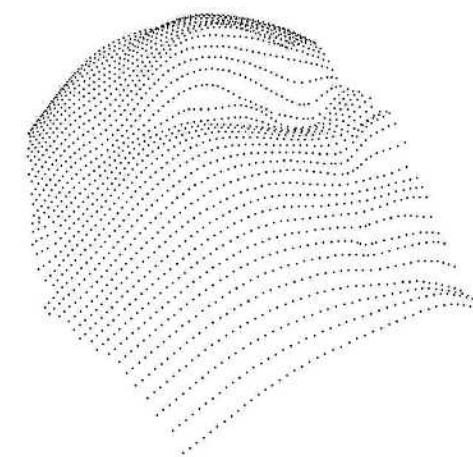


3Dモデル構築



	Ave	σ	Max	Min
精度	0.06	0.26	1.56	-0.8

接触式三次元測定器を真値としたときの精度
0.26mm(σ)



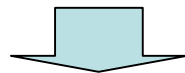
接触式三次元測定器計測
(1024点:精度5 μ m)

3D画像計測の利点

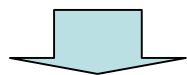
- ・画像計測: 事故・現場状況を確認・観測しながらの計測
点の計測、線の計測、面の計測、距離、歪、面積、体積
画像付きの図面作成(オルソ画像)
対象、計測箇所により計測項目を重点化→簡易計測
- ・大きさを選ばない: 基本的に画像で撮影できるものは計測可能。
→ 数十m～数cm
- ・記録性: 撮影しておけば、後から解析は簡易計測、詳細計測自由
- ・柔軟性: カメラは1台から何台でも、撮影枚数は2枚から何枚でもOK
現場、計測対象により計測方法、システム使い分け、マニュアル化
- ・簡便性: 使用機材は、市販デジタルカメラとPCでOK

計測・モデリング デモ

画像取得



ステレオ画像作成
(標定処理)

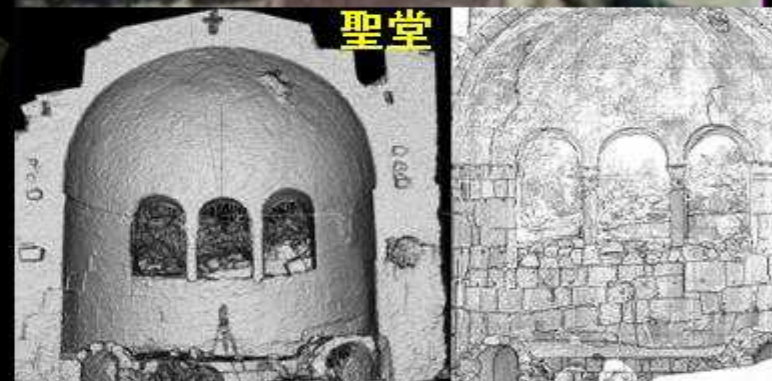
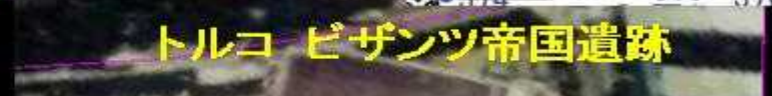


3D計測・図化
(全・半自動)



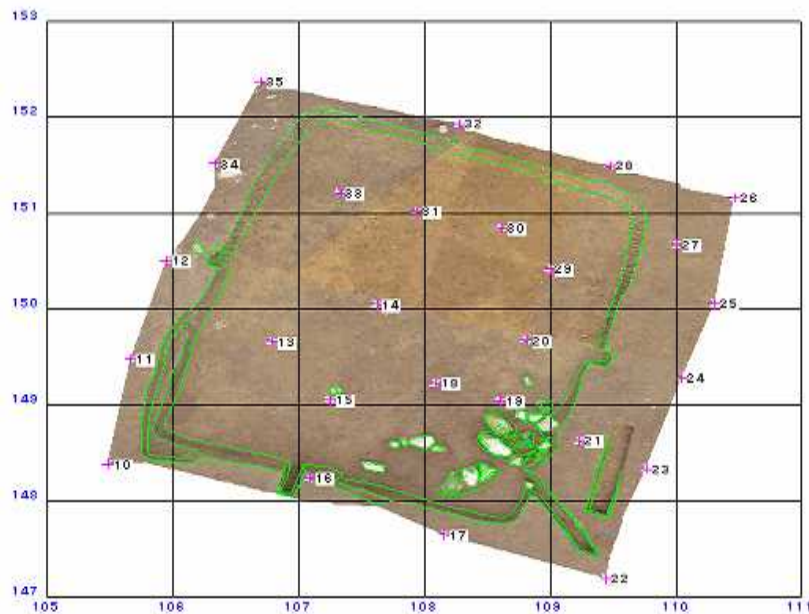
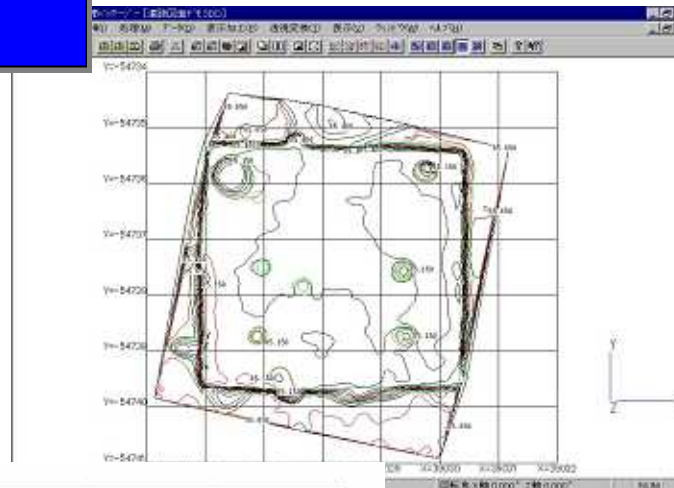
3D画像再構築

応用例 紹介



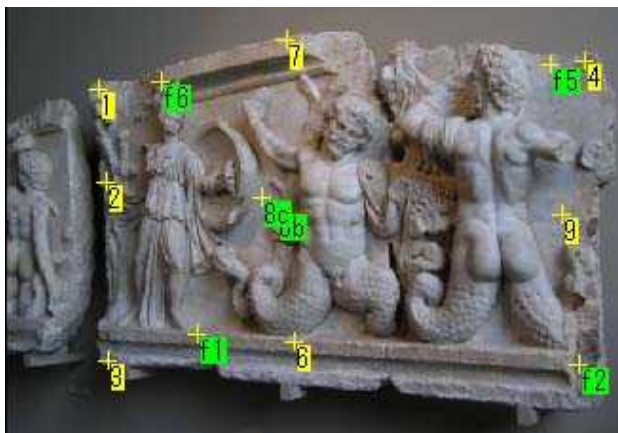
遺構実測

画像による記録保存
実測作業の省力化
オルソ画像の活用

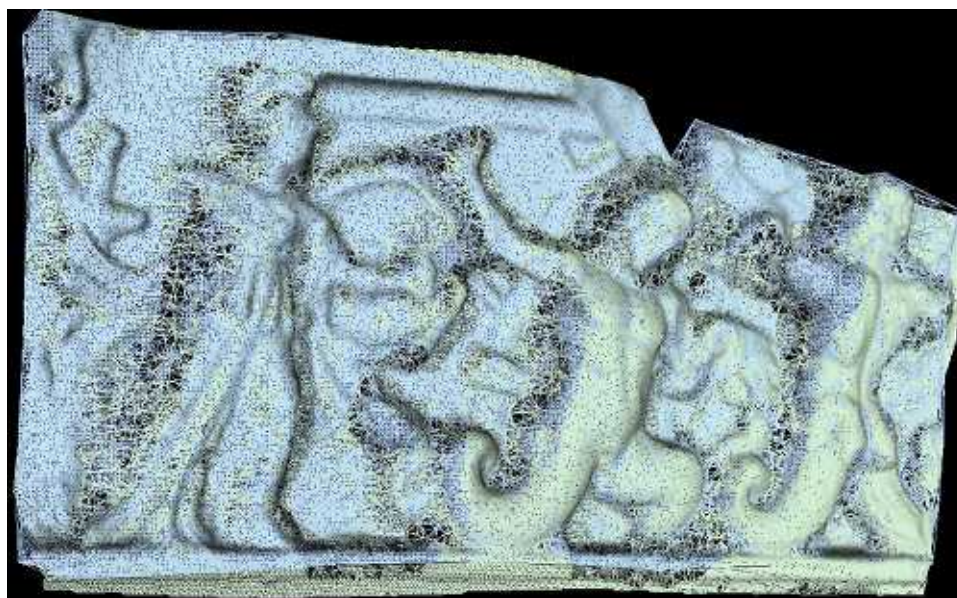


神々と巨人像の戦いのレリーフ

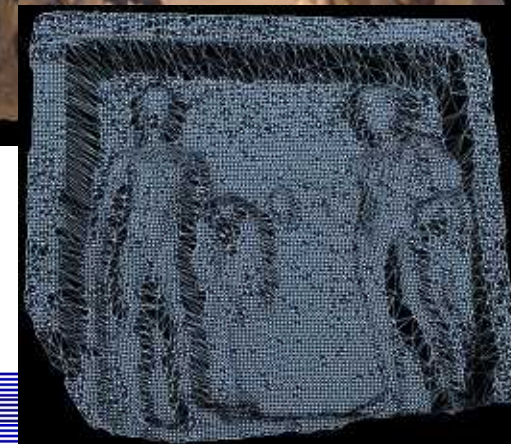
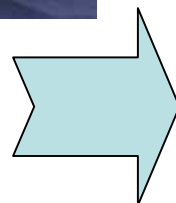
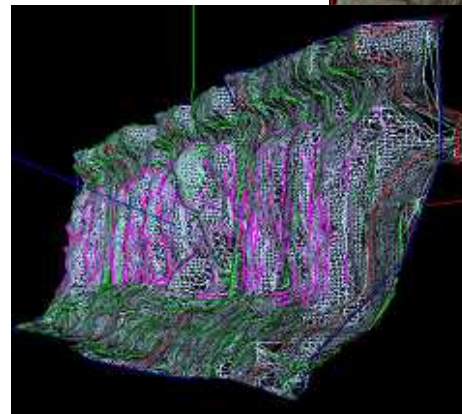
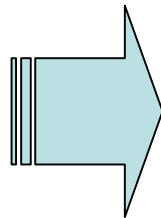
トルコ イスタンブール美術館
(Arkeoloji Musesi)



撮影画像 (標定)

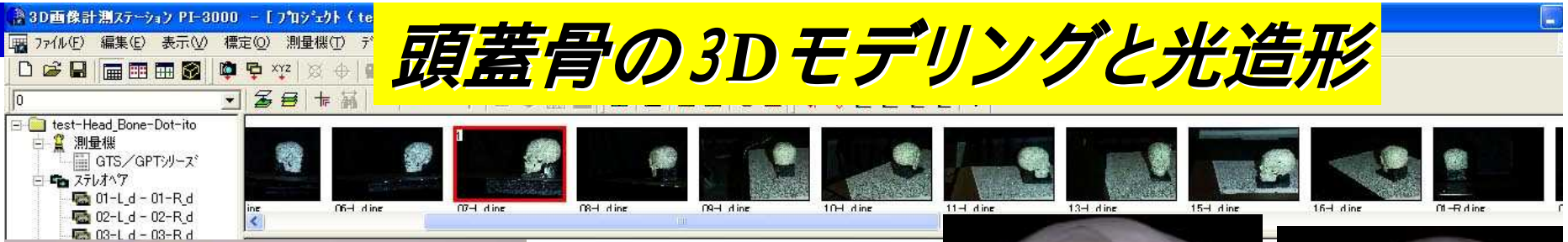


壁画のモデリング

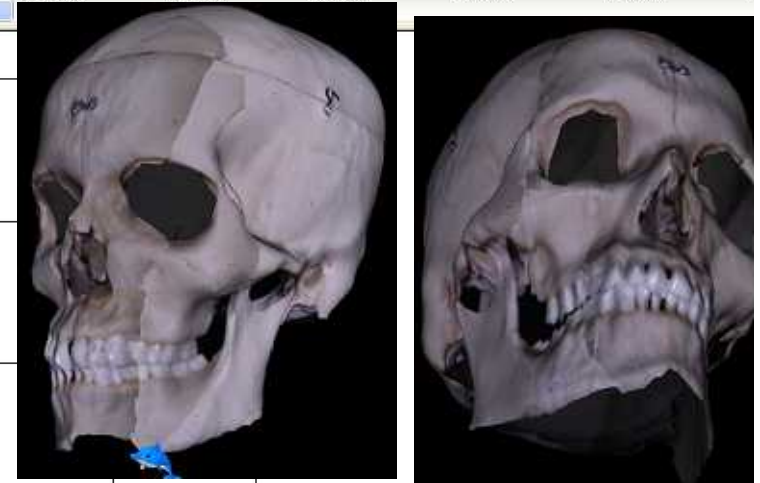


撮影画像2枚から
簡単3D計測モデリング

頭蓋骨の3Dモデリングと光造形



被写体 と 光造形



テクスチャマッピング

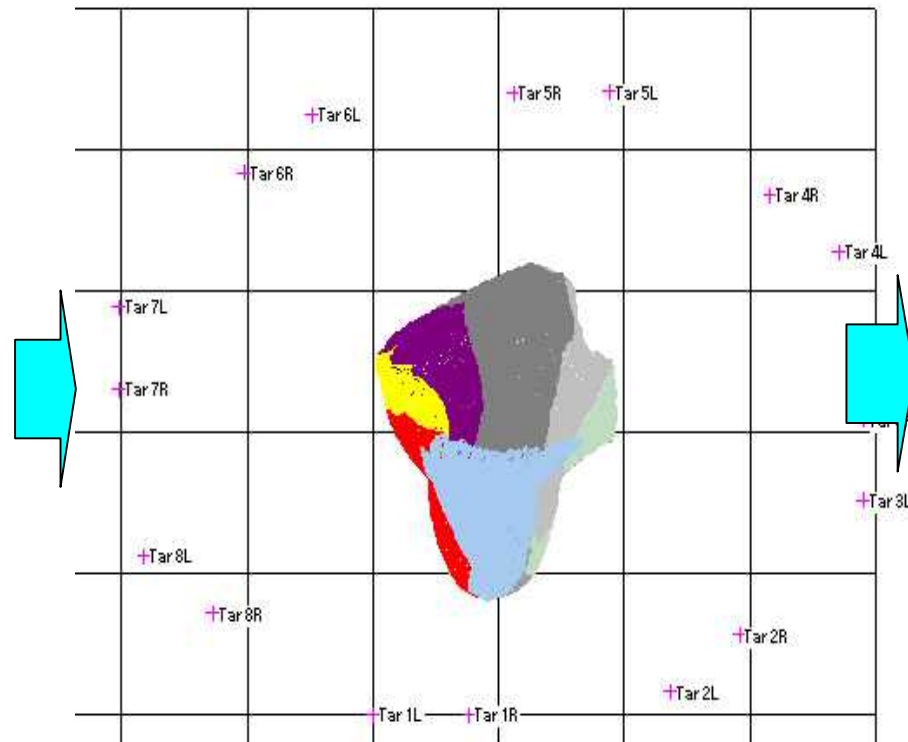


ワイヤーフレーム

ヘルプを表示するには [F1] を押してください。

R 1/18.2577

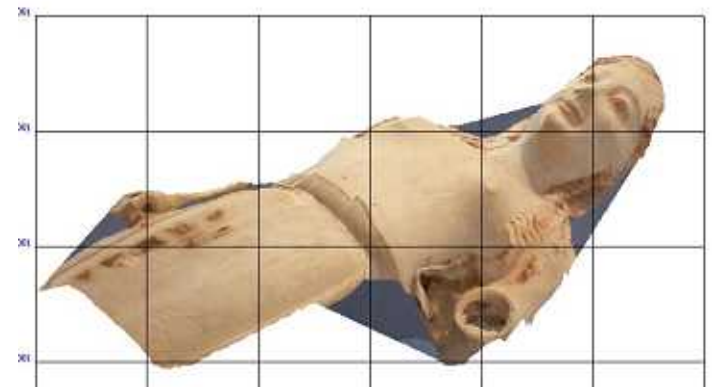
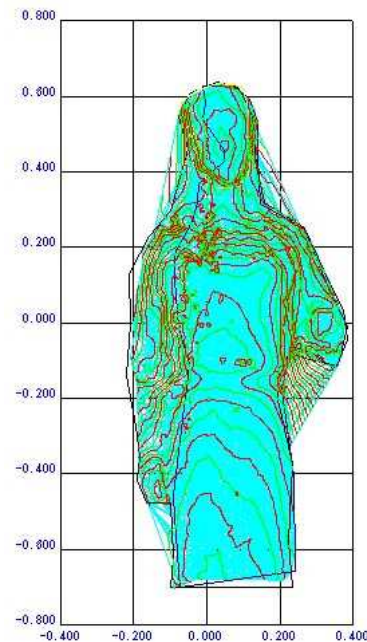
土器全周3Dモデルの作成



3Dモデル完成

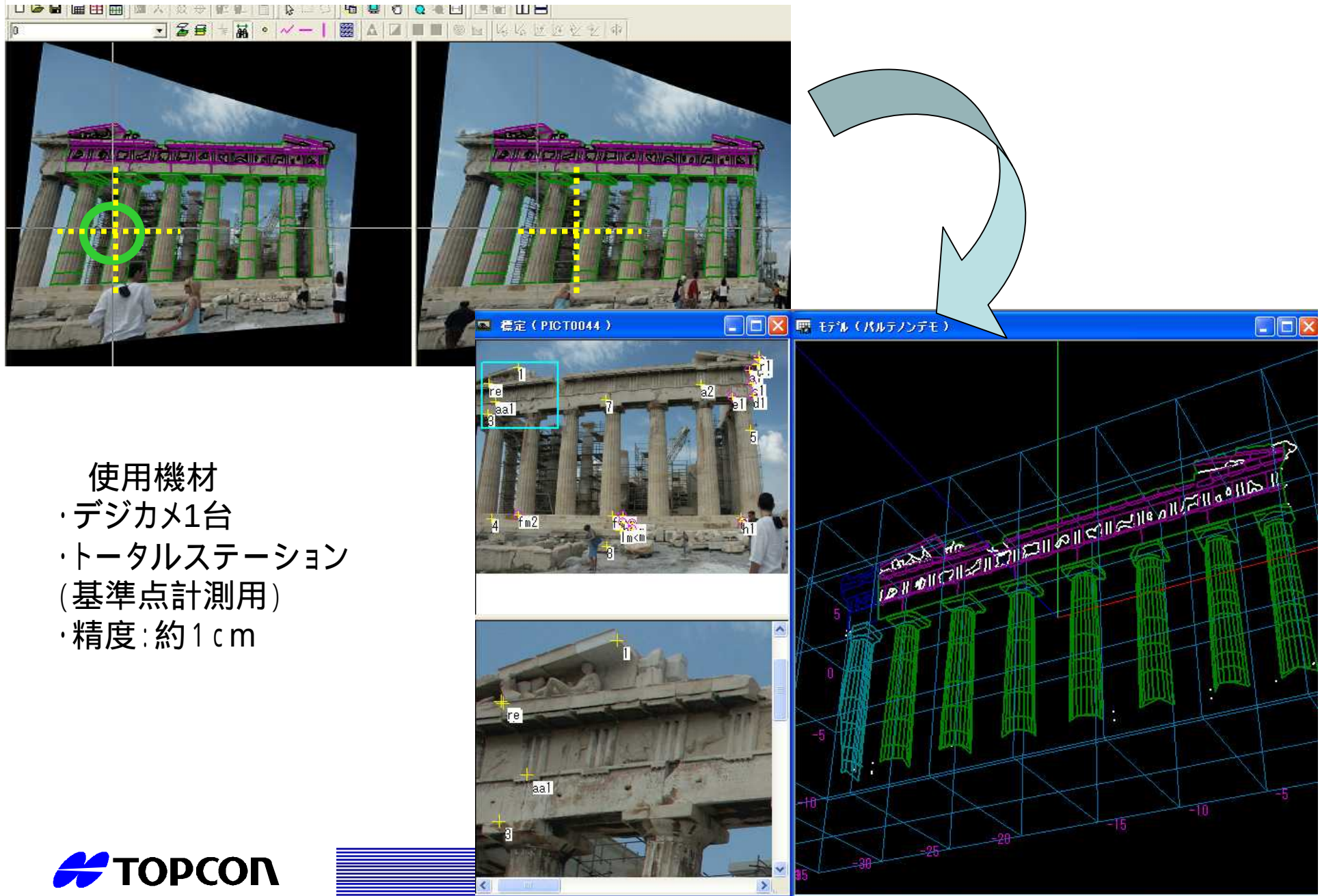
全周撮影
複数の面単位に処理

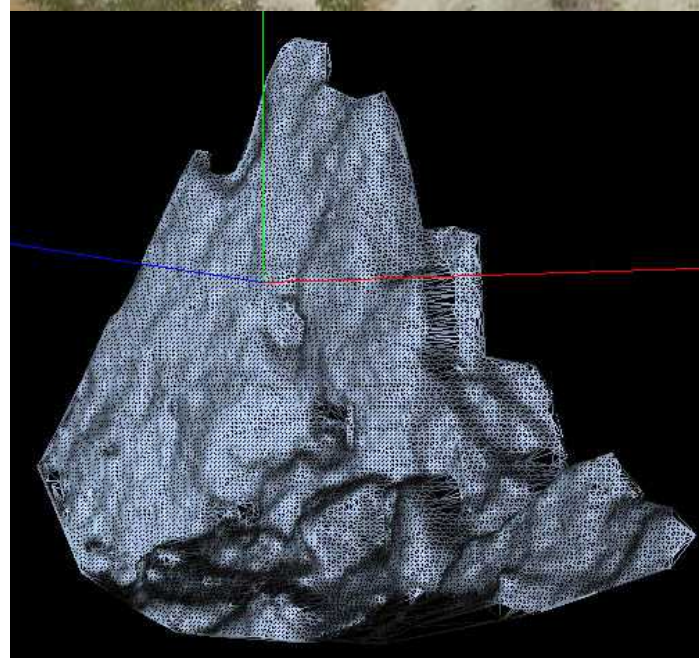
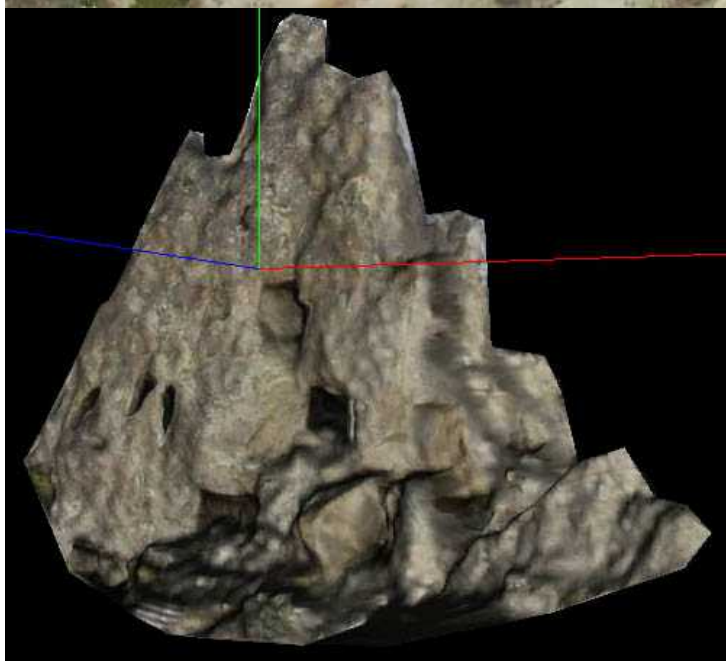
彫像の3Dモデリング



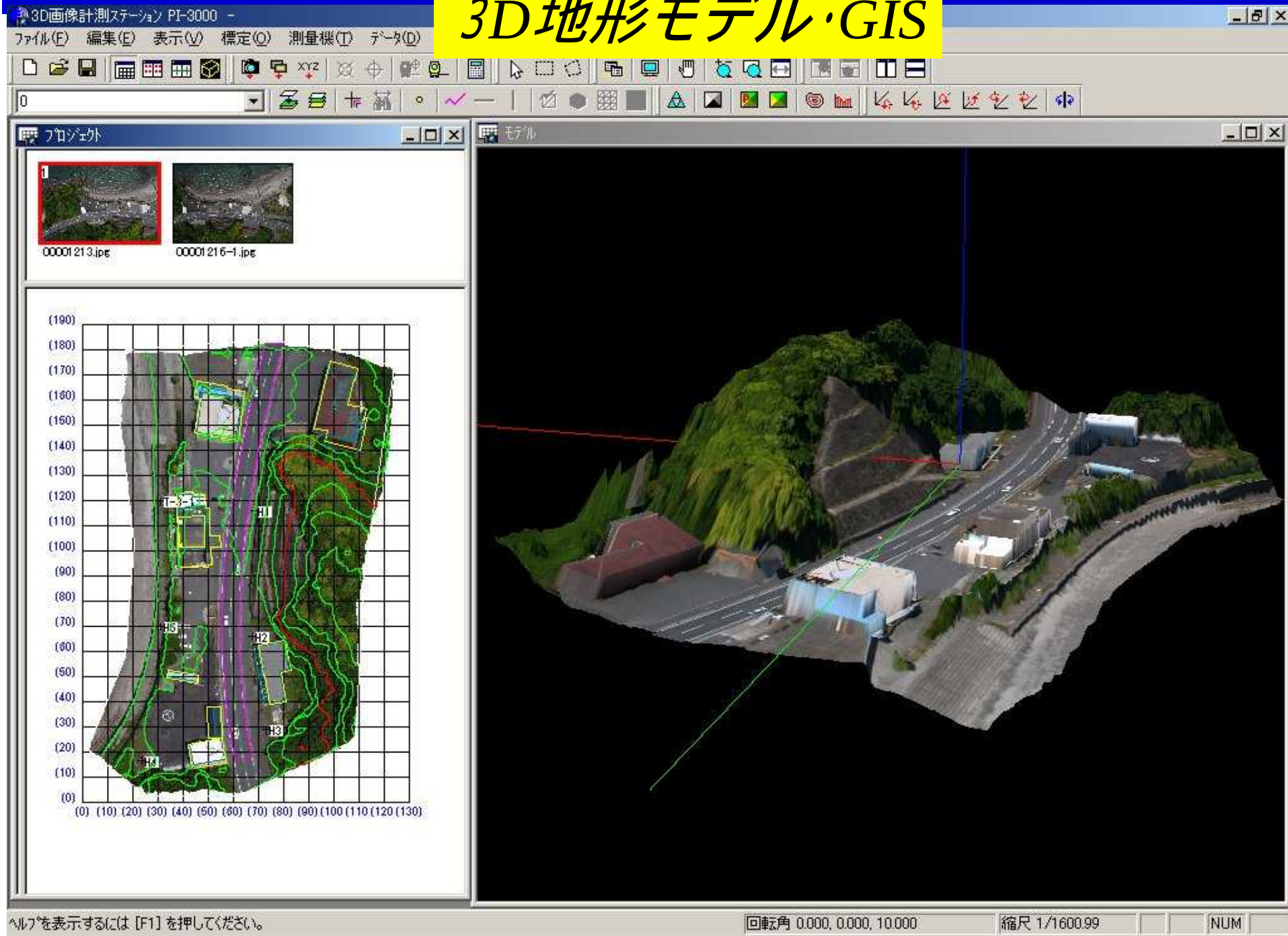
彫像

パルテノン神殿(大型建築物)の3D計測・図化

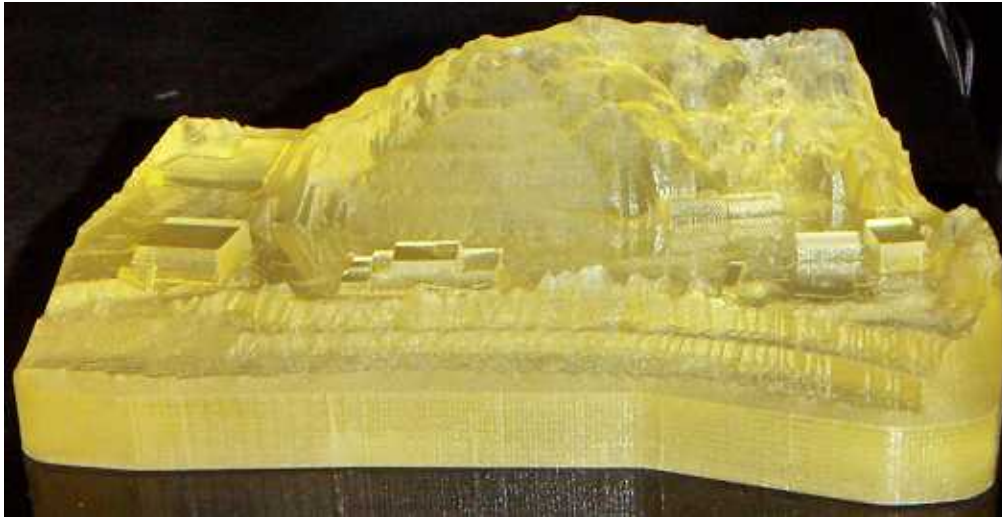




3D地形モデル・GIS



ジオラマ作成



光造形



プラスチックシート

文化遺産調査・解析例

1. トルコビザンツ帝国遺跡

トルコ地中海 ミゲレル島のビザンティン都市遺跡

リキア地方ビザンティン遺跡調査団

情報通信研究機構、福岡大学工学部、トプコン

2. ギリシア 古代都市メッセネの遺跡

熊本大学工学部 建築工学科、トプコン

3. 絵画の3D計測、複製

3D計測・オルソ(正射投影)図化



撮影画像(2枚)
(大きさ約10m×10m)

使用機材:

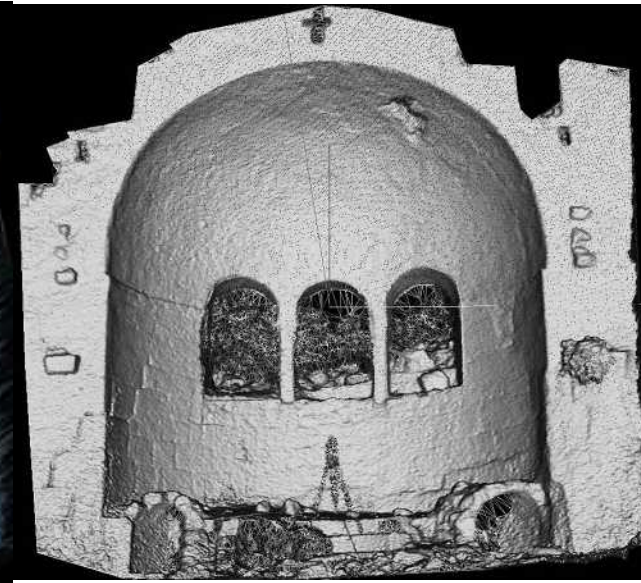
- ・デジカメ1台、
- ・トータルステーション
(基準点計測)

注) 基準スケールは
無くても可能
あとから入れてもOK

(データ提供: リキア地方ビザンティン遺跡調査団、情報通信研究機構、福岡大学)



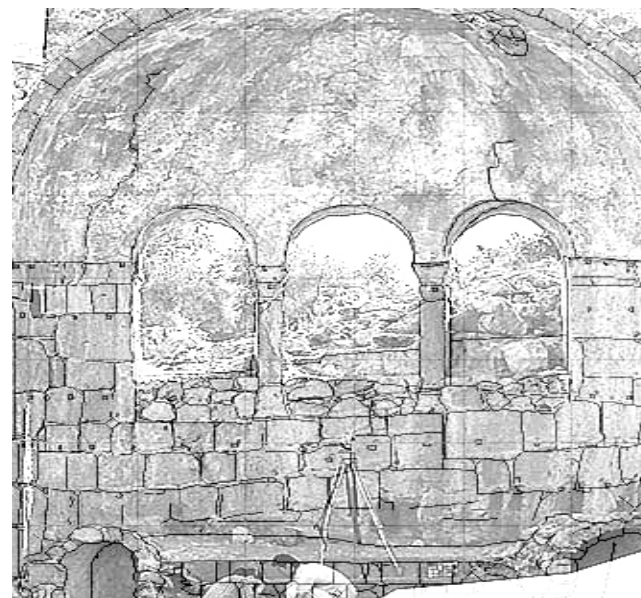
テクスチャマッピング



レンダリング

3D構築画像:
ひびわれを正確に再現!

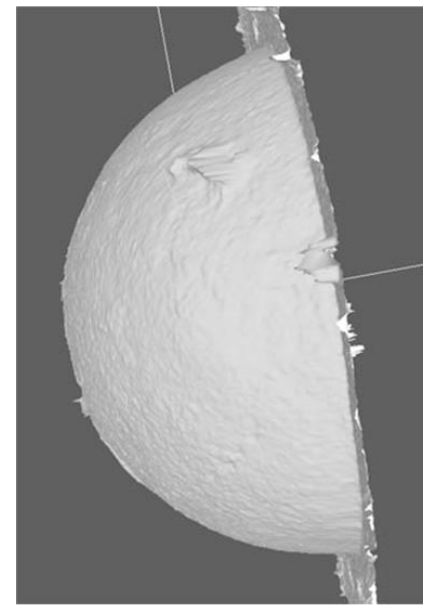
オルソ画像から
図面を作成できます。
(図面との重ね合わせ)
計測精度: 1cm以内



トルコ地中海ミゲレル島ビザンツ都市遺跡第二聖堂



テクスチャマッピング

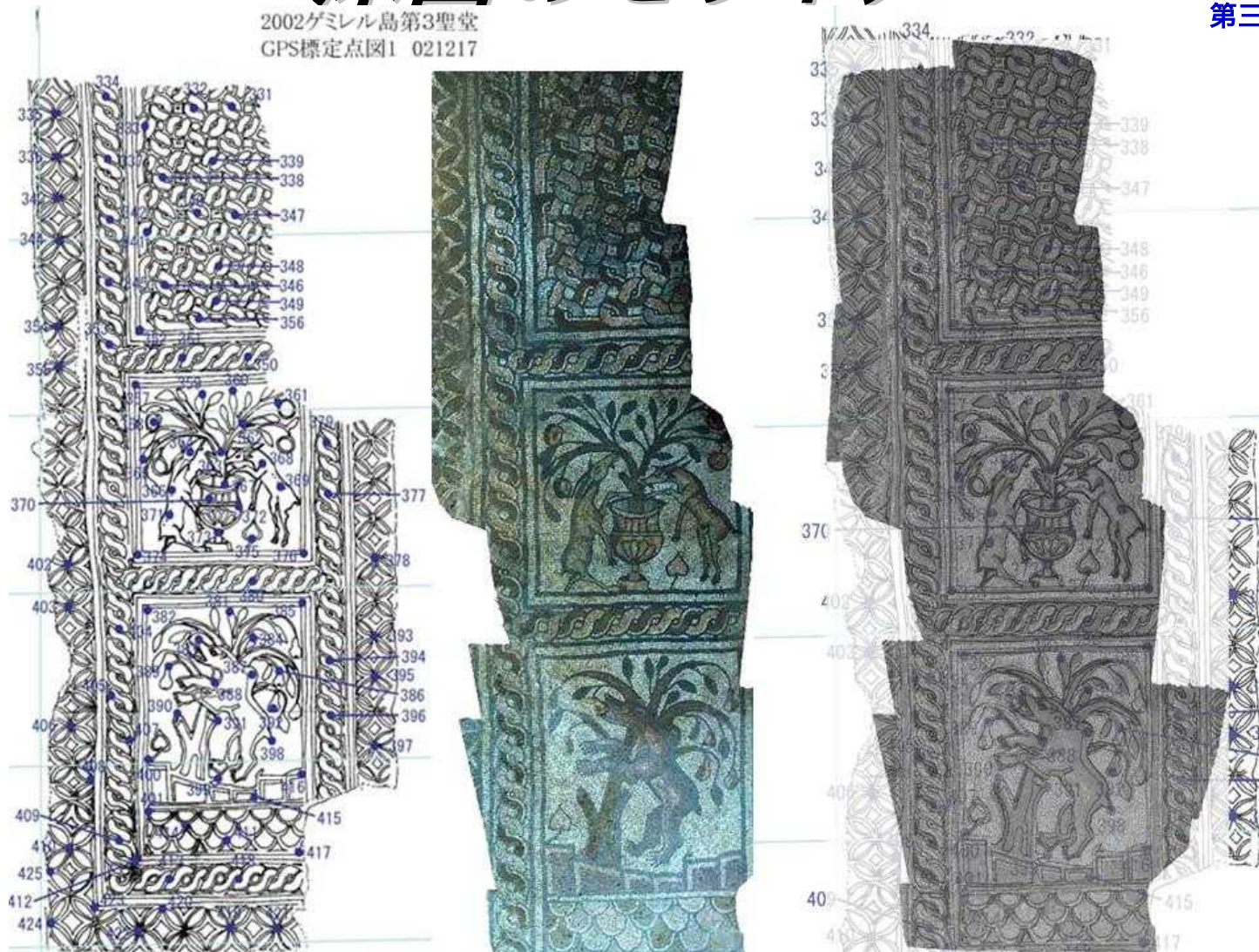


レンダリング:横、上から視点を変えた画像

床面のモザイク

トルコ地中海ミゲレル島
ビザンツ都市遺跡
第三聖堂

2002ゲミレル島第3聖堂
GPS標定点図1 021217

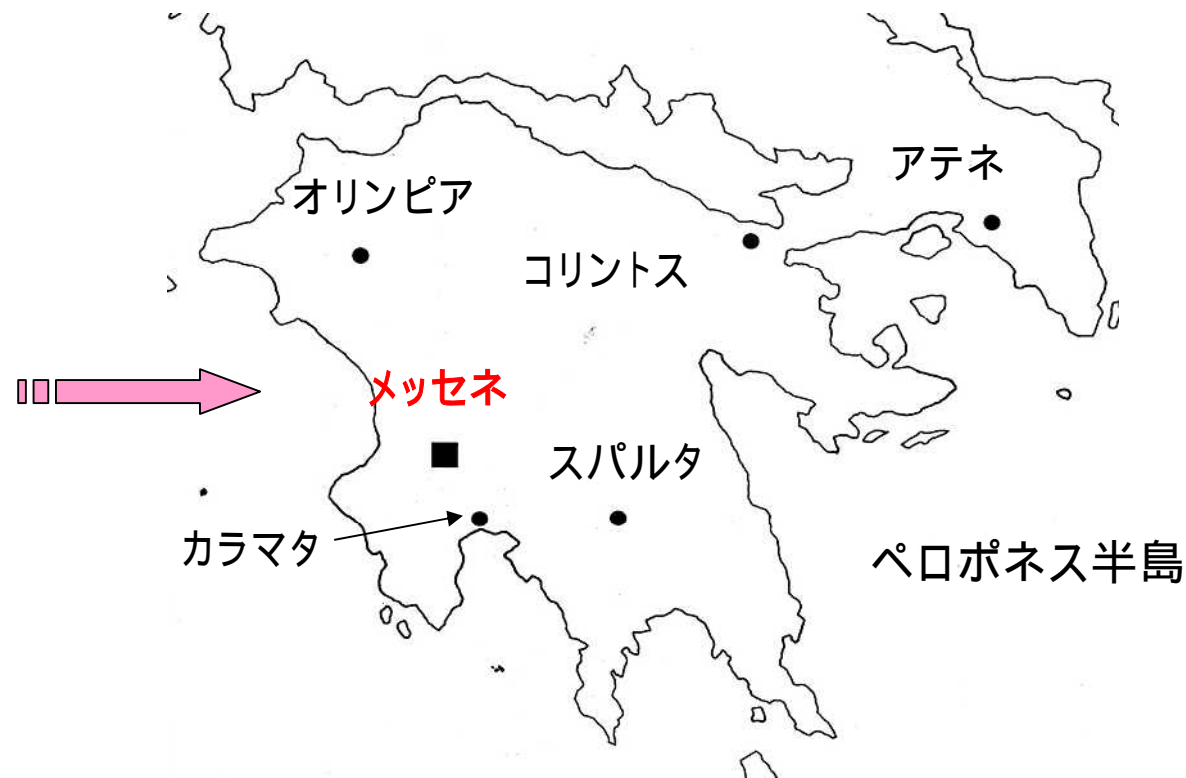


実測図

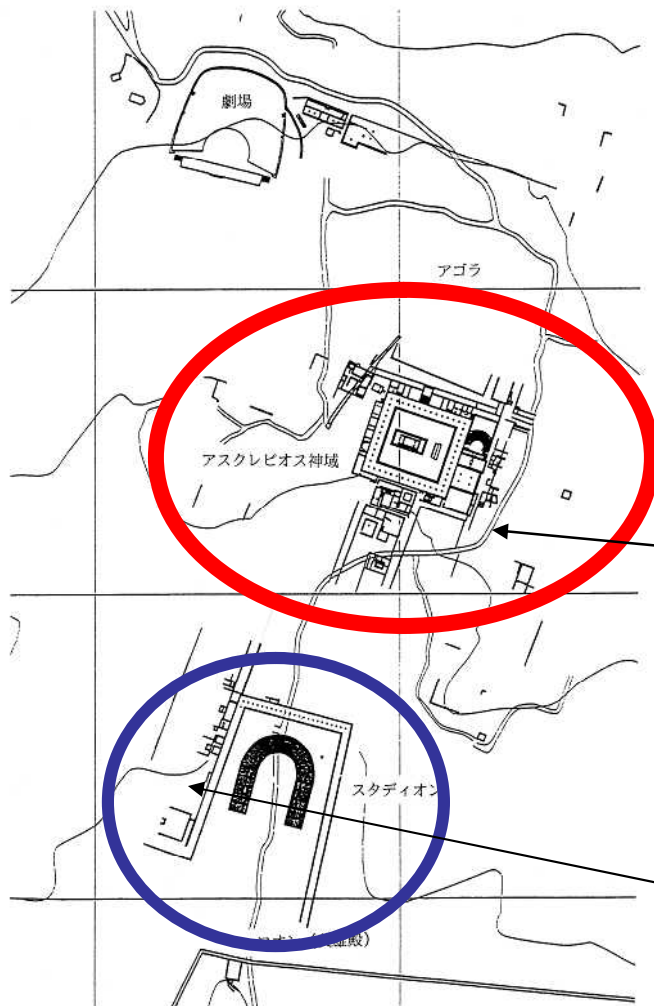
オルソモザイク画像

実測図とオルソモザイク図の
重ね合わせ

ギリシャ 古代都市 メッセネの遺跡



メッセネの概要



アギアサマリーナ教会

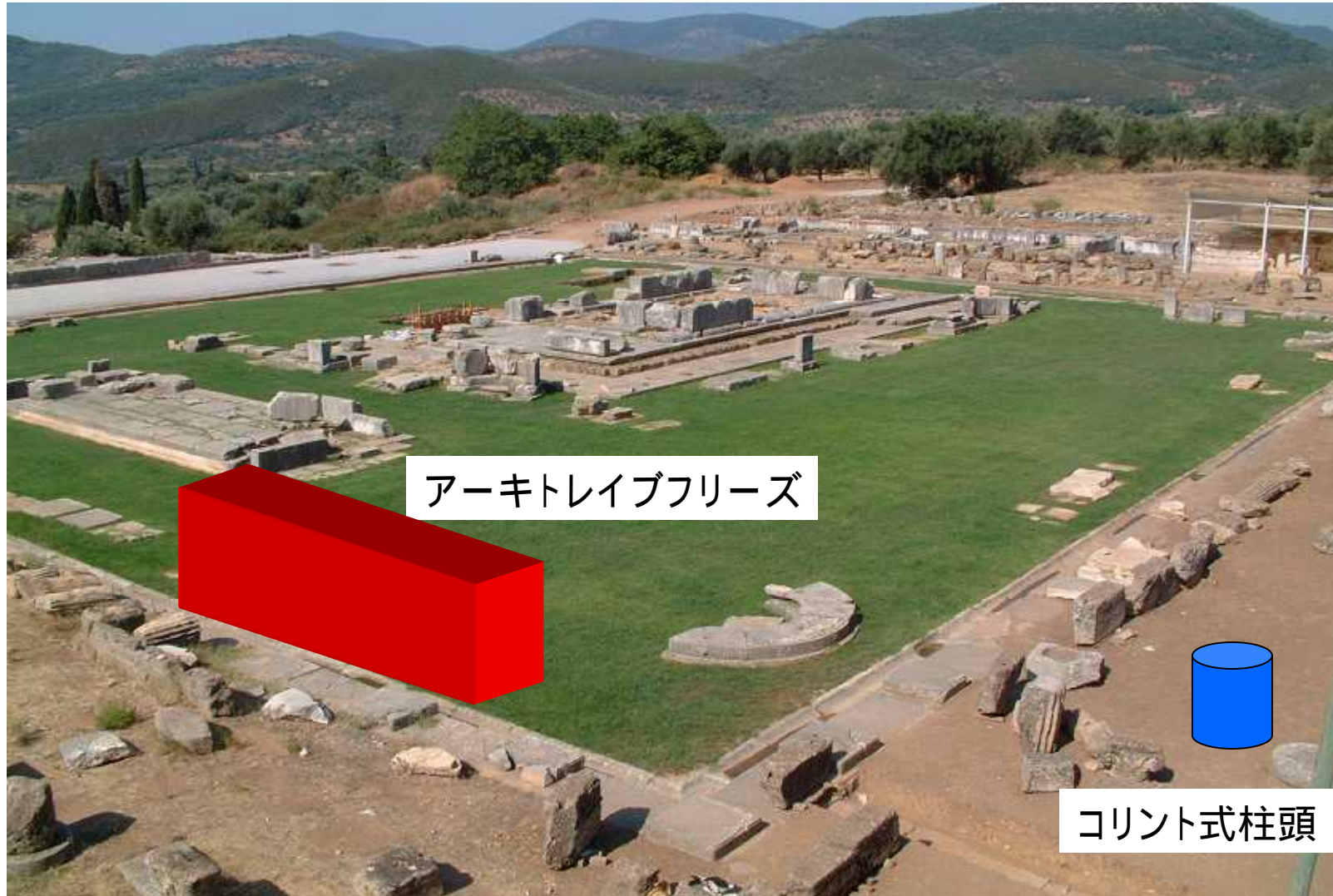


コリント式柱頭、
アーキトレイブフリーズ



ライオン





アーキトレイブフリーズ

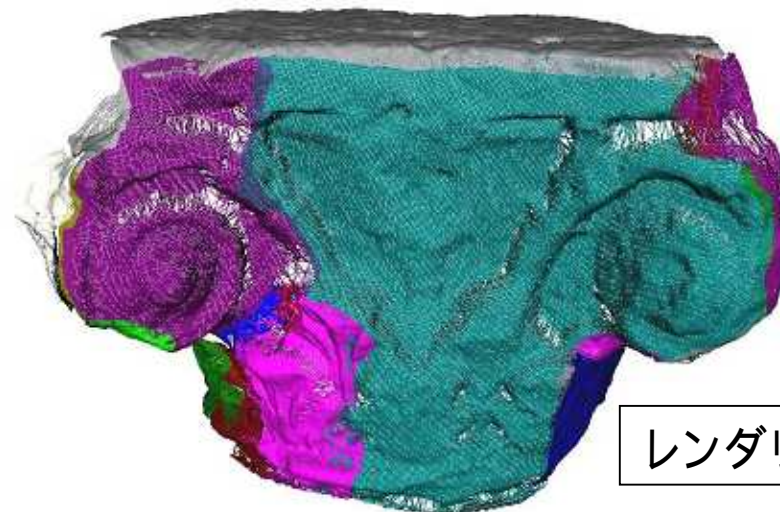
コリント式柱頭

アスクレピオス神域

コリント式柱頭



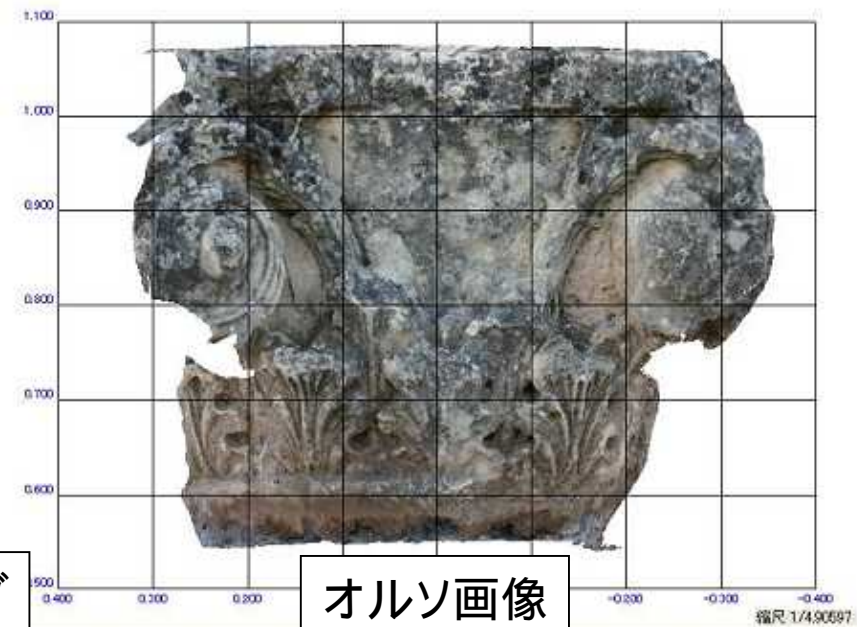
原画像



レンダリング



テクスチャマッピング



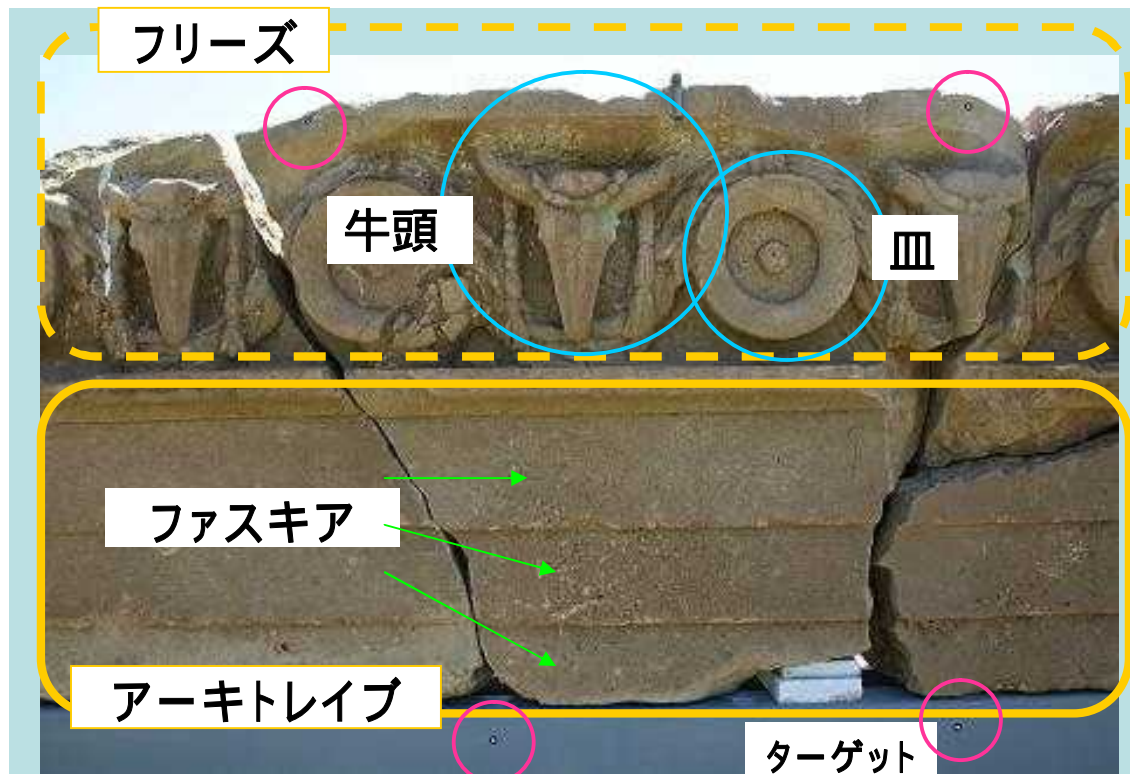
オルソ画像

縮尺 1/4,906.97

アーキトレイブフリーズ



作成モデル(テクスチャマッピング) : 7.3m × 0.75m × 0.35m (長さ × 高さ × 奥行)



1つの石材で作成されている



テクスチャ
マッピング



レンダリング

装飾が詳細に再現



段差がくっきりと出ている

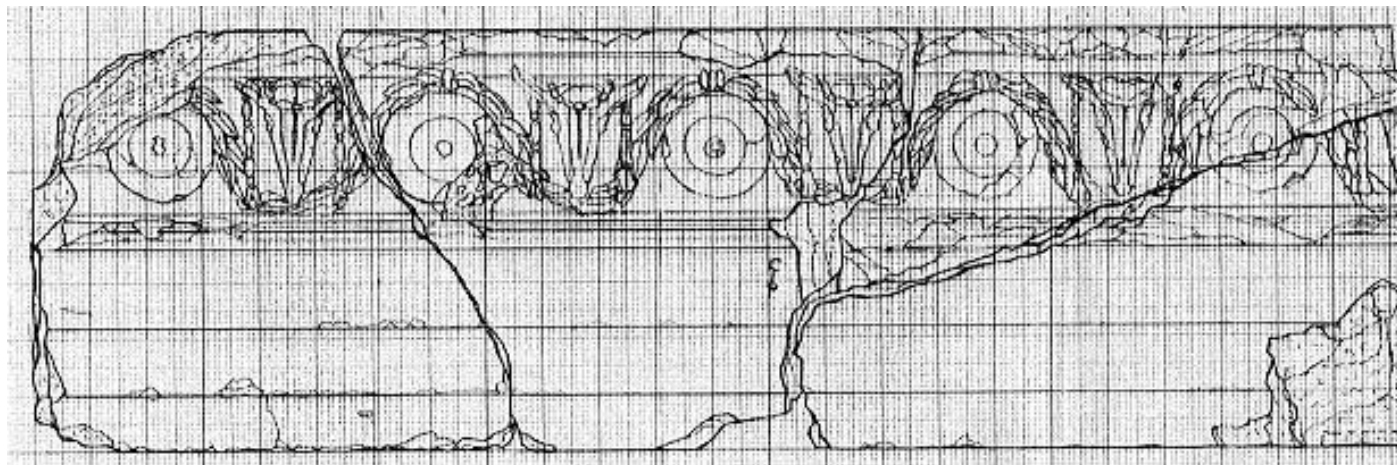


テクスチャマッピング



レンダリング

アーキトレイブフリーズ 図面評価

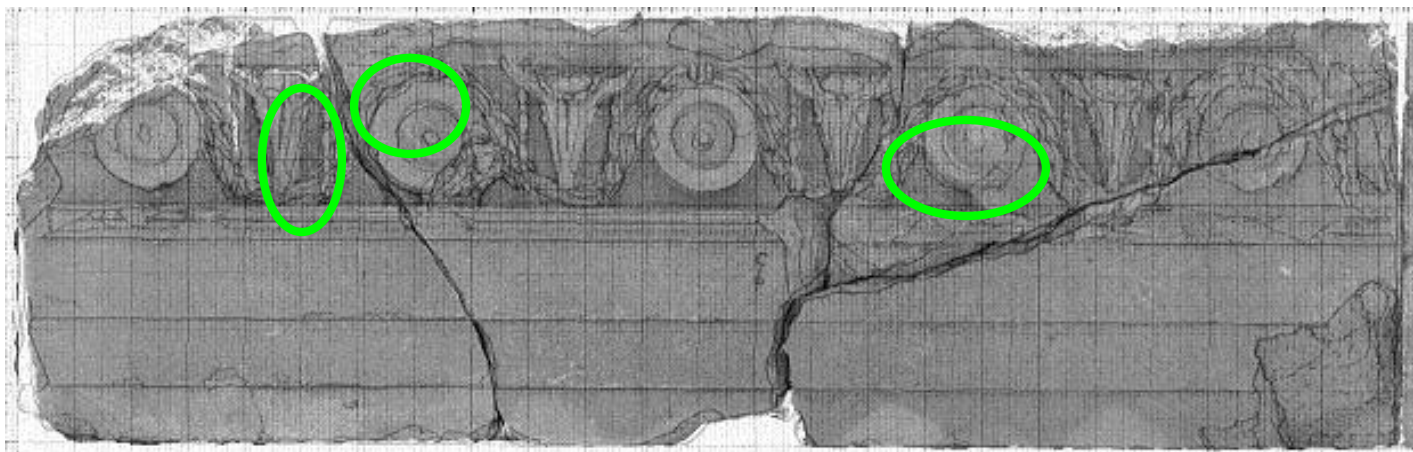


手書きによる
実測図面

図面縮尺1/10



要求精度0.5mm



誤差
0.5mm以下



要求精度達成

ライオン

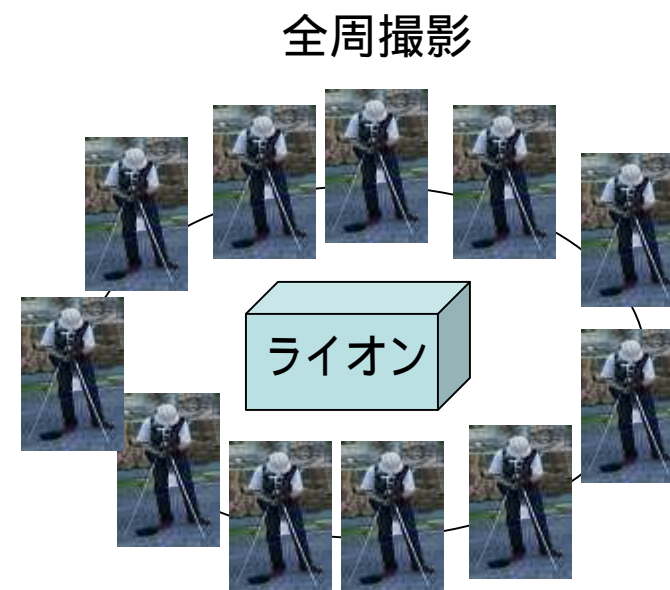
(現在は、博物館に展示)



ライオン 撮影概要



展示場所は狭く、撮影困難



彫像の全周モデリング

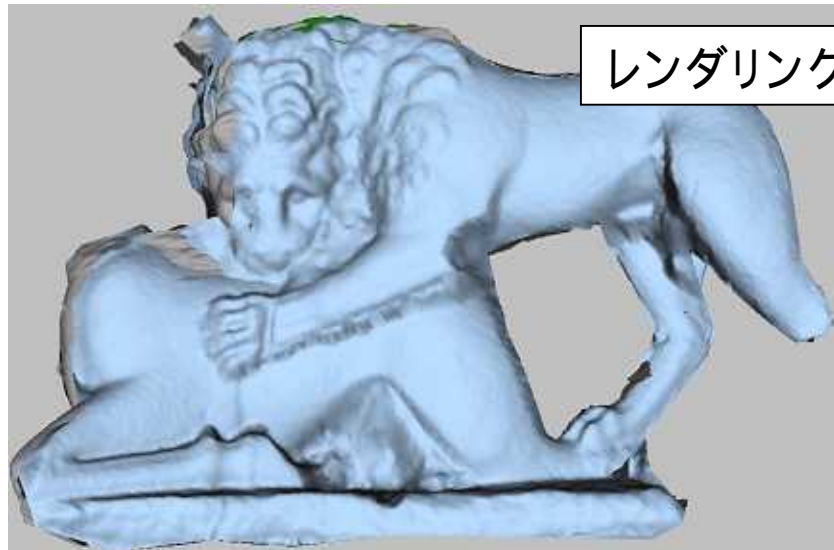
博物館展示像



テクスチャ
マッピング



レンダリング



テクスチャ
マッピング



建築物(遺跡)の全周3D計測

アギアサマリーナ教会



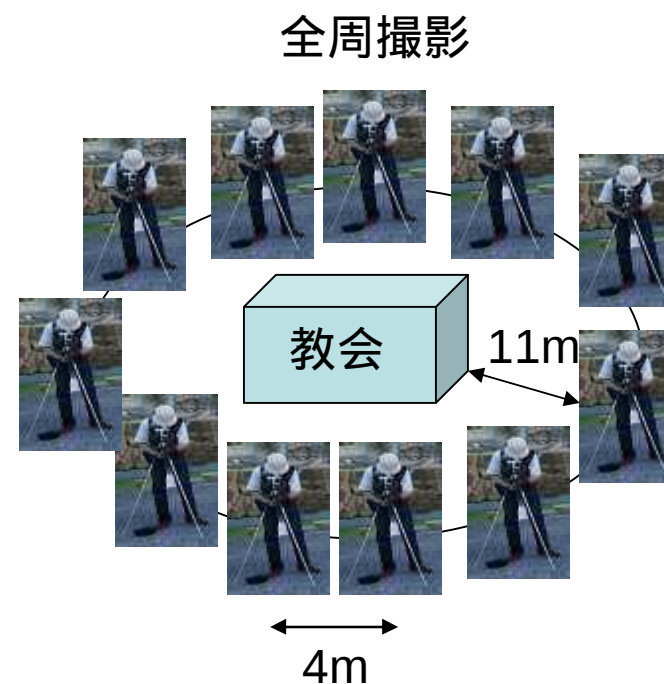
古代メッセネ遺跡に近いオリーブ畑に残された、ビザンチン時代の教会

17m × 13m × 12m (長さ × 高さ × 奥行)

アギアサマリーナ教会 撮影概要



撮影距離: 11m
基線長 : 4m

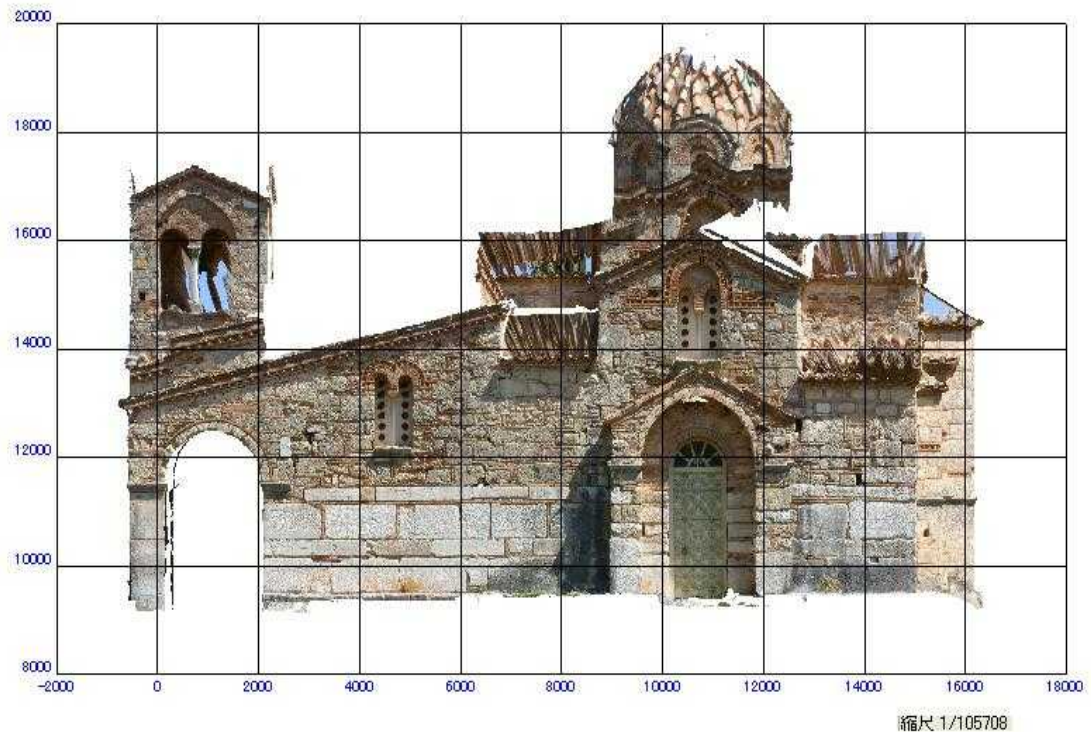


平面分解能: 4.5mm
奥行分解能: 15mm

全周モデリング結果



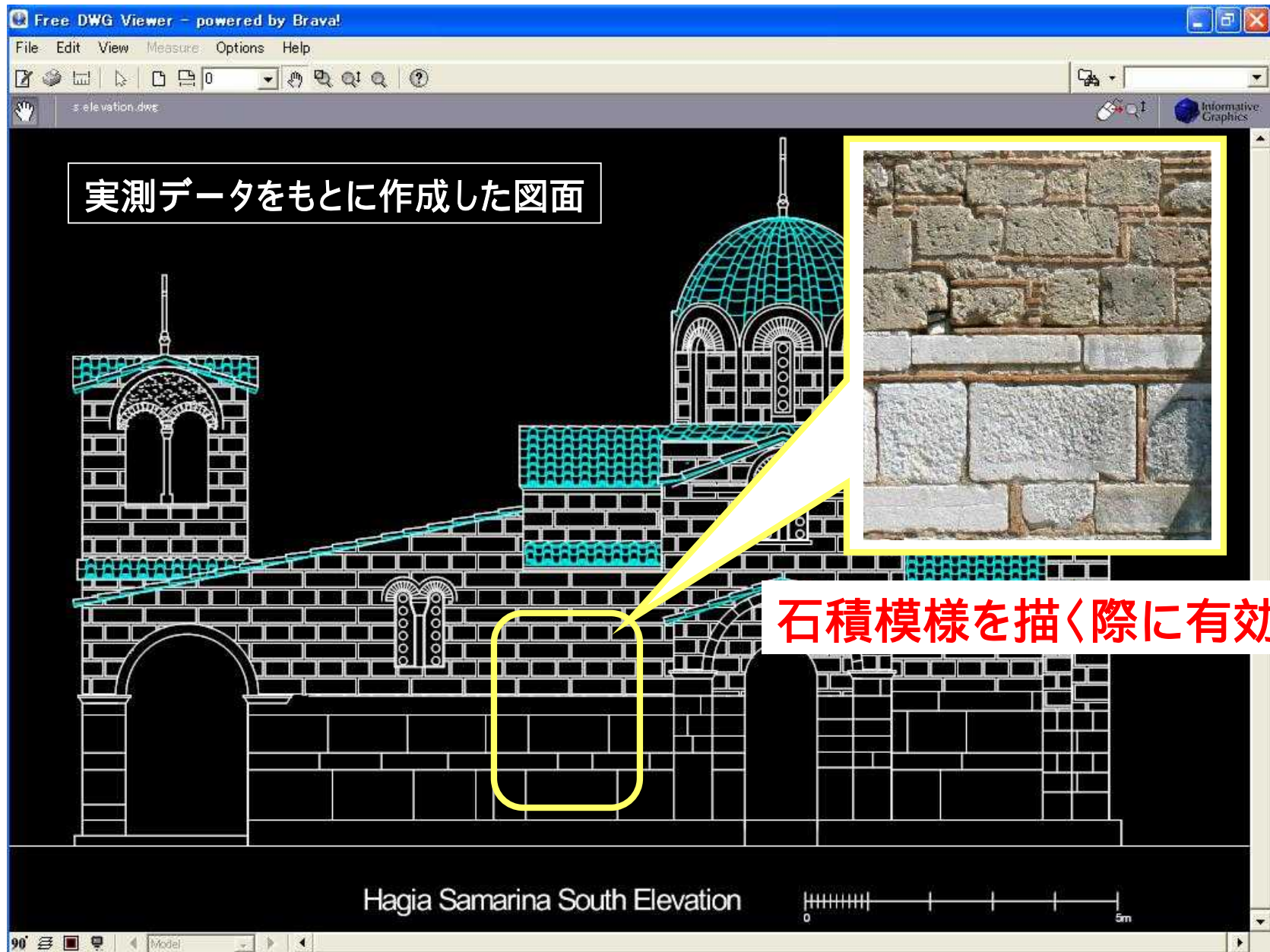
テクスチャマッピング



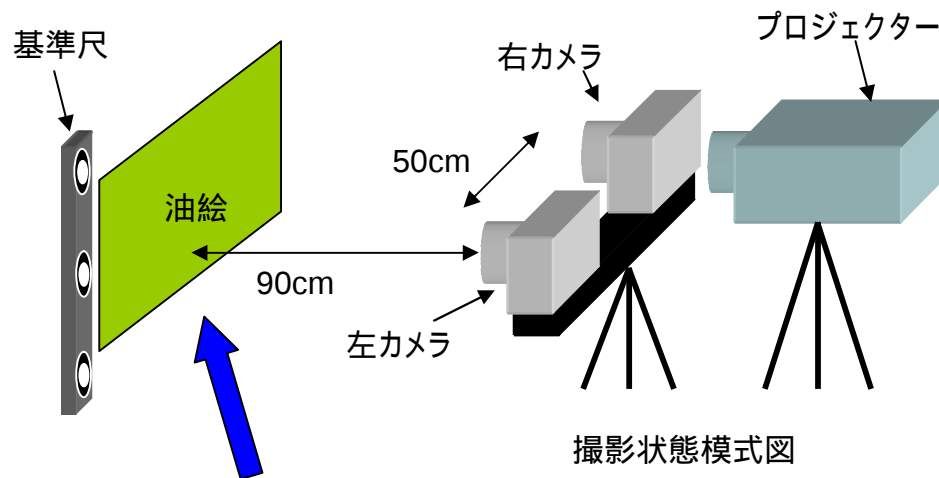
オルソ(正射投影)画像

アギアサマリーナ教会 オルソ図面





絵画の3D計測・複製 撮影



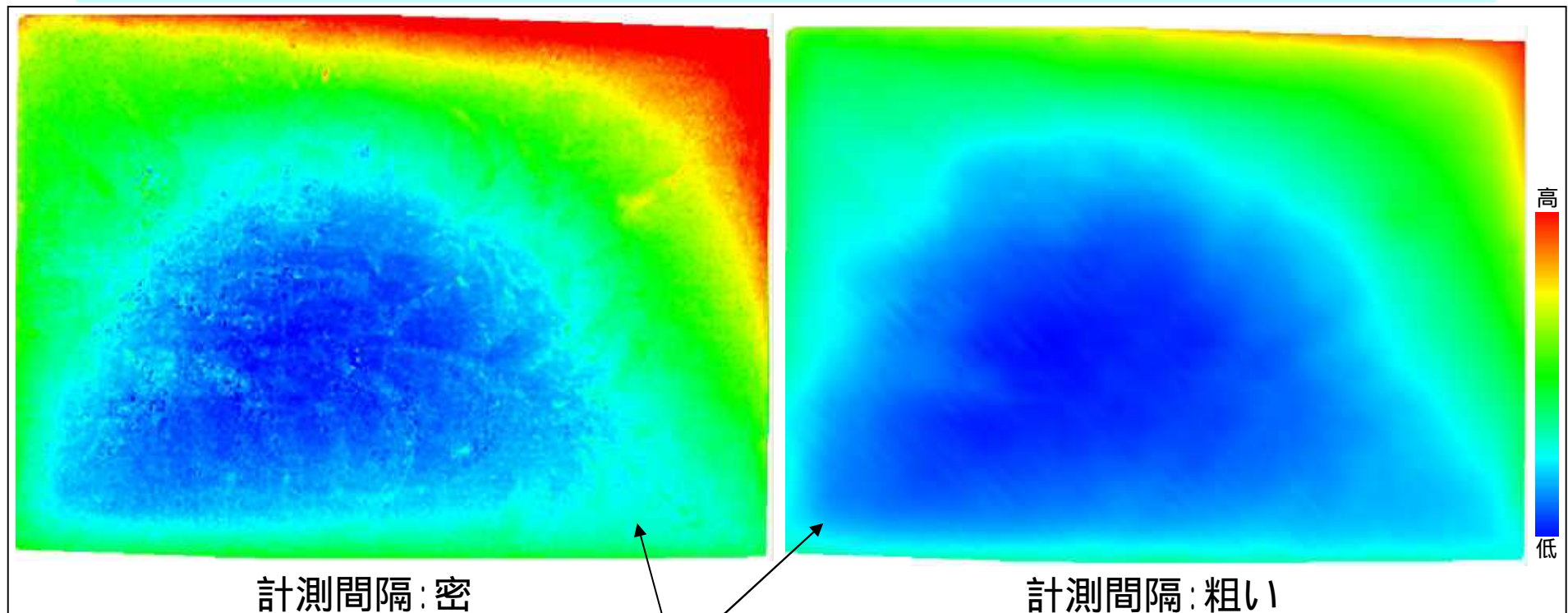
撮影条件

撮影距離: 90cm
基線長(カメラ間距離): 50cm
平面分解能: 0.12mm
奥行分解能: 0.23mm



油絵 (34cm × 24cm)

絵画の3D計測・複製 計測結果

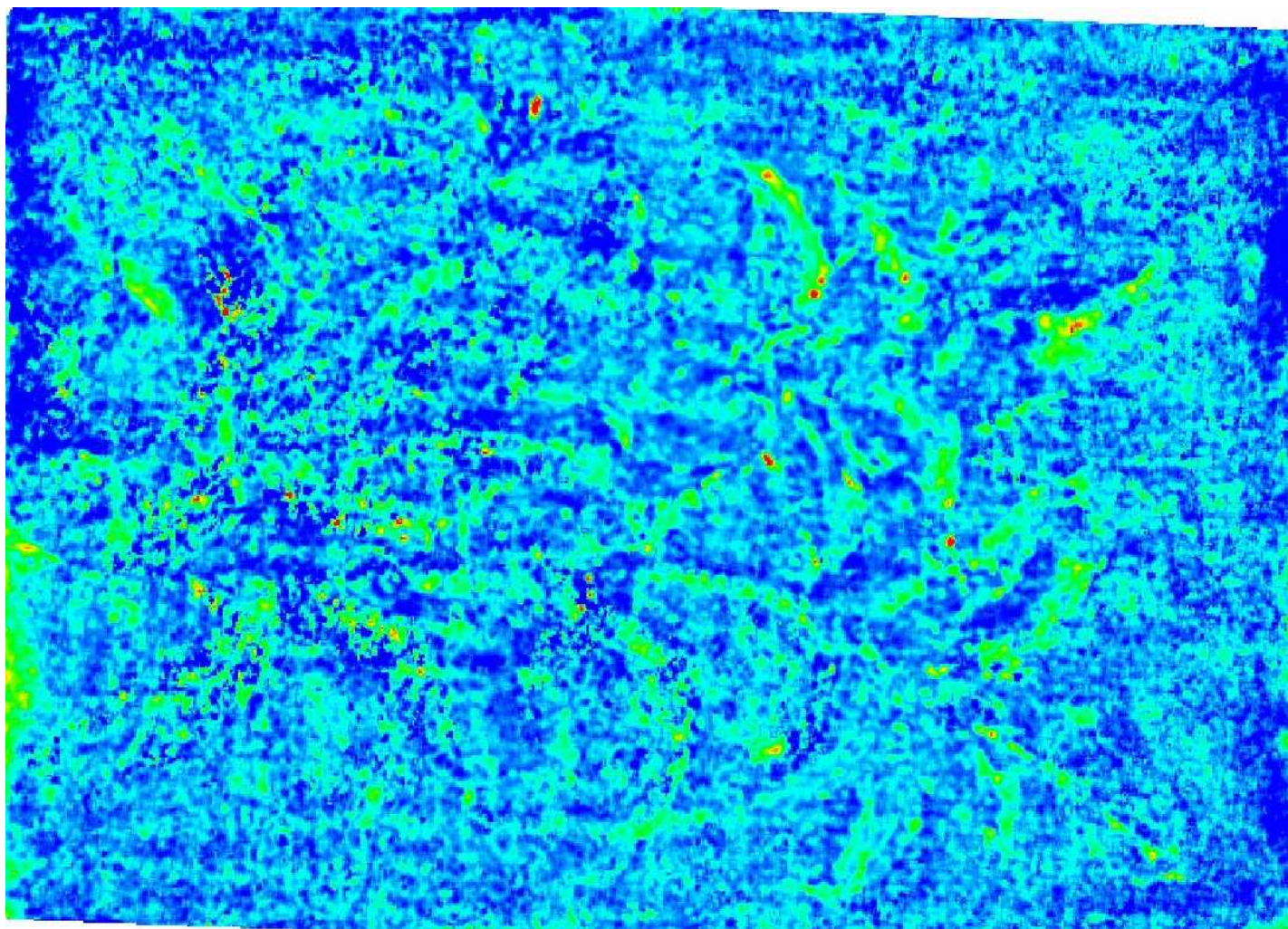


木枠のねじれ、キャンバスのたるみ、**筆タッチの凹凸**
の情報を含んでいる

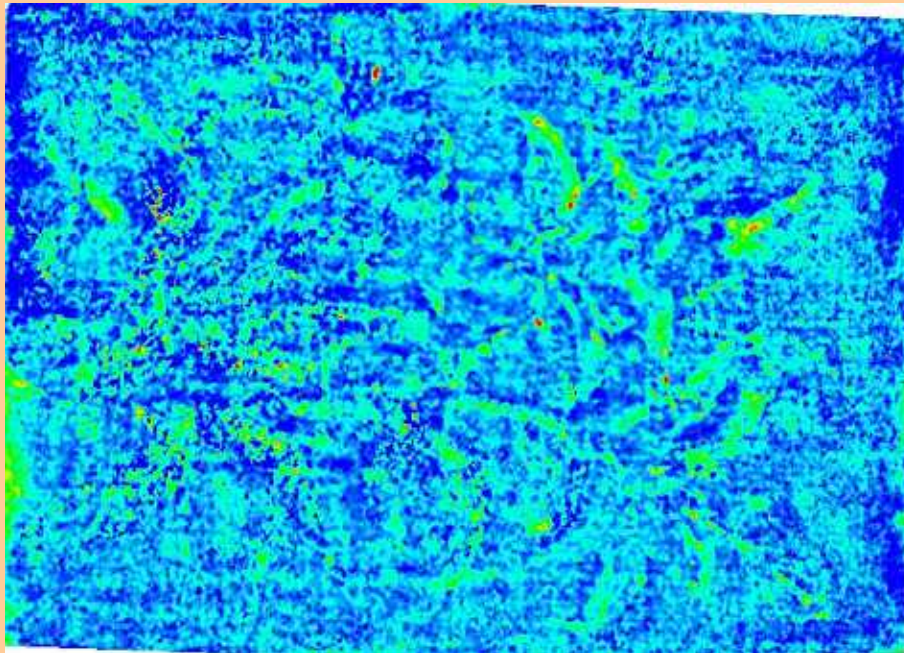
歪補正により抽出

絵画の3D計測・複製

筆タッチの凹凸のみの抽出結果



絵画の3D計測・複製 油絵複製



筆タッチ再現(カラーマップ表示)



色情報再現(テクスチャ画像)

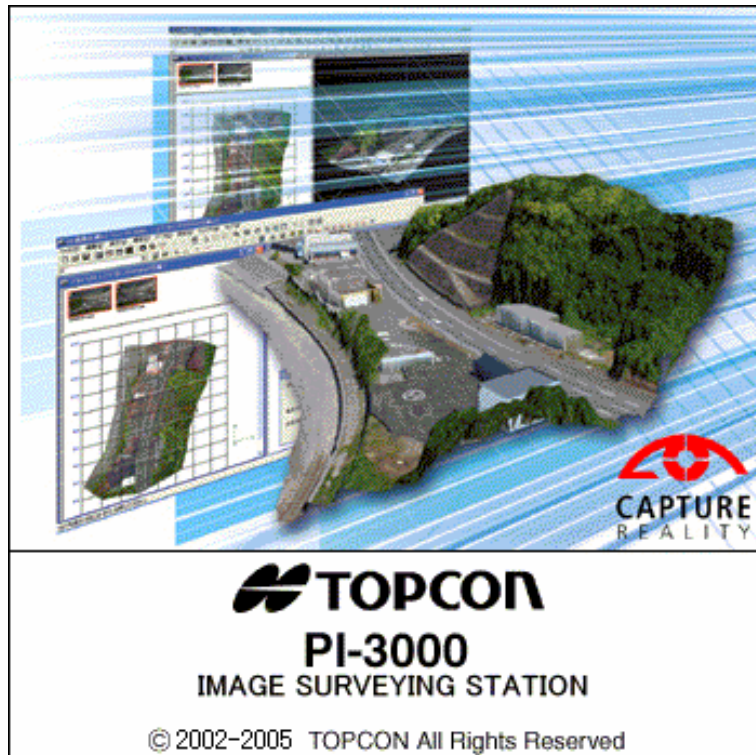
筆タッチと色情報の位置は完全に一致

油絵複製作成

参考文献

- ・Kochi,N.,Ito,T,Noma,T.,Otani,H.,Nishimura,S.,Ito,J., "PC-Based 3D Image Measuring Station with Digital Camera an Example of its Actual Application on a Historical Ruin. " International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIV-5/W12, Ancona, 2003 , p.117-120.
- ・高地、伊藤、渡邊、大谷、門林、太記、伊藤:”デジタルカメラを用いたPCベースの3次元画像計測、モデリングシステムとその実応用例について”,第10回画像センシングシンポジウム講演論文集,pp.323-328.(2004)
- ・Kadobayashi, R., Kochi, N., Otani, H., and Furukawa, R.: “Comparison and Evaluation of Laser Scanning and Photogrammetry and Their Combined Use for Digital Recording of Cultural Heritage”, The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISTANBUL, XXth Congress, WG V/4,pp.401-406 ,(2004)
- ・Otani, H.,Aoki,H., Yamada, M., Ito,T., Kochi, N.”3DModel Measuring System” The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISTANBUL, XXth Congress, WG V/2, pp.165-170, (2004)
- ・高地、渡邊、伊藤、大谷、山田:“デジタル画像による3D計測とその応用例 ～デジカメによる小～大型対象物の3D計測・モデリング”、画像ラボ2004年12月号、日本工業出版、pp25-29
- ・高地、渡邊、山田、伊藤、大谷:“デジカメ画像による3次元計測システム”、OplusE 2004年12月号、(株)新技術コミュニケーションズ、pp1430-1435
- ・Kochi, N., Watanabe, H., Ito, T., Otani, H. and Yamada, M.“3Dimensional Measurement Modeling System with Digital Camera on PC and its Application Examples” International(SPIE) Conference on Advanced Optical Diagnostics in Fluids, Solids and Combustion, December 4-6, 2004, Tokyo, Japan
- ・渡邊、山田、高地、伊藤、吉武:“デジタルカメラを用いた歴史的彫像物から建造物の3D計測・モデリング”、光計測シンポジウム2005、6、pp31-34
- ・佐藤、大谷、青木、山田、伊藤、高地:“3Dモデル計測システムの開発”、応用測量論文集、17、pp25-32、2006
- ・高地:“デジタルカメラによる3D計測とモデリング”、光技術コンタクト、2006年10月号('06Vol.44通巻515)、財団法人日本オプトメカトロニクス協会、pp34-41
- ・R.Yoshitake,J.Ito,H.Watanabe,N.Kochi “Photogrammetry in Architectural Sturdy: A message from architect to surveyor”, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST(2006) , CIPA/VAST conference in Cyprus,2006
- ・高地:“フォトグラメトリ応用技術”、吉澤徹編著「最新光三次元計測」、朝倉書店、pp98-105、2006.11

デジタルフォトグラメトリ(デジタル写真測量)ソフトウェア



屋外での3次元計測・モデリング
土木施工、建築、遺跡、大規模対象物
航空写真による地形計測、GIS
その他 幅広く利用



工業計測
中・小規模対象物の
3次元計測・モデリング
数10cm ~ 数m

END