

第5回(平成26年度第2回)CRCフォーラム(平成26年9月19日(金)開催)  
「安全・安心のための画像・映像技術」

# デジタルカメラによる画像計測

近津 博文 教授

理工学部理工学科建築・都市環境学系

**TDU**  
東京電機大学

# デジタルカメラによる画像計測

東京電機大学 理工学部  
建築・都市環境学系  
教授 近津博文

第2回CRCフォーラム“安全・安心のための画像・映像技術”  
東京電機大学 千住キャンパス 1号館1階100周年ホール  
2014 9月19日(金)

- 測量から空間情報工学
  - ・空間情報工学とは
- 測量界における技術革新
  - ・画像によるセンシング
- デジタルカメラによる画像計測
  - ・デジカメの性能評価
  - ・近接写真測量の課題
    - ・3DiVisionの開発コンセプト
- 3DiVisionによる応用事例
  - ・地形測量
  - ・文化財調査
- その他
  - ・ UAV



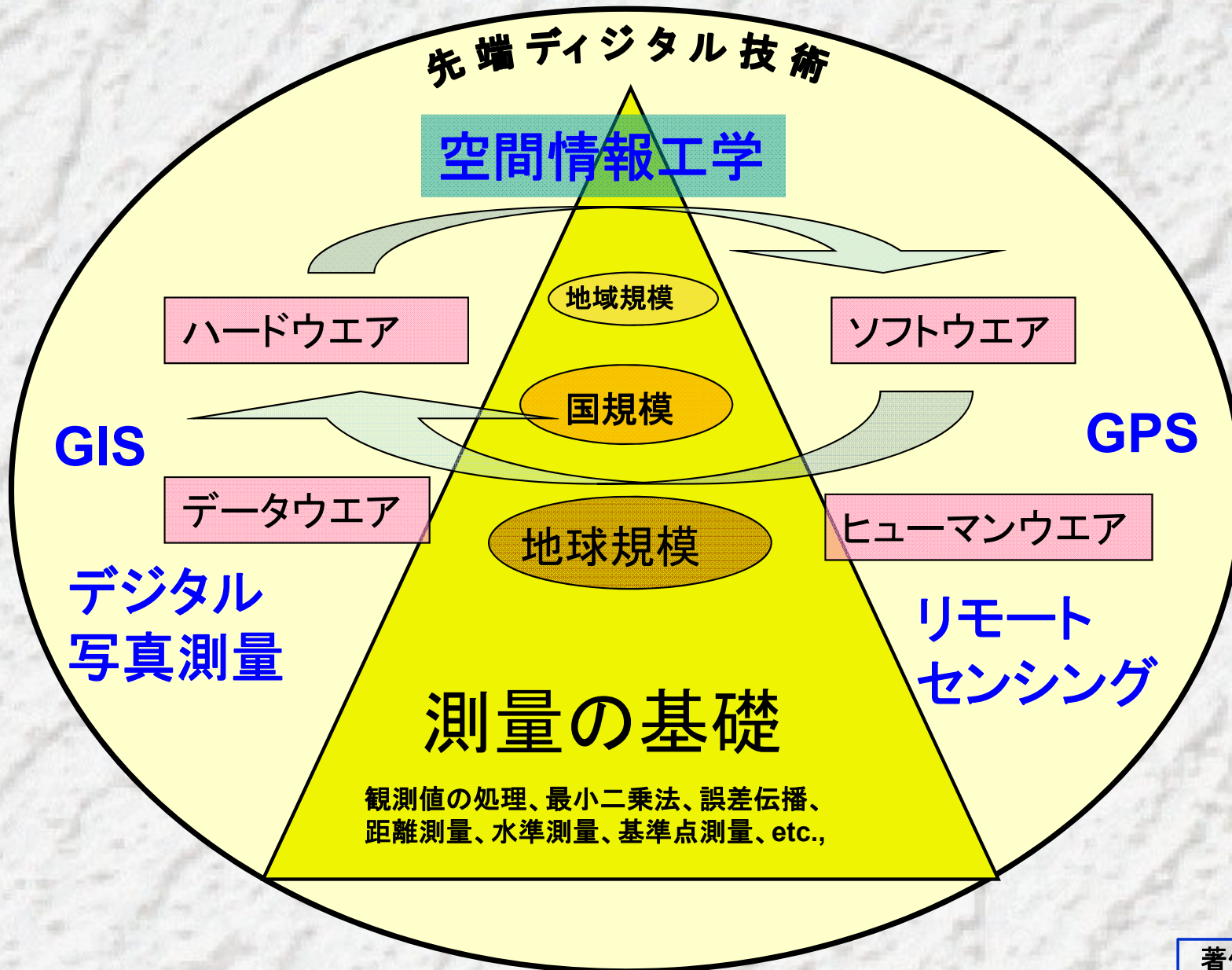
## ➤ 測量から空間情報工学へ

### ■ 測量という言葉から想像できる事

What can you image from the term of “Survey”

- 道路などでカメラみたいな器械を覗いている光景
- 道路をメジャーで測る事
- 長い定規を持って何かを測る事
- 道路で赤白の長い棒を持って何かしている光景
- 炎天下で作業服を着て土地を測る事
- 地味、裏方、面倒くさそう、難しそう

# 空間情報工学の概念



著作権は著者に帰属



# ➤ 測量界における技術革新

## Technological Innovation in Geomatics

- **高解像度人工衛星 (High Resolution Satellite)**  
IKONOS(1999), QuickBird(2001)、OrbView-3 (2003)  
高分解能空間データの取得。
- **3Dレーザースキャナー (3D Laser Scanner)**  
高密度3D点群データの取得。
- **高解像度デジタルカメラの普及 (Digital camera)**  
高解像度デジタル画像の取得。

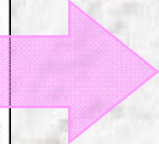


# • 衛星データ (Satellite data)

```

96 97 97 95 94 100 106 101 92 97 100 98 101 103 96 97 92 99 91 94 98 97 98 98 97 95 93 90 88 87
101 100 97 95 93 97 97 100 95 98 96 96 102 105 101 99 94 97 94 91 102 101 100 95 97 94 96 97 97 92
103 95 89 91 91 96 102 93 95 96 102 100 104 98 95 99 94 95 94 93 100 98 98 97 95 98 100 101 105 101
100 87 84 84 84 86 93 99 99 114 114 113 113 107 97 96 93 96 95 90 97 101 103 97 98 96 95 100 112 103
92 89 83 80 79 81 93 105 105 116 115 119 121 114 104 97 95 96 92 90 97 109 117 110 111 113 107 97 100 97
96 89 80 78 80 84 95 108 102 103 108 124 129 125 127 107 93 93 90 91 99 110 117 109 115 129 131 104 98 93
88 82 79 81 86 90 102 112 98 101 108 120 130 125 130 105 91 92 91 96 97 100 108 113 129 136 138 115 104 102
77 81 88 92 109 132 123 109 101 97 102 111 123 133 133 100 89 93 88 93 99 106 105 123 140 139 144 128 106 102
81 89 96 101 119 131 122 111 102 93 94 108 108 108 107 95 95 96 90 92 104 121 119 113 114 107 113 109 103 94
87 97 116 117 103 103 104 112 105 94 94 103 100 93 88 88 96 94 93 99 103 115 108 89 82 78 81 83 91 90
93 102 123 121 98 105 107 107 110 96 98 100 100 101 92 88 90 89 92 100 98 95 82 77 77 79 79 78 80 86
105 105 101 104 105 107 114 107 107 101 99 100 101 100 89 91 91 89 95 97 90 83 80 83 82 86 88 86 81 80
107 105 100 103 103 103 104 103 98 102 100 98 101 101 89 92 92 88 97 96 86 90 91 82 85 95 97 91 85 82
96 100 103 99 95 97 95 98 95 98 100 103 101 99 88 92 91 90 97 97 101 106 95 82 88 95 95 86 81 85
94 100 106 99 86 96 99 97 96 98 100 104 103 98 91 93 92 98 102 100 105 101 93 82 86 92 98 92 85 85
97 100 97 95 89 92 96 95 97 100 98 98 103 101 97 95 91 97 103 99 96 97 100 86 86 88 85 92 95 91
94 98 95 92 91 93 98 96 96 95 91 96 99 99 99 93 93 96 98 99 98 97 99 94 87 87 91 99 91 92
97 97 97 90 89 92 94 96 99 95 94 94 99 104 109 104 95 96 101 103 99 97 103 90 86 93 87 102 101 94
94 98 96 88 92 98 99 92 88 91 100 96 90 101 93 91 99 98 94 104 109 97 96 100 91 98 92 91 98 94
95 89 89 94 93 93 95 90 88 91 92 94 92 98 92 90 98 100 97 98 99 99 103 94 97 96 97 92 96 94
82 80 86 98 93 92 88 88 91 91 93 97 93 97 88 89 94 100 102 100 96 101 96 83 78 81 85 88 85 88 91
79 77 85 99 92 87 88 91 93 97 93 93 97 98 89 94 100 102 100 96 101 96 83 78 81 85 88 85 88 91
79 85 93 89 79 79 81 88 96 94 91 91 100 93 90 95 98 97 98 103 105 94 79 79 83 90 83 83 83 87
95 96 98 98 89 83 80 84 91 89 93 94 98 90 92 98 98 99 103 99 91 84 78 78 83 83 82 82 81 89
99 96 93 109 131 132 118 100 96 99 95 95 100 92 94 98 98 97 91 85 83 81 80 77 83 82 81 83 81 84
99 93 95 124 150 152 140 139 119 102 92 95 98 90 94 97 97 95 86 81 83 84 81 78 84 84 82 82 80 77
100 94 103 134 147 149 147 148 135 99 88 95 95 87 94 99 97 99 100 89 82 88 85 79 82 85 86 82 82 83
99 94 104 133 145 151 151 138 120 96 90 96 93 90 92 98 99 101 105 97 88 88 87 78 81 88 89 85 82 91
99 96 98 115 132 139 138 125 98 91 92 97 90 88 92 96 99 97 100 103 94 87 86 83 79 84 84 81 86 91
97 100 96 98 115 119 119 106 95 90 92 98 89 81 88 94 95 91 98 103 91 92 99 94 80 78 77 76 90 89
102 105 101 98 103 100 99 104 94 90 94 100 89 81 80 82 86 88 89 89 90 101 106 93 86 85 80 77 83 83
105 103 102 100 99 104 100 95 93 90 97 98 86 82 82 82 79 79 81 81 91 104 91 91 92 93 86 79 77 78
105 102 96 97 99 98 100 100 96 89 102 95 88 85 82 82 80 79 81 85 83 83 94 93 95 101 93 83 80 79
102 108 101 100 100 100 101 101 100 89 99 92 97 104 98 90 87 83 78 77 80 87 97 99 96 105 102 87 86 86
104 107 107 105 103 103 98 101 98 90 101 102 108 113 110 109 111 100 85 83 85 83 89 85 89 101 96 101 105 105
104 106 107 110 108 103 108 101 92 96 102 99 91 104 119 128 111 97 83 84 84 83 91 95 91 94 105 106 94 84
102 105 100 107 102 102 102 97 92 98 99 95 94 93 108 119 112 96 87 99 86 87 95 92 91 98 101 104 100 88
92 97 97 99 99 104 99 92 91 95 96 97 103 102 107 110 97 84 91 97 90 93 91 87 89 96 103 105 104 101
81 83 95 105 99 104 101 91 91 94 93 96 111 118 113 101 93 87 88 90 90 105 99 85 88 100 103 100 102 105
79 78 85 101 105 102 98 91 89 95 104 108 110 123 116 95 84 88 80 84 91 105 100 91 99 106 100 94 94 97
79 78 79 84 103 104 98 92 91 97 108 113 107 115 118 113 81 87 88 83 89 101 93 91 100 100 93 90 87 86
77 78 81 76 88 96 96 92 95 95 97 109 111 111 119 124 95 89 90 82 84 100 94 87 92 93 88 87 88 84
78 79 79 79 78 81 85 90 98 95 92 104 112 113 109 99 93 83 79 83 85 96 101 91 91 93 87 88 92 89
80 81 79 80 80 78 80 93 105 98 88 91 95 102 94 81 80 80 85 89 93 90 97 94 88 92 92 88 90 88
82 82 81 80 79 79 97 106 91 85 85 83 87 89 84 83 85 91 90 94 86 84 90 90 95 99 90 85 87
83 82 80 82 77 78 79 96 105 92 85 87 89 88 82 91 90 89 91 90 89 90 86 96 104 96 89 88 85 86
80 82 82 83 81 78 82 98 102 90 86 89 89 85 91 97 94 92 90 85 85 92 97 99 102 95 85 87 87 87
79 78 81 86 83 79 82 98 93 86 92 93 91 93 99 93 92 90 85 85 91 100 108 98 97 94 84 87 91 91
77 81 82 79 82 79 85 102 95 80 84 88 93 104 98 93 87 82 84 90 92 93 96 88 85 96 99 93 92 93
79 78 79 80 80 78 89 101 91 79 87 94 94 99 92 88 85 88 89 93 95 95 86 85 88 92 99 100 97 96

```



88	96	94	93	99
88	90	89	92	100
91	91	89	95	97
92	92	88	97	96
92	91	90	97	97

著作権は著者に帰属



# ■ 3Dレーザスキャナーによる空間データの取得

## Data Acquisition by 3D Laser Scanner

- 航空レーザ  
測量

Aerial-born  
Laser  
Scanning

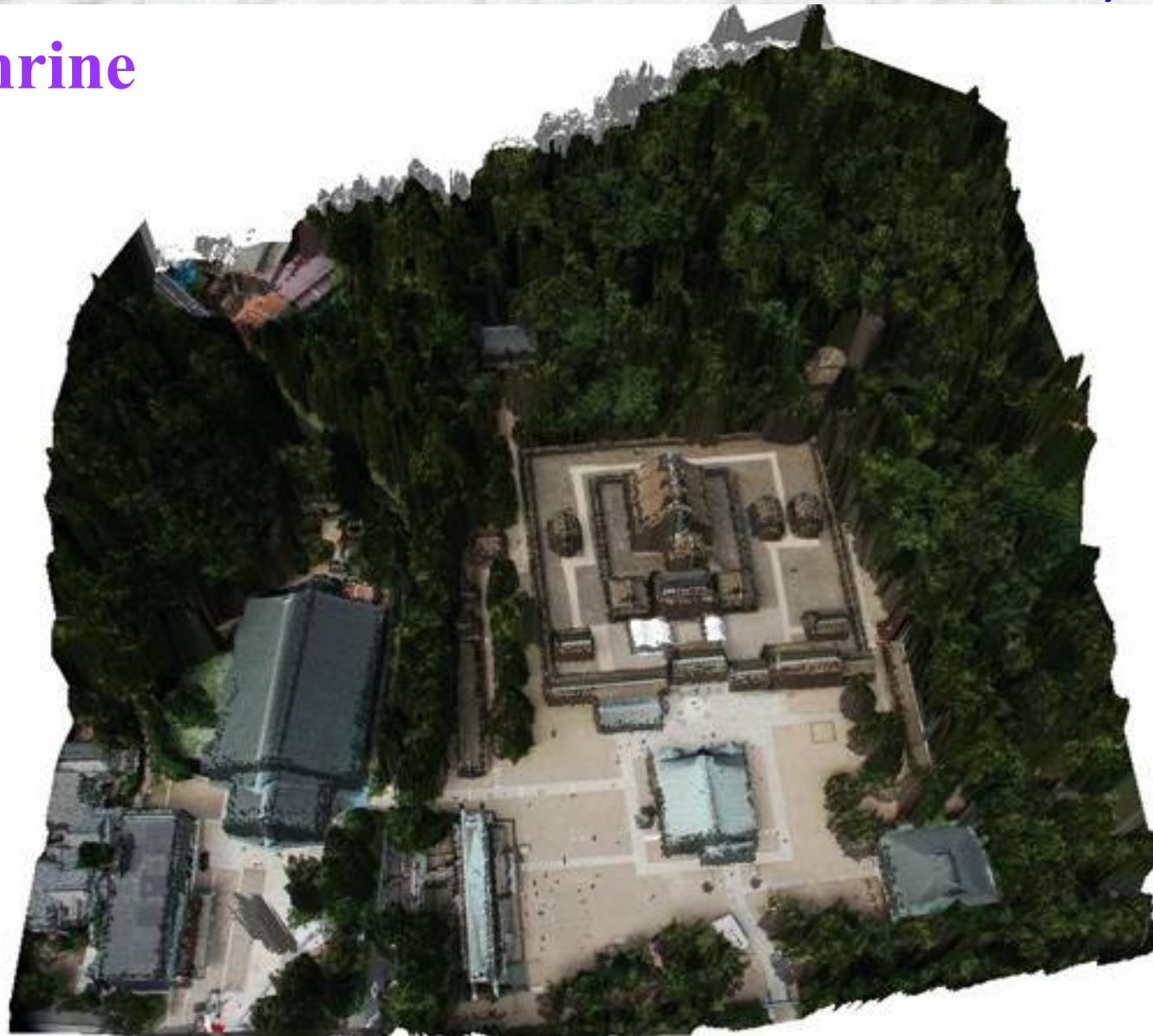


提供:(株) デベロ



# 出雲大社 (H18.9.9撮影、対地高度300m)

## Izumo Shrine



提供:(株) デベロ





# ■ デジタルカメラによる空間データの取得

## Data Acquisition by Digital Camera



著作権は著者に帰属



# ■ 測量界における技術革新

## Technological Innovation in Geomatics

- 高解像度人工衛星 (High-Spatial-Resolution Satellite Image)  
高分解能空間データの取得。
- 3Dレーザースキャナー (3D Laser Scanner)  
高密度3D点群データの取得。
- 高解像度民生用デジタルカメラの普及 (Digital camera)  
高解像度デジタル画像の取得。

共通するキーワード: 画像

Common Key word: Image

著作権は著者に帰属



# • 50 Consumer grade digital cameras



LV10



LV20



DC50



EX-S1



PowerShotA10



HDC1



IXYDIGITAL300

~1.0 M



QV2900-UX



EX-Z3



CP-900Z



CyberShotP7



CAMEDIA C-770UZ



μ30



IXYDIGITAL55

1.0 M  
~  
3.0 M



IXYDIGITAL60



EX-Z55



FinePixZ1



FinePixZ3



EasyShareV570



DiMAGEX50



OptioSvi

3.0 M  
~  
5.0 M



Xacti DSC-S5



IXYDIGITAL70



LUMIX DMC-FZ7



LUMIX DMC-FX9



IXYDIGITALL4



IXIDIGITAL700



COOLPIX S500

5.0 M  
~  
7.0 M



OptioW20



CyberShotT10



FinePixZ100fd



FinePixF40fd



COOLPIXL18



μ810



μ830

7.0 M  
~  
10.0 M



OptioM50



OptioV20



CyberShotN1



IXYDIGITAL1000



EX-Z1000



EasyShareV1003



COOLPIXS600

10.0 M~



OptioM60



OptioW60



IXYDIGITAL2000IS



FinePixF50fd



COOLPIXS700



LUMIX DMC-FX100



OptioA40



COOLPIXS710



# • 17 mobile phone cameras



F705i



W52S



P901i



P902i



W51SA

1.0 M

2.0 M

3.2 M

5.0 M

8.0 M

10.0 M



W55SA



W53SA



SH903i



D903i



SH905i



SO903i



921P



W53CA



P906i



W63CA



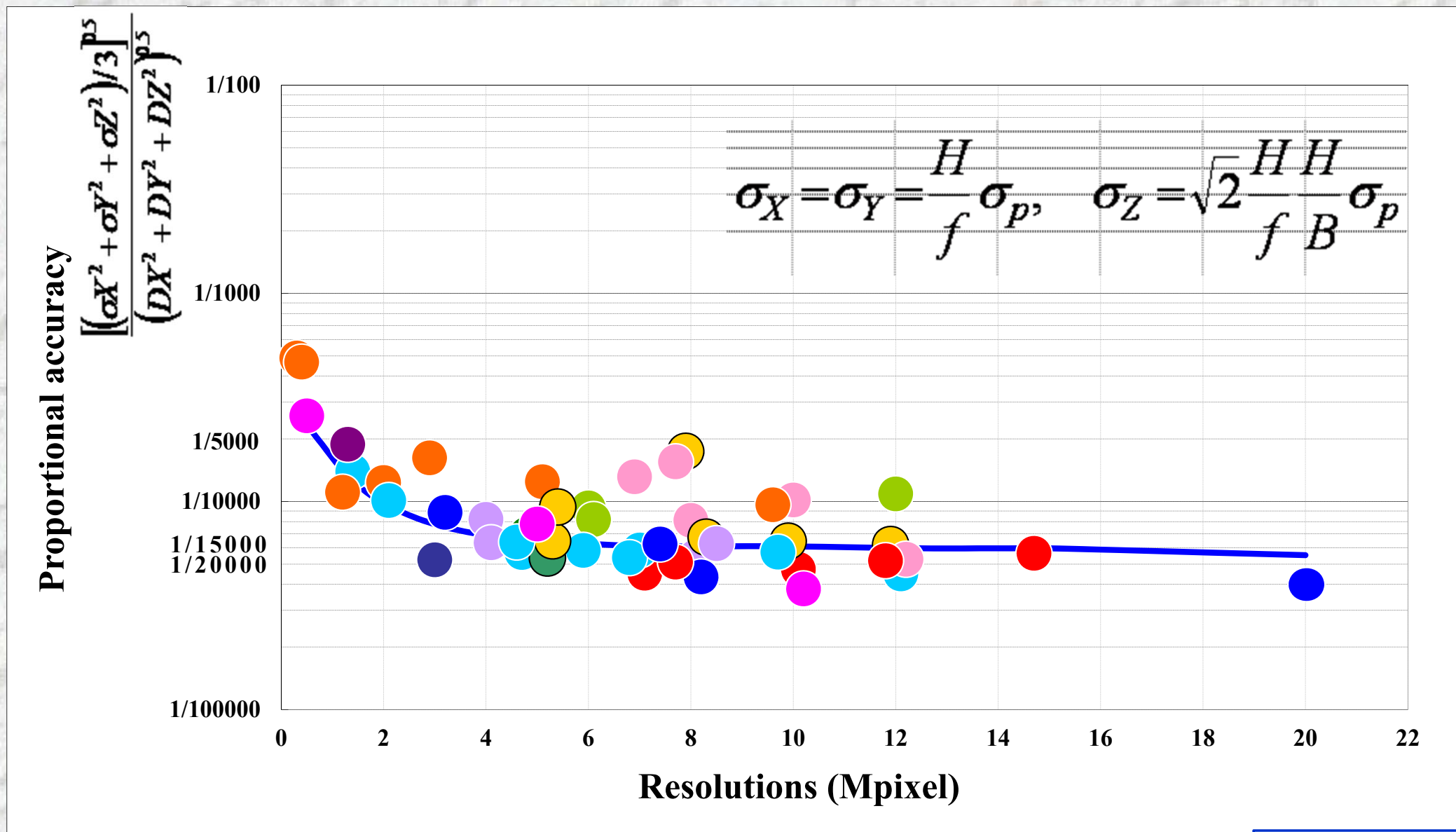
SH03-A



SH06-A

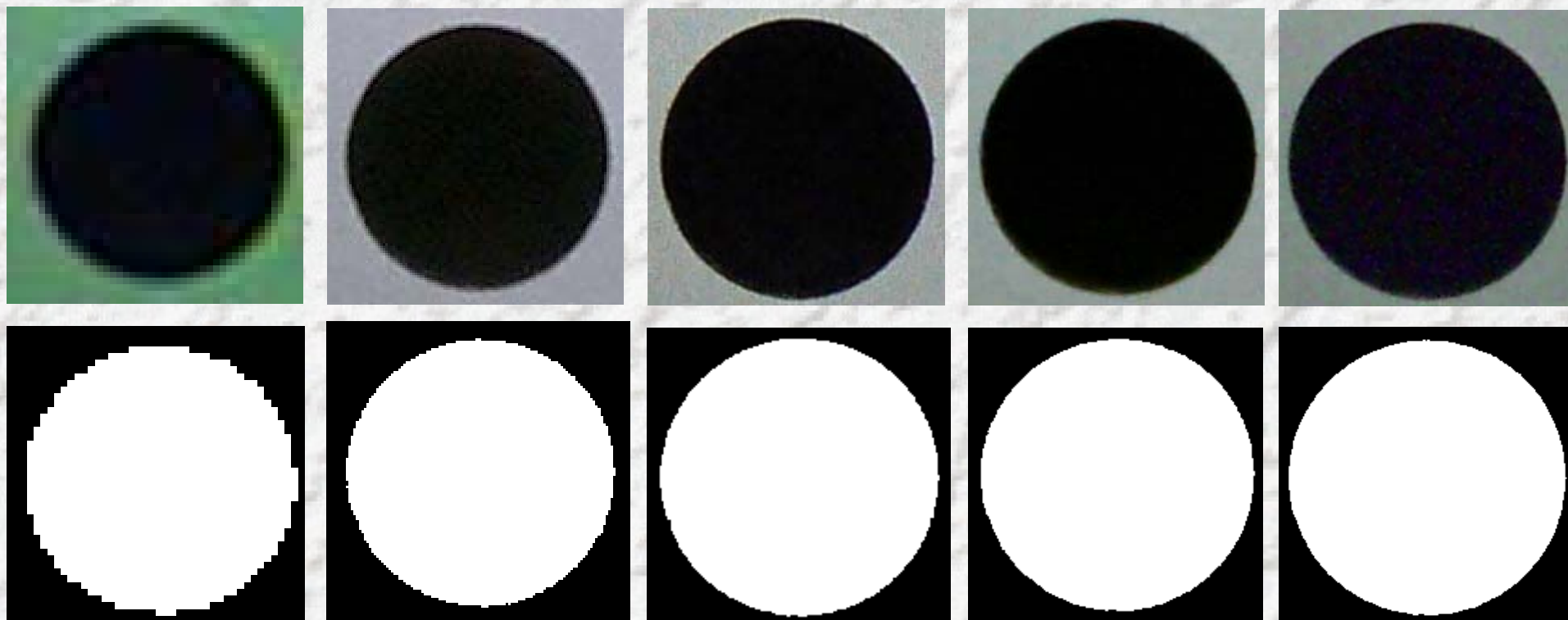


# • 信頼性 (Reliability) Consumer



著作権は著者に帰属

# ・画質の評価

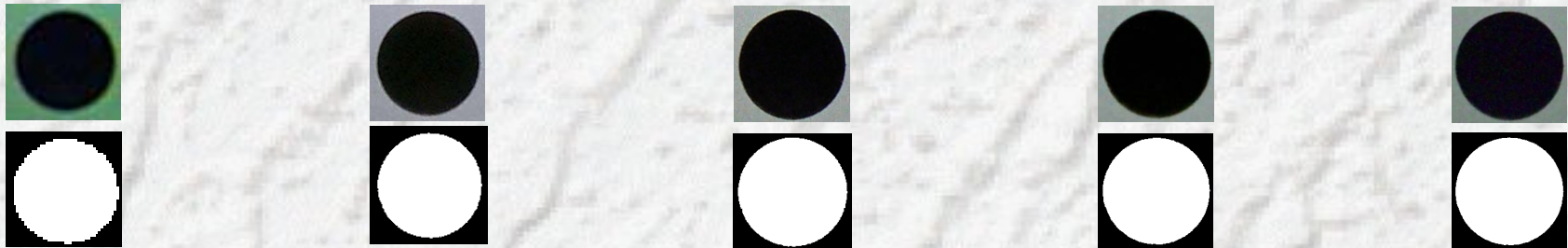


<b>No.Pixel</b>	0.38M	3.2M	6.0M	8.1M	10.1M
<b>Pointing Accuracy</b>	1.49 $\mu$ m	0.28 $\mu$ m	0.17 $\mu$ m	0.17 $\mu$ m	0.15 $\mu$ m
<b>SubPixel</b>	0.165pixel	0.101pixel	0.085pixel	0.080pixel	0.075pixel

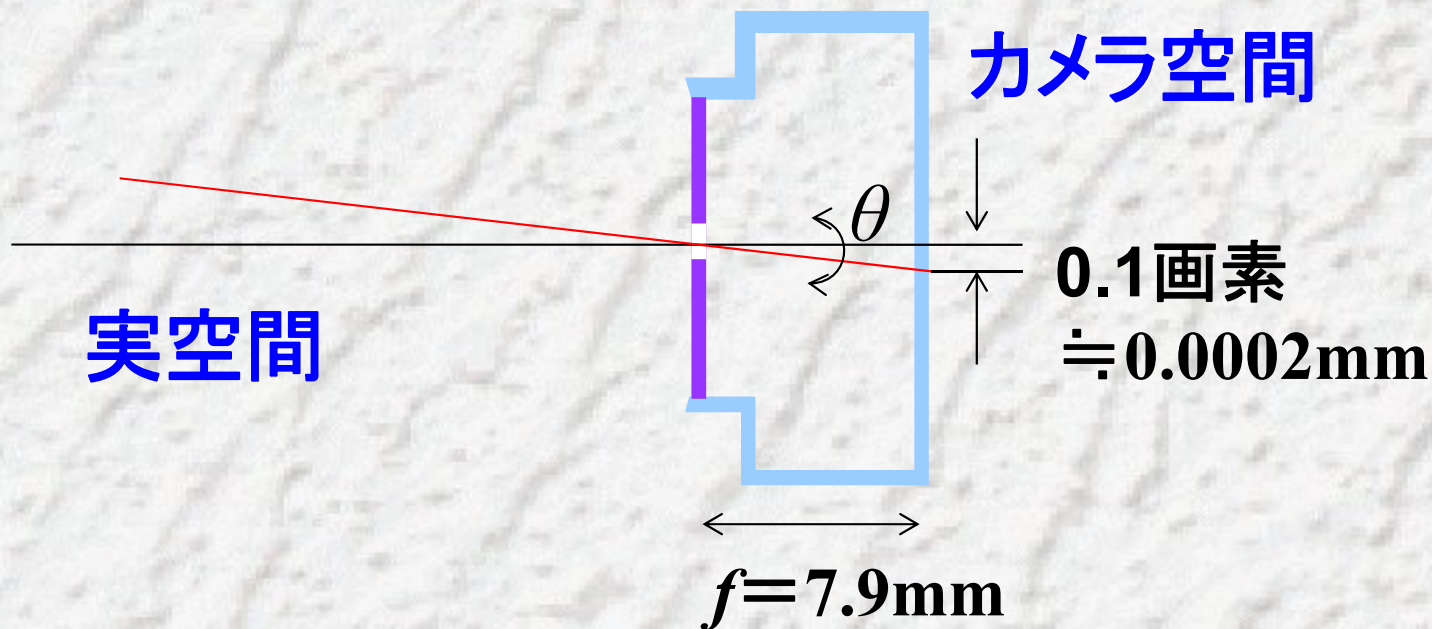
著作権は著者に帰属



# ・画質の評価



No.Pixel	0.38M	3.2M	6.0M	8.1M	10.1M
Pointing	1.49μm	0.28μm	0.17μm	0.17μm	0.15μm
SubPixel	0.165pixel	0.101pixel	0.085pixel	0.080pixel	0.075pixel

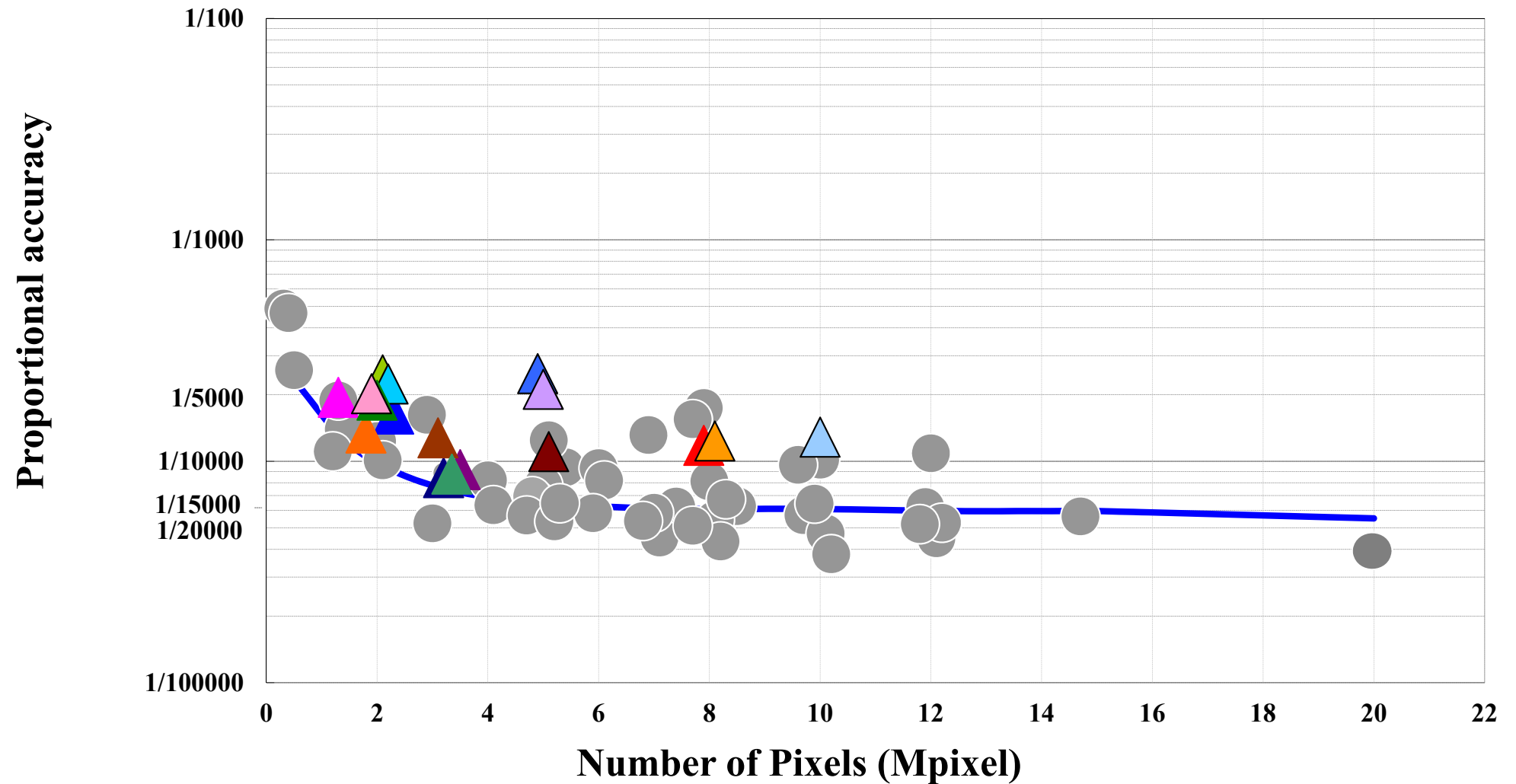


$$\theta = \tan^{-1}(l / f)$$

$$= 5.2''$$

著作権は著者に帰属

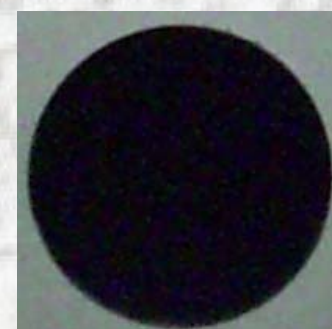
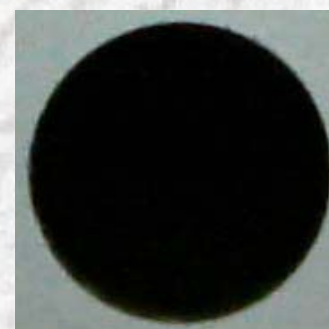
# • 信頼性 (Reliability) Mobile



著作権は著者に帰属



# ■ 画質の評価



画素数 0.38M

3.2M

6.0M

8.1M

10.1M

P906i	921P	W53CA

画素数

5.0M

5.0M

5.0M

著作権は著者に帰属

# ➤ デジタル写真測量の現状と問題点

## Current issues in Camera Calibration

### 外部標定要素

位置;  $X_0, Y_0, Z_0$

姿勢;  $\omega, \varphi, \kappa$

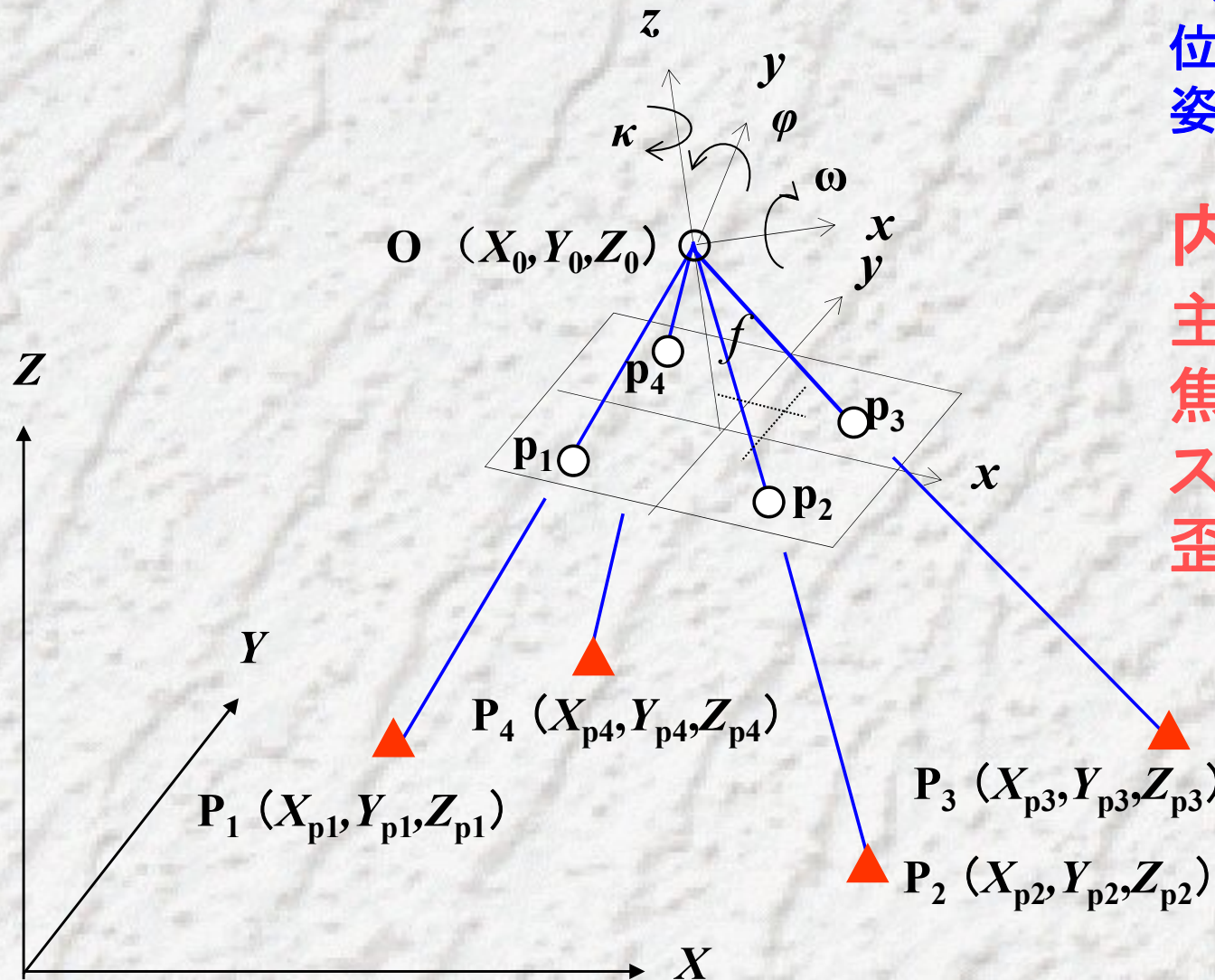
### 内部標定要素

主点位置;  $x_0, y_0$

焦点距離;  $f$

スケールファクタ;  $a_1, a_2$

歪係数;  $k_1, k_2, k_3, d_1, d_2$



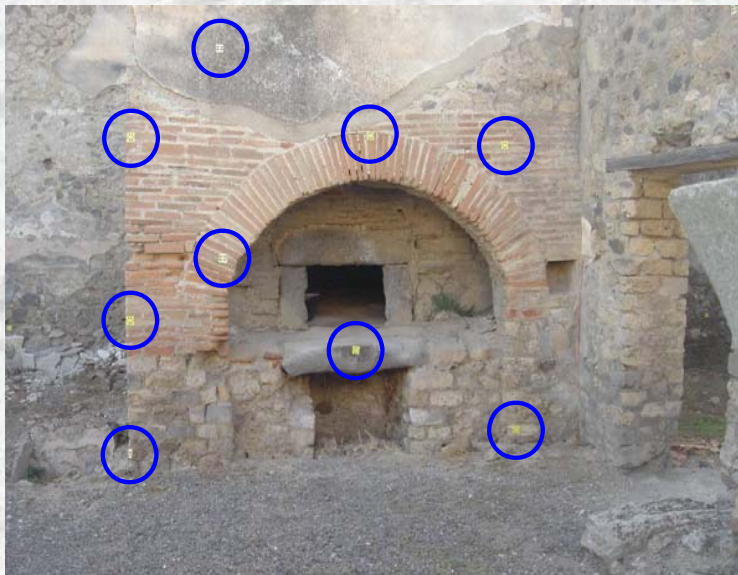
著作権は著者に帰属



# ■ 近接写真測量の現状と問題点

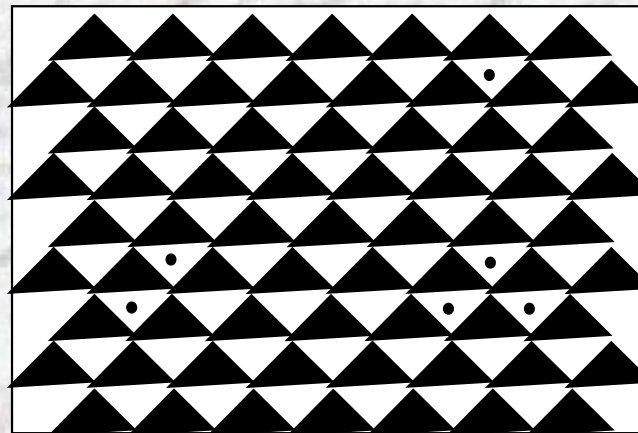
## Current issues in Close-Range Photogrammetry

### 1. 地上基準点を用いる場合



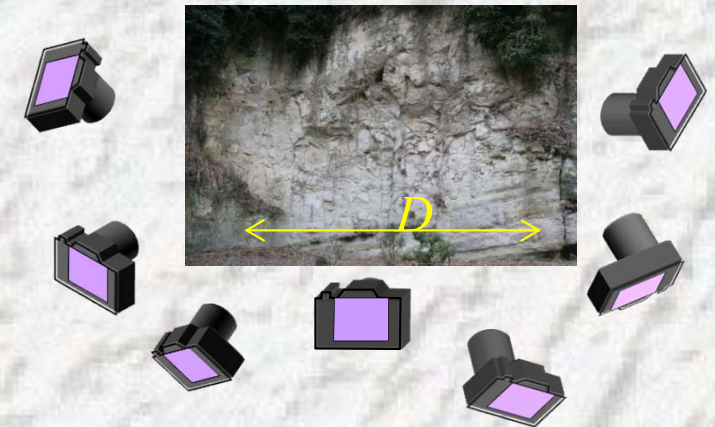
- Great time & labor for GCP surveying are serious issues.

### 2. 標定シート用いる場合



- IO parameters are utilized repeatedly.
- Boring job for measuring a few test sheets.
- Reliability for estimated IO Parameters should be evaluated.

### 3. 多視点画像を用いる場合



- Confusing job for taking a multi images.
- Huge memory is demanded

著作権は著者に帰属



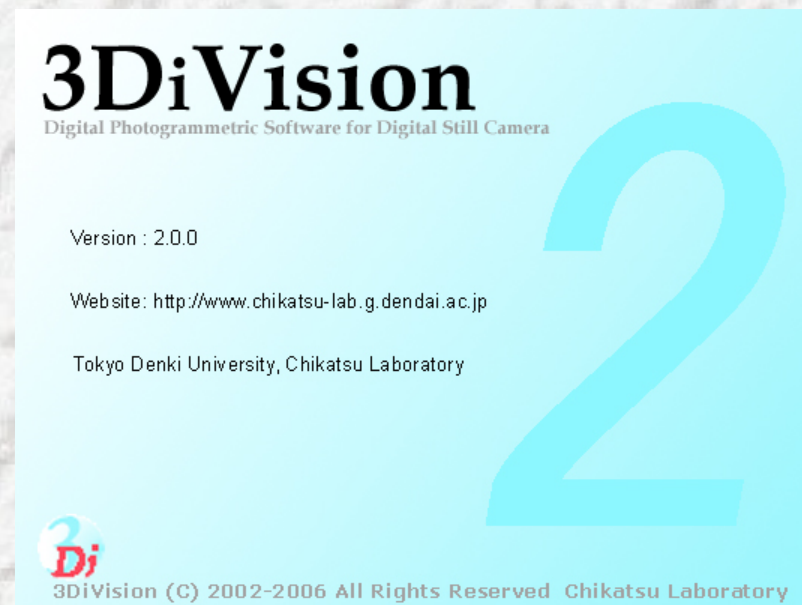
# ■写真測量用ソフトウェア “3DiVision”

Software was designed to perform convenient 3D measurements using digital camera.

Software was named “3DiVision” with key words; **3Dimension**; **Digital image**; **Visualization**.

コンセプト:

- ・基準点無し
- ・シンプル
- ・ロバスト
- ・UAVに対応可



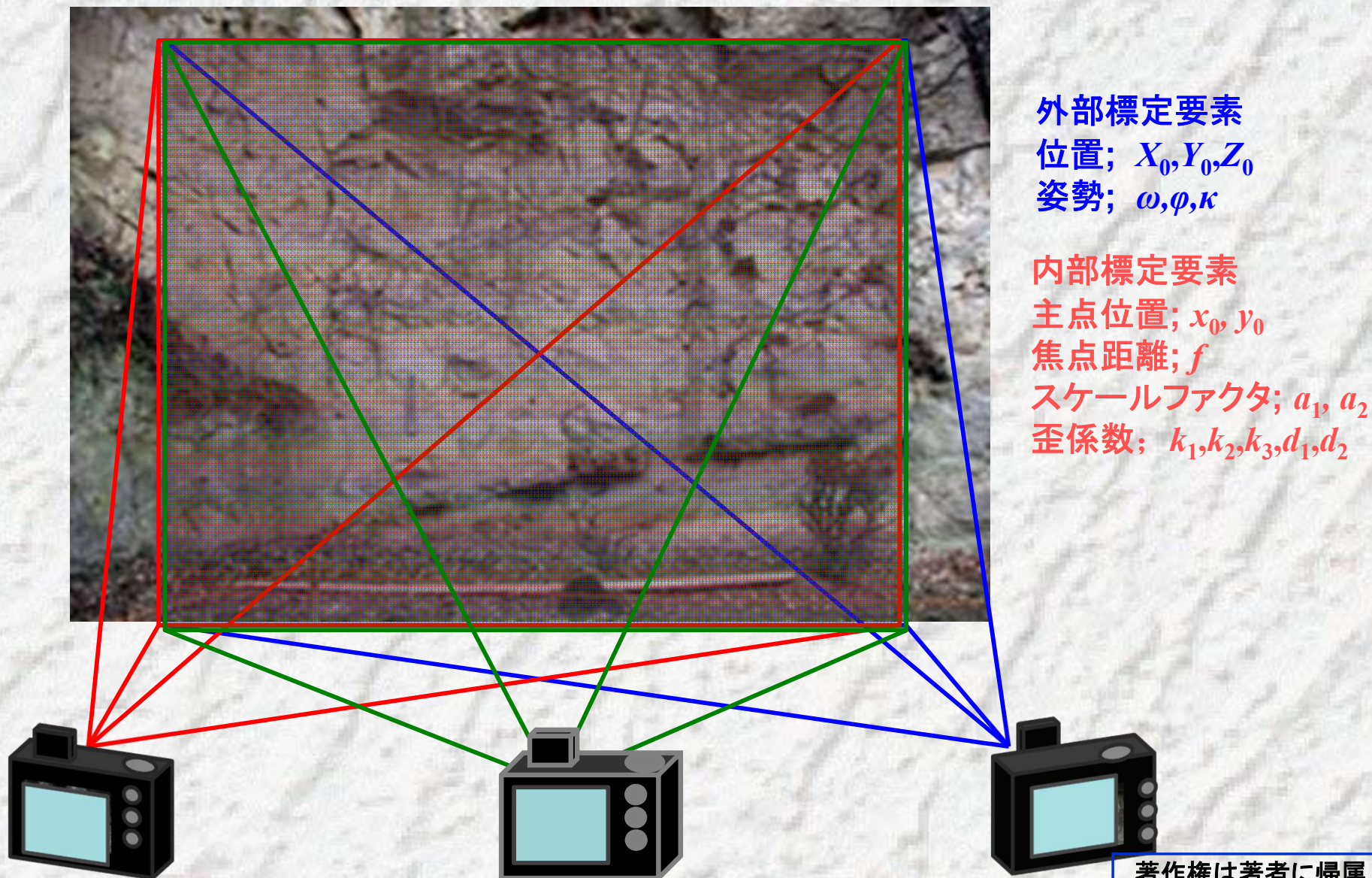
<http://www.chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp/3division/japanese/index.html>

著作権は著者に帰属



# • 3DiVisionの特徴 (Triplet 画像)

## 距離を拘束にしたセルフキャリブレーション付きバンドル調整法



著作権は著者に帰属

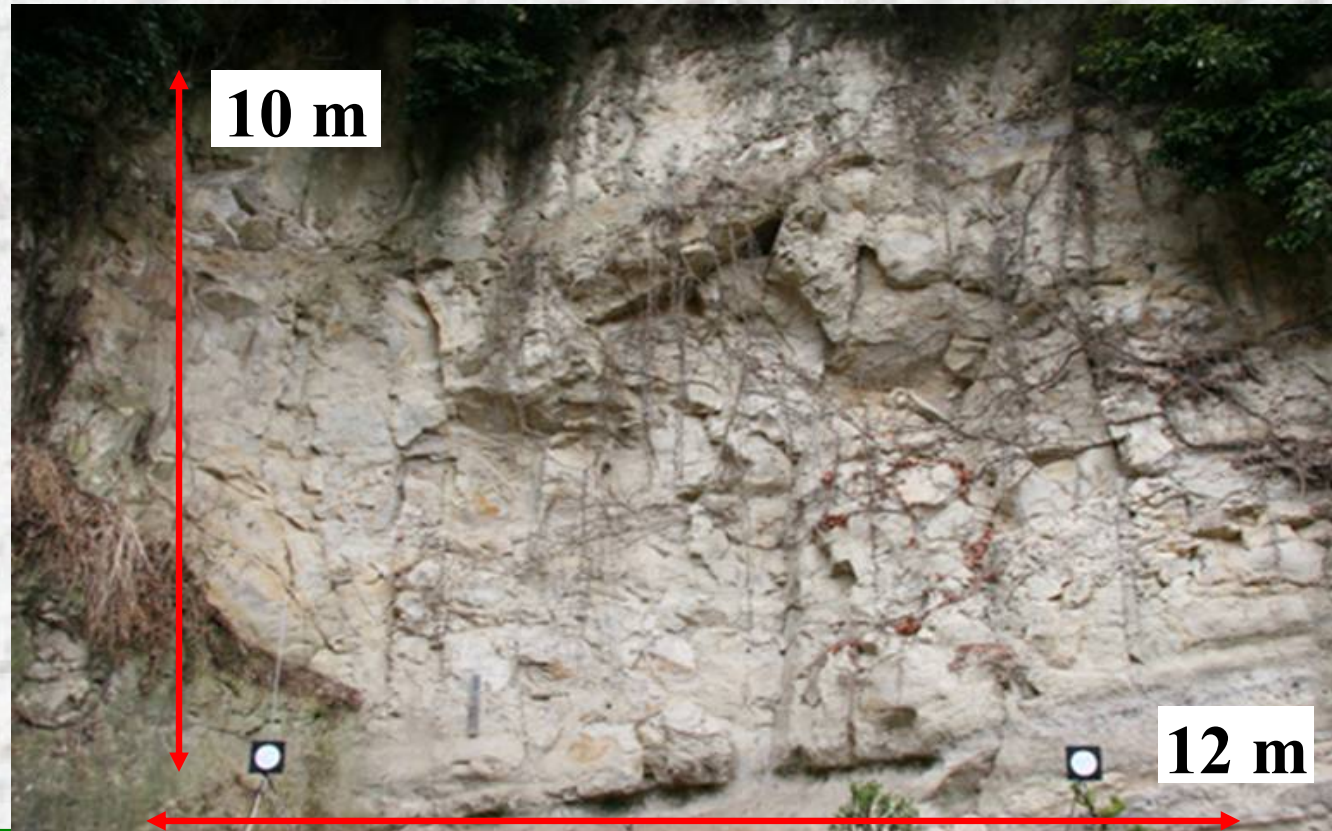


# ➤ 3DiVisionによる応用事例

## ■地形計測への応用



LMS-Z210(Rigle)  
20,000HZ, ±25mm



EOS20D  
(CANON) 800M



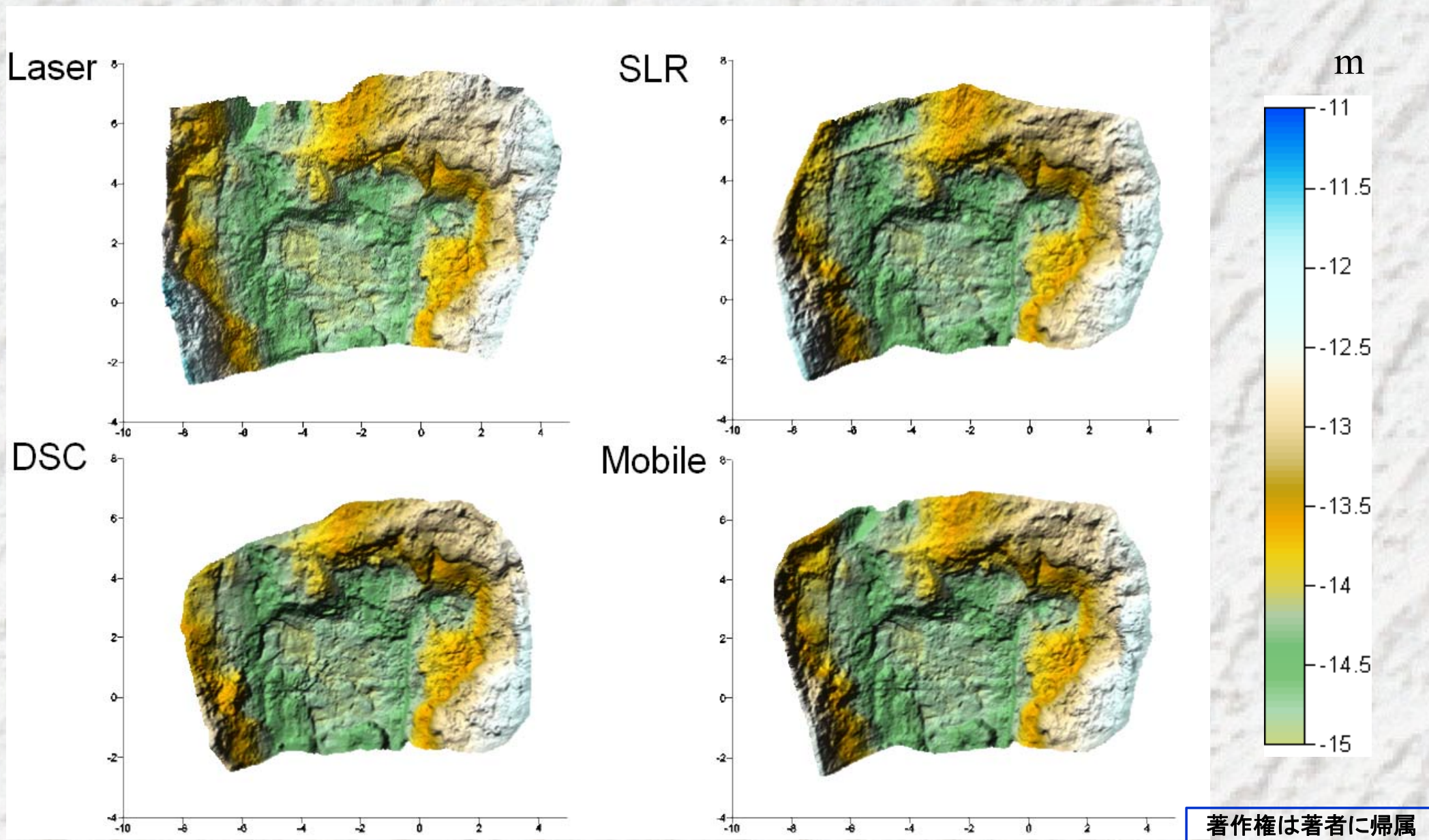
DSC-N1  
(SONY) 800M



SH03-A  
(NTT) 800M



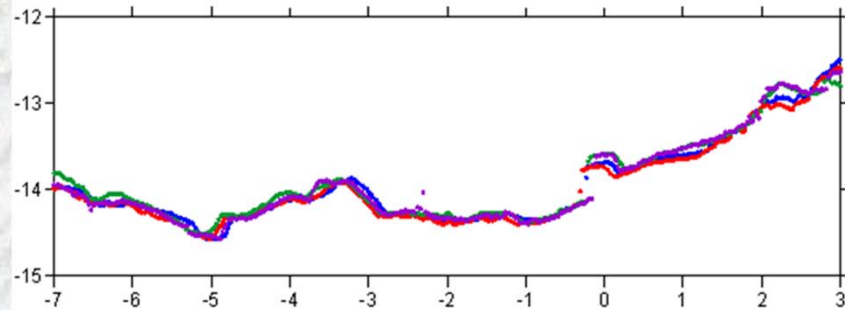
# 崖の3Dモデル 3D Model of Cliff



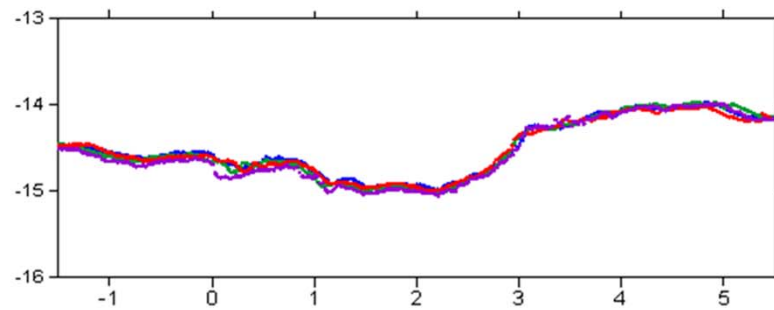
著作権は著者に帰属

# • 縦横段図 Horizontal & Vertical profile

H01



V01



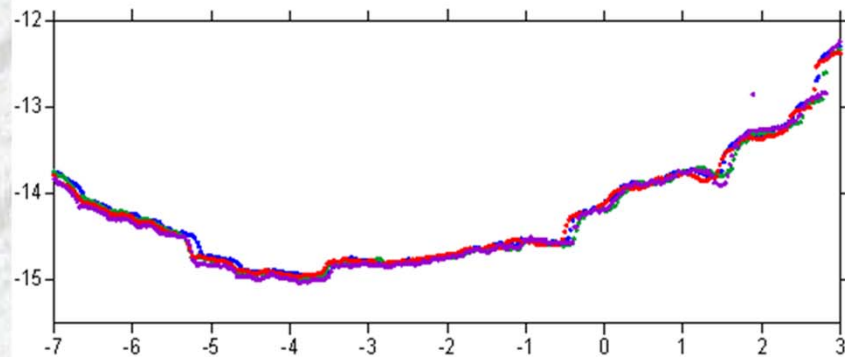
紫: Laser

赤: SLR

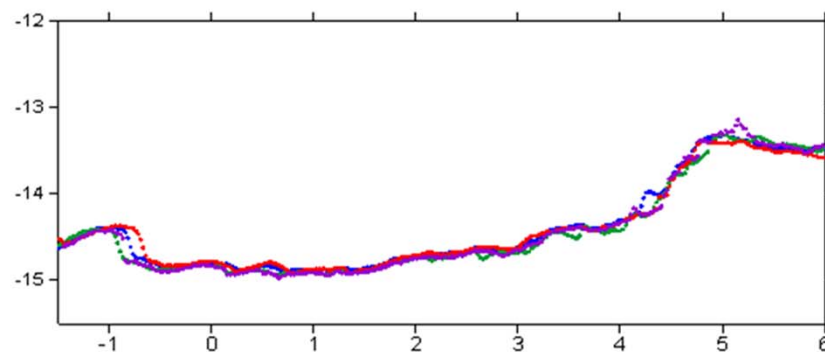
緑: DSC

青: Mobile

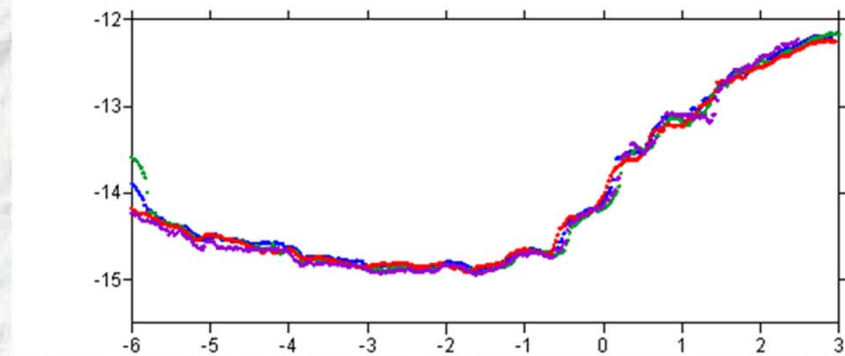
H02



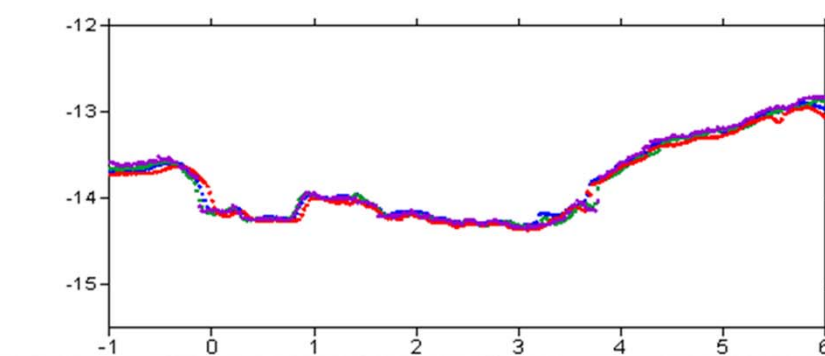
V02



H03



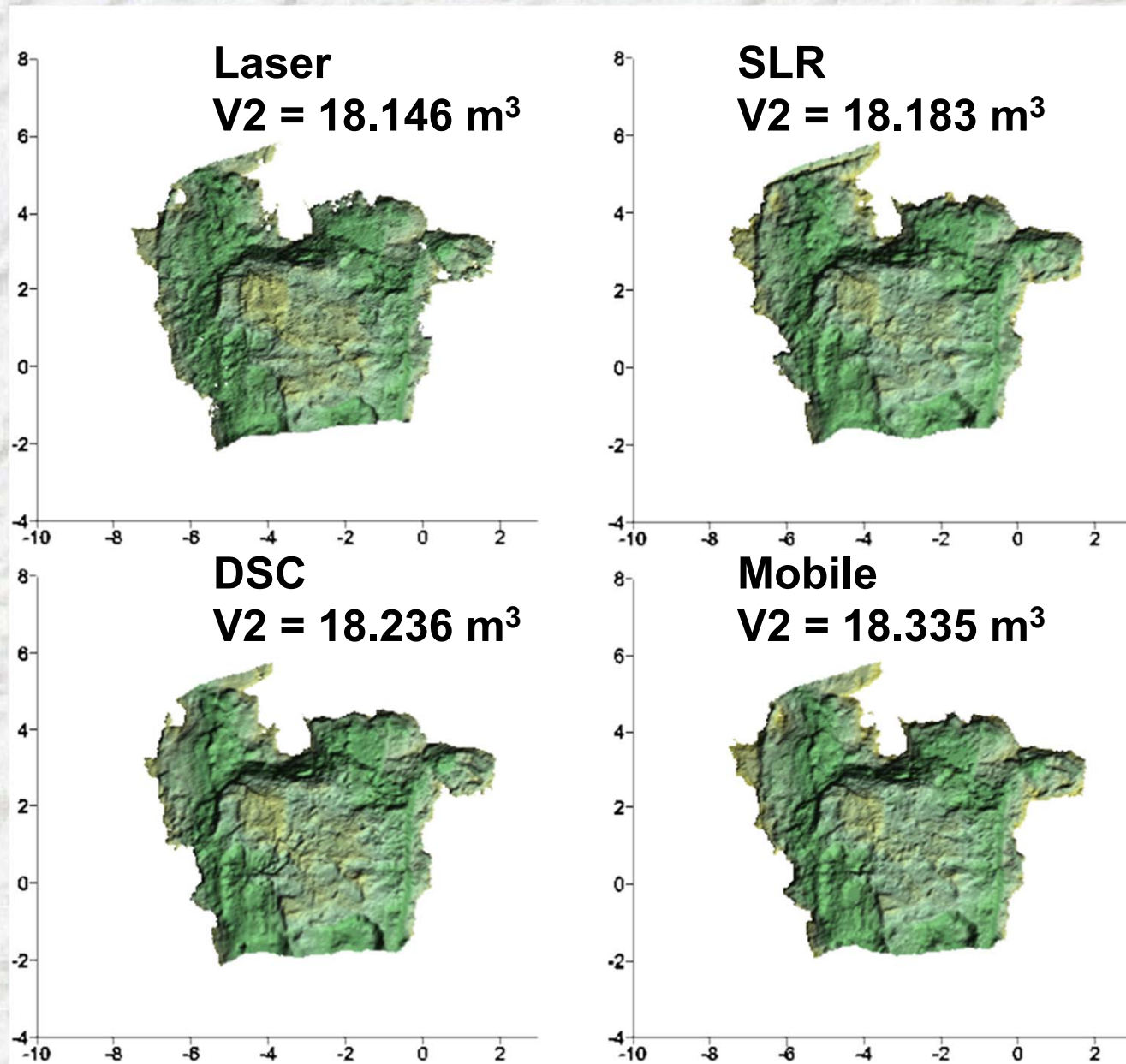
V03



著作権は著者に帰属



• 体積 & 切断面形状 (1.0m) Section shapes at 1.0m



著作権は著者に帰属

# ■ UAVによるデジタル写真測量

## UAVの種類

- ・固定翼
- ・回転翼
- ・飛行船
- ・羽ばたき翼



T-REX550E

全長(mm)	ロター一長(mm)	重量(g)
1,043	1,188	2,800



# • Ar.Drone2.0

## UAVの種類

- ・固定翼
- ・回転翼
- ・飛行船
- ・羽ばたき翼



カメラ	センサー	CMOS 解像度/サイズ	焦点距離 (mm)	全長 (mm)	重量(g)
SOC 1040	1/6CMOS	1280 × 720(9.2M) 2.4 × 1.85 mm	2.85	5300	420



## ■ マルチコプター (Hexa Kopter)



全長(mm)	ロータ長(mm)	重量(g)
900	390	4000

バッテリー・  
カメラを除く



## ・積載量

### カメラ・レンズ・バッテリー

カメラ: Eos Kiss X7

センサー: CMOS

解像度: 5184 × 3456  
1800万画素

センサーサイズ: 22.3 × 14.9mm

重さ: 370g(本体のみ)

レンズ: EF20mm f/2.8 USM

重さ: 405g

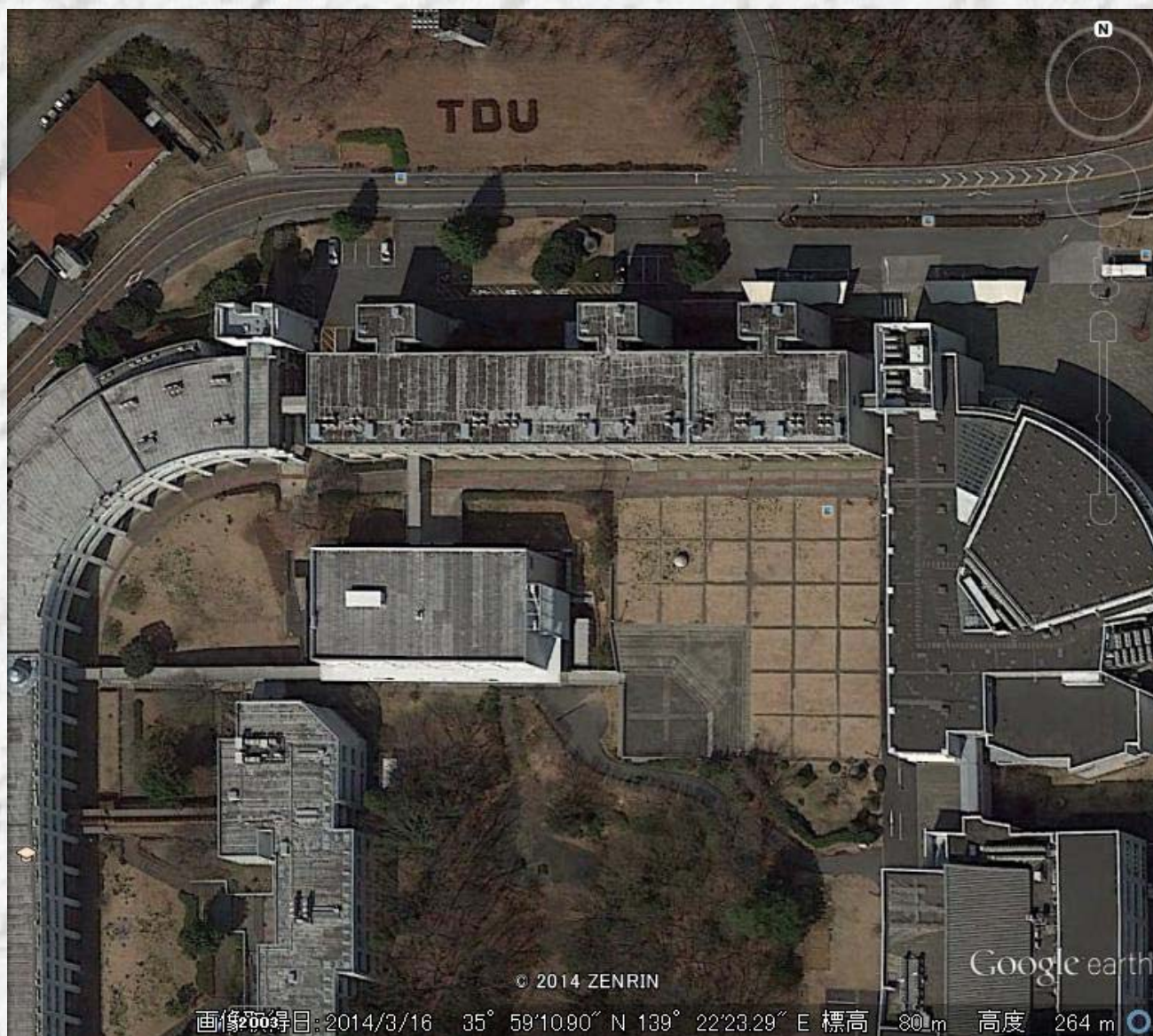
バッテリー: 重さ: 1630g



合計 2450g



# • テスト飛行



著作権は著者に帰属

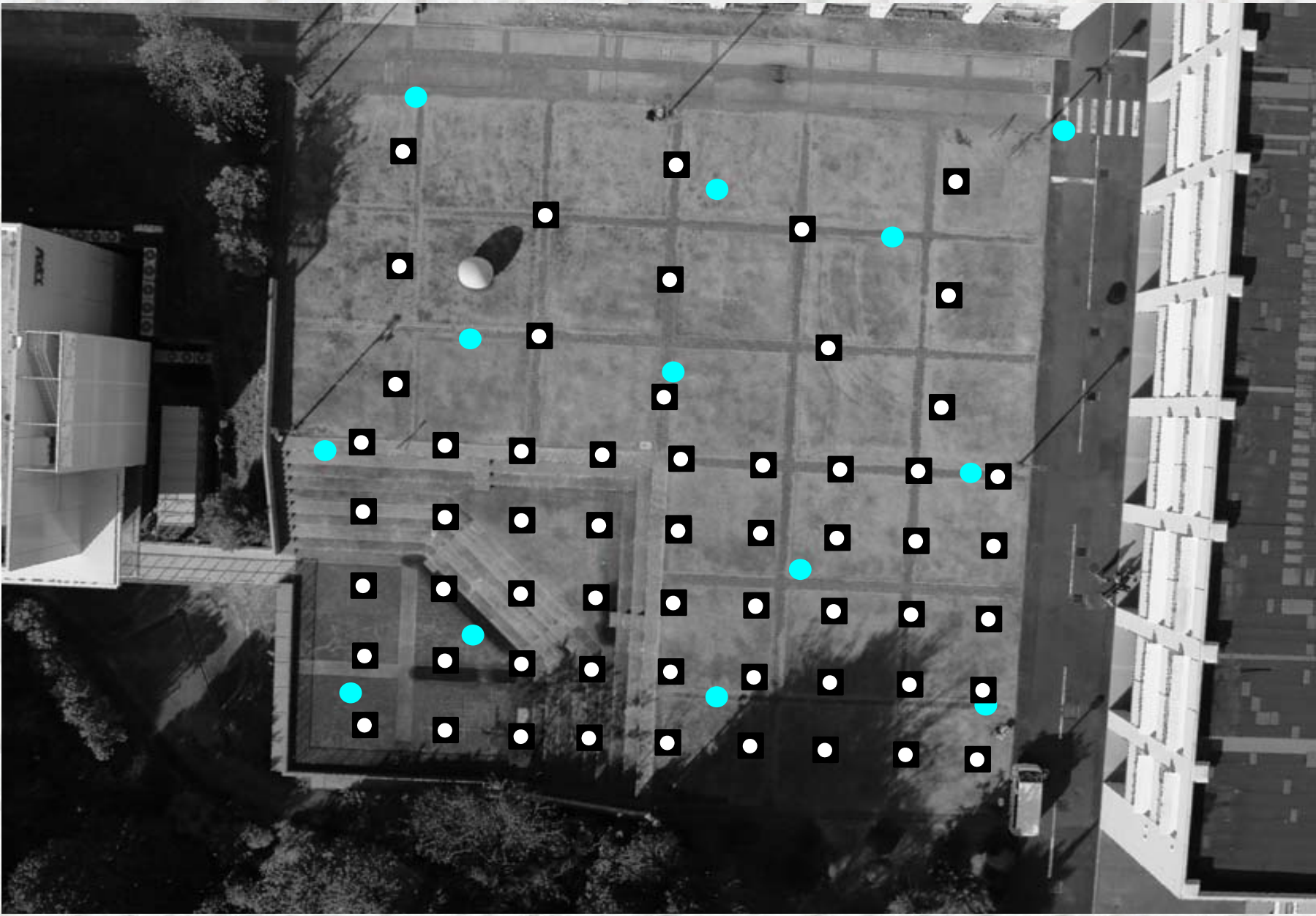


•トリプレット画像  
(H=80m)





# タイポイント & チェックポイント





# 精度

処理時間 15"

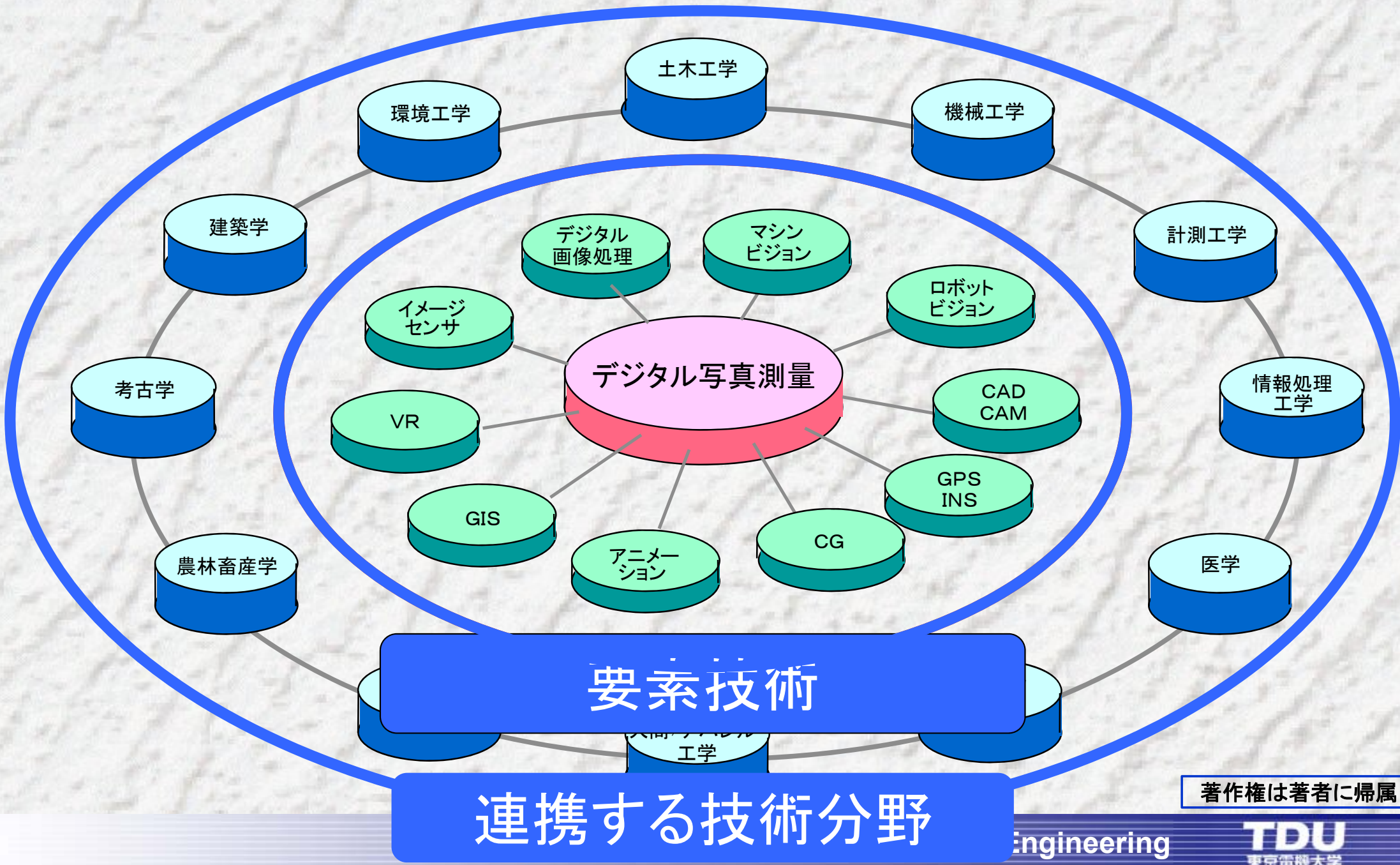
		3DiVision	
H	PA	$\sigma_{XY}$	$\sigma_Z$
82.927m	1/1560	28.246mm	63.983mm

## 数値地形地図データの精度 公共測量作業規定 第80条

地図情報レベル	水平位置の標準偏差	標高点の標準偏差	等高線の標準偏差
250	0.12m以内	0.25m以内	0.5m以内
500	0.25m以内	0.25m以内	0.5m以内
1000			
2500			

著作権は著者に帰属

# デジタル写真測量の応用分野 Application of DP.



著作権は著者に帰属



## ➤ まとめ & 展望 Conclusion and Outlook

1. デジタルカメラにより1級TS並みの精密写真測量が可能となる。
2. カメラ付携帯電話による遠距離写真測量の実用化が期待される。
3. 基準点を不要とする、距離・斜距離を拘束にした簡便的写真測量は工事測量・遺跡測量・メンテナンス等において有効な手法となる。
4. TLS等とのデータフュージョンによる応用分野の発展性が見込まれる。
5. デジタルカメラによる低コストかつ自由度の高い写真測量システムの構築が多くの3D関連分野から期待されている。

デジタルカメラによる写真測量は将来にわたり有益な3D計測手法を提供していくものと期待する。また、「測量」とは観光地でスナップ写真を撮っている風景へと発展していくものと期待する。

著作権は著者に帰属