

本資料は、日本写真測量学会平成30年度秋季学術講演会(2018年11月8日@アオーレ長岡)における発表スライドです。発表論文集とは内容が異なります。

# UAV写真測量のSfMにおける 斜め撮影の導入に関する 基礎的シミュレーション

山口大学 空中測量研究室  
○神野有生・宮崎真弘・八田滉平・福元和真

# 【背景】 小型UAV画像を用いた 地物の測量・3Dモデリング

## ① 標定点の設置・測量



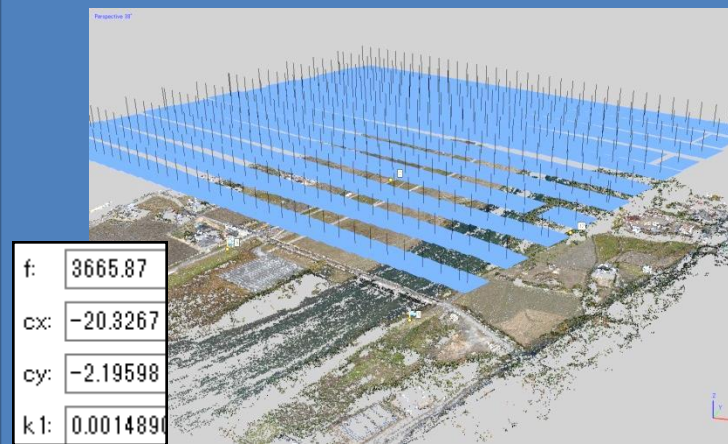
## ② 小型UAV(測位精度低)による空撮



## ④ MVS(密な点群の生成)・ DEM・オルソ画像・メッシュ等作成

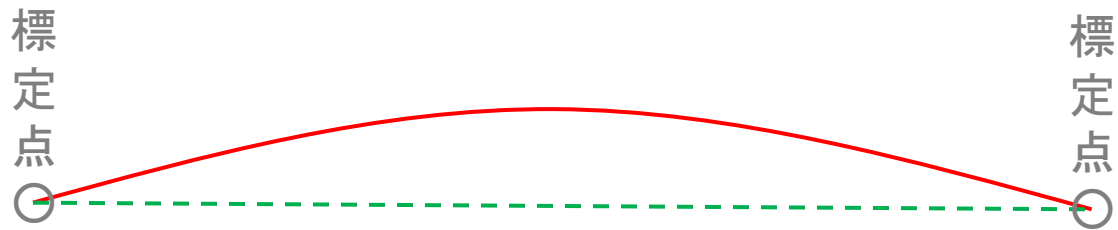
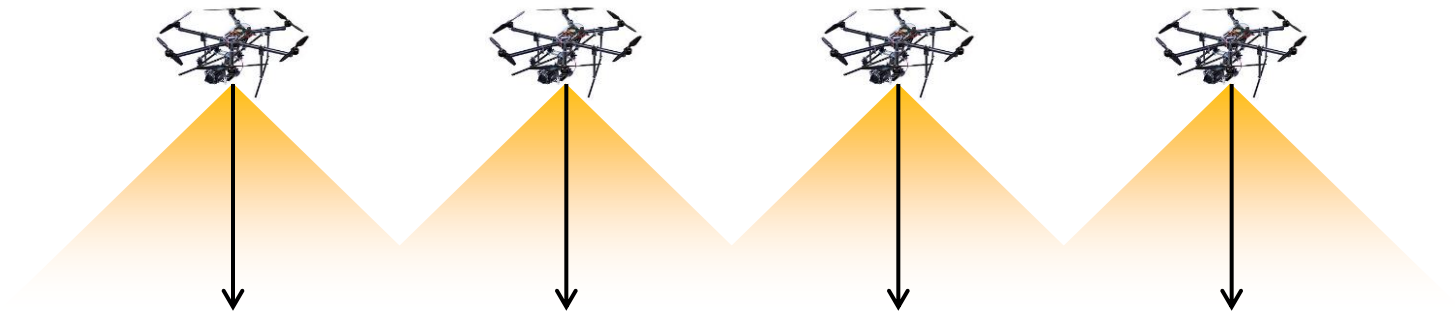


## ③ SfM(カメラパラメータの推定)



# 【背景】 平行撮影の落とし穴

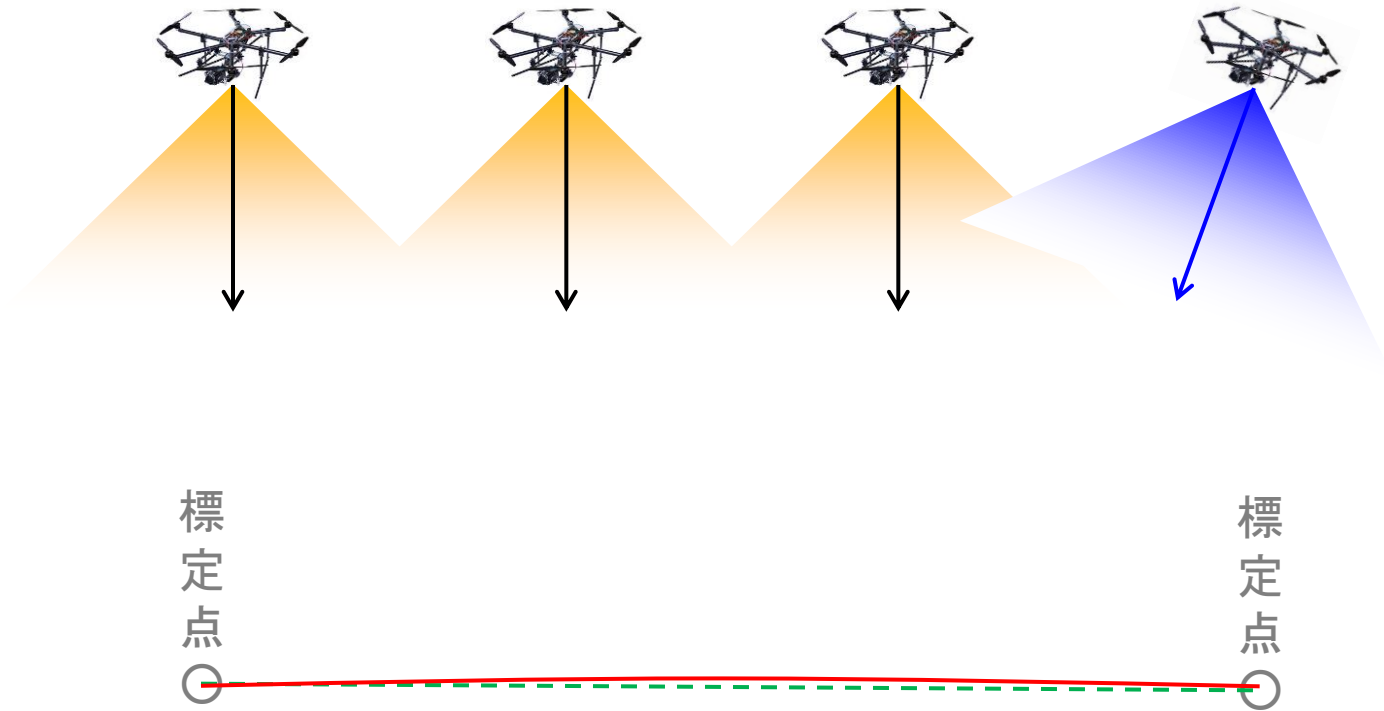
一般に、同高度から鉛直下向きに撮影することが多いが...



内部パラメータ( $f$ ,  $K1$ 等)の推定精度が悪く  
本当は平坦な地形を  
ドーム状など誤った形状に推定してしまう

# 【背景】 斜め撮影導入の効果

一部の画像を傾けて撮影すると…



ドーム状変形などの非線形系統誤差を抑制できる  
(例: James & Robson, 2014)

そこで、斜め撮影の適切な角度・数・配置について、  
(条件の完全な制御と誤差要因の分析が可能な) CGシミュレーションで検討中...<sup>4</sup>

# 今回の発表内容

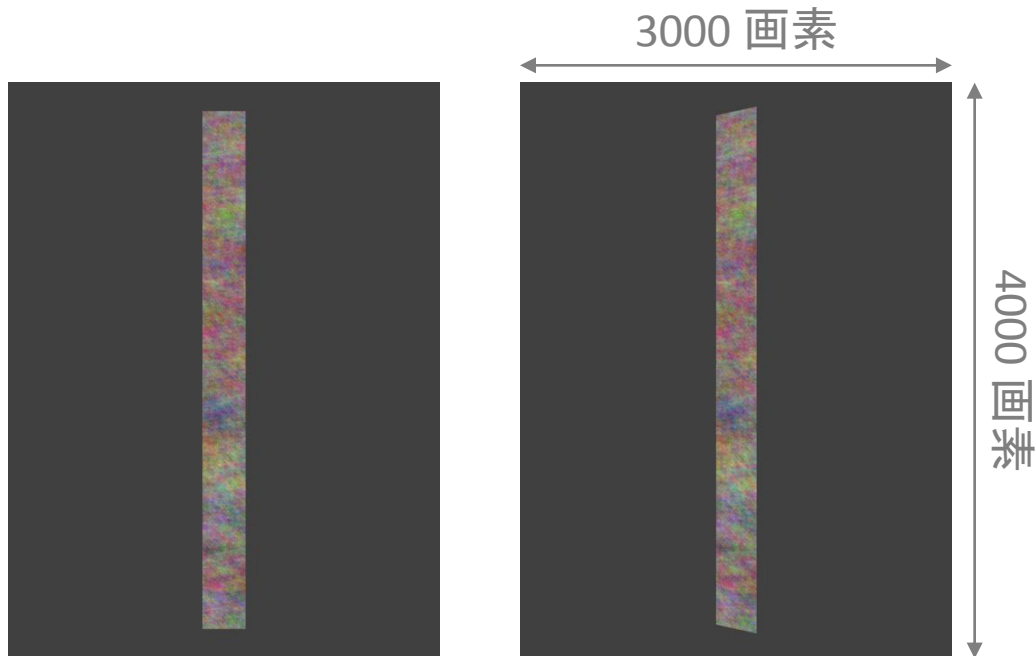
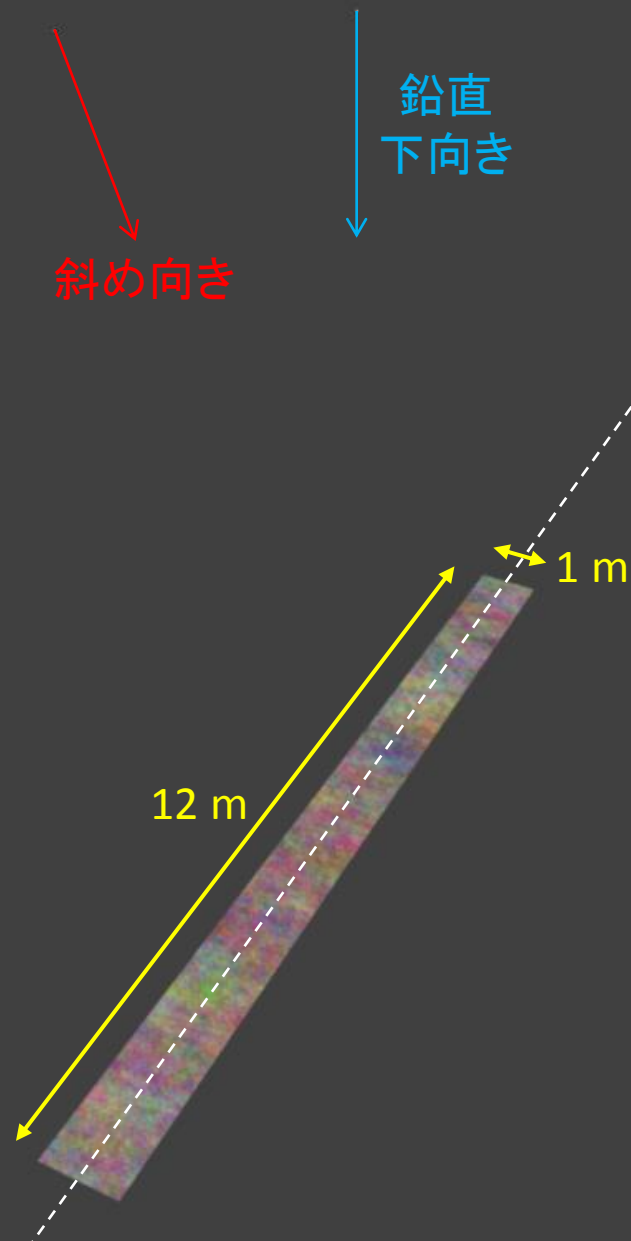
**【実験1(イントロ)】撮影の傾きのマッチング数への影響**

**【実験2(メイン)】傾ける角度とSfMの精度の関係**

# 【実験1】 実験方法 (Blender, openMVG使用)

ランダムなテクスチャを貼った短冊状の面 (1 × 12 m) を, 理想的なピンホールカメラ (4000 × 3000画素;  $f = 3000$ 画素) で, 等距離10 mから

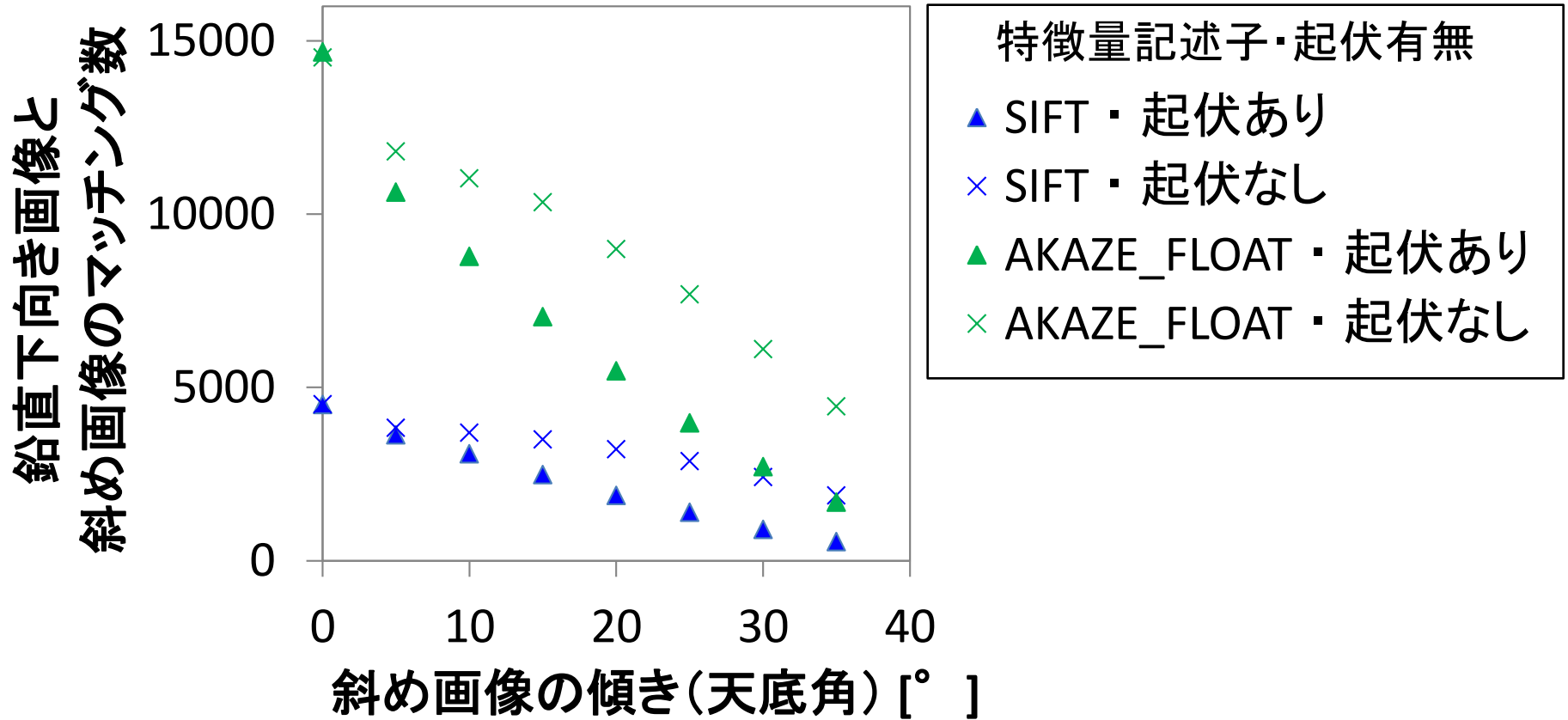
- 鉛直下向きに撮った画像
  - 長軸周りに0~35° 傾けて撮った画像
- の間の特徴点のマッチング数を評価.



鉛直下向き  
に撮った画像

斜め(天底角20°)  
に撮った画像

# 【実験1】 結果：傾きと起伏の悪影響



- 傾きが大きくなるほどマッチング減少 ← 特微量が射影変換に頑健でないため.
- 起伏があるほうがマッチング少 ← 傾きによる見た目の変化が大きいため.

傾きが大きいほど、個々のマッチングの非線形系統誤差抑制効果は大きいので、数と抑制効果のトレードオフにより、SfMの精度に関して**最適な傾きが存在**.

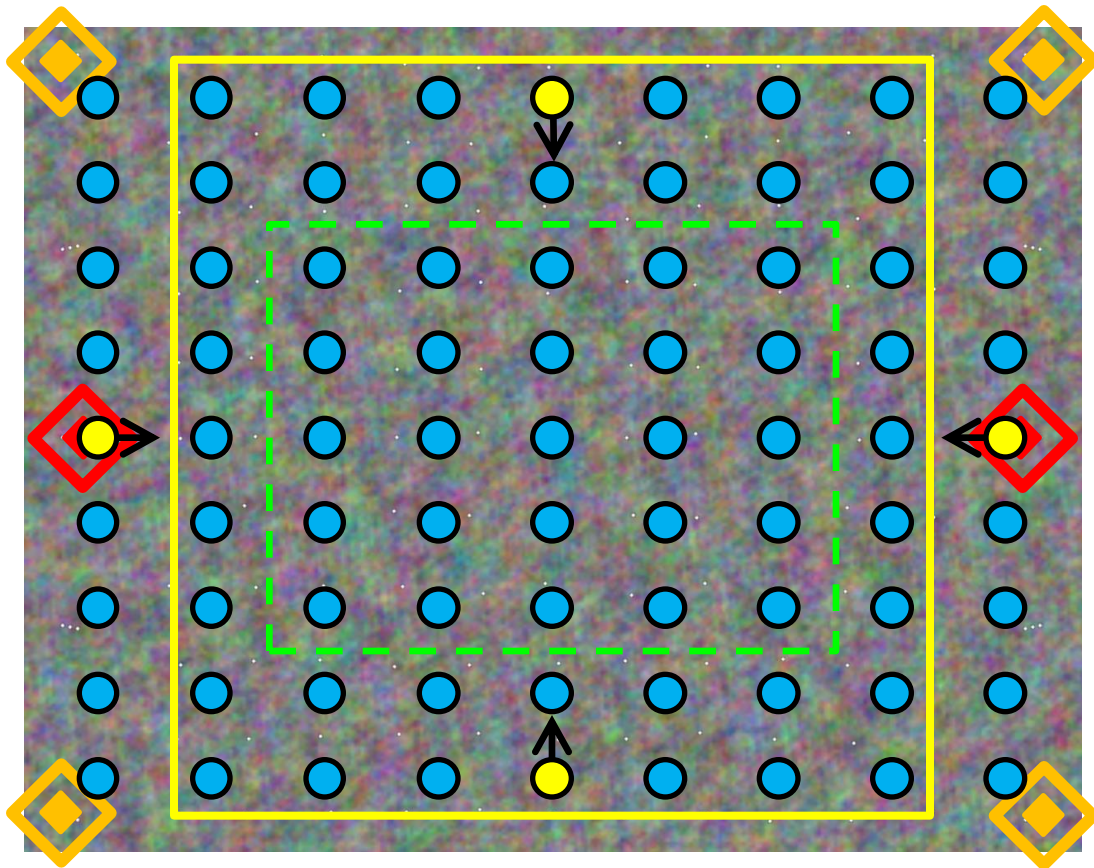
# 今回の発表内容

【実験1(イントロ)】撮影の傾きのマッチング数への影響

【実験2(メイン)】傾ける角度とSfMの精度の関係




# 【実験2】 対象領域と撮影条件




撮影条件	設定値
撮影高度	上空100 m
オーバーラップ率	80 × 80%
画素数	2000 × 1500
画像1枚に写る 平面上の領域	150 × 113 m
内部パラメータ	f = 1333画素 他は0


← ランダムテクスチャを貼ったCG地表面


 : 対象領域 (約200 m四方;  
121点の検証点を配置)

 : 平行撮影の位置 (77点)

 : 斜め撮影の位置 (4点)

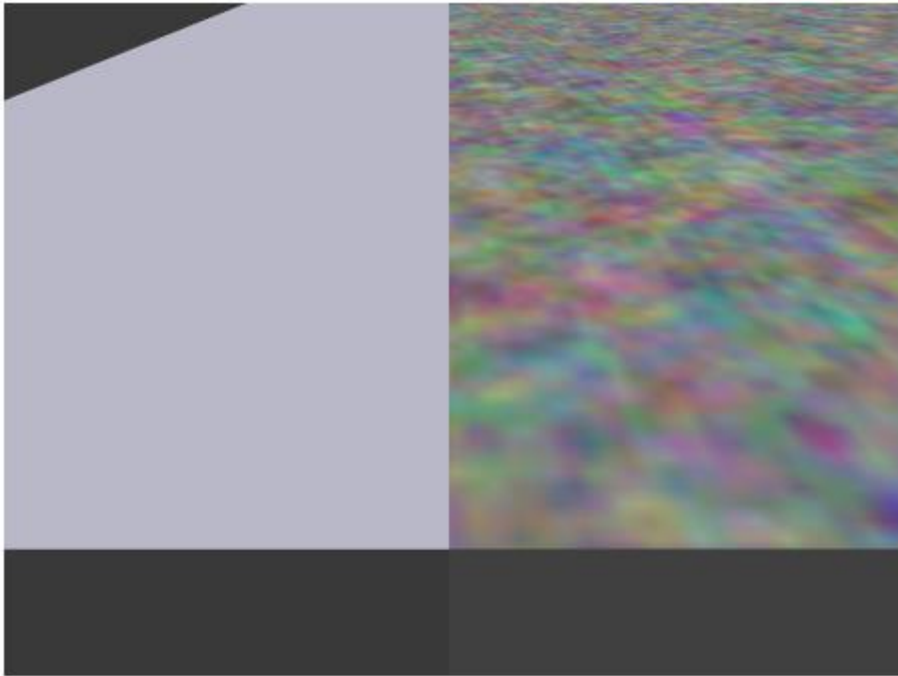
 : 中央の撮影位置の画像に写る  
平面上の領域

 : 標定点 (平面 + 3mの高さ)

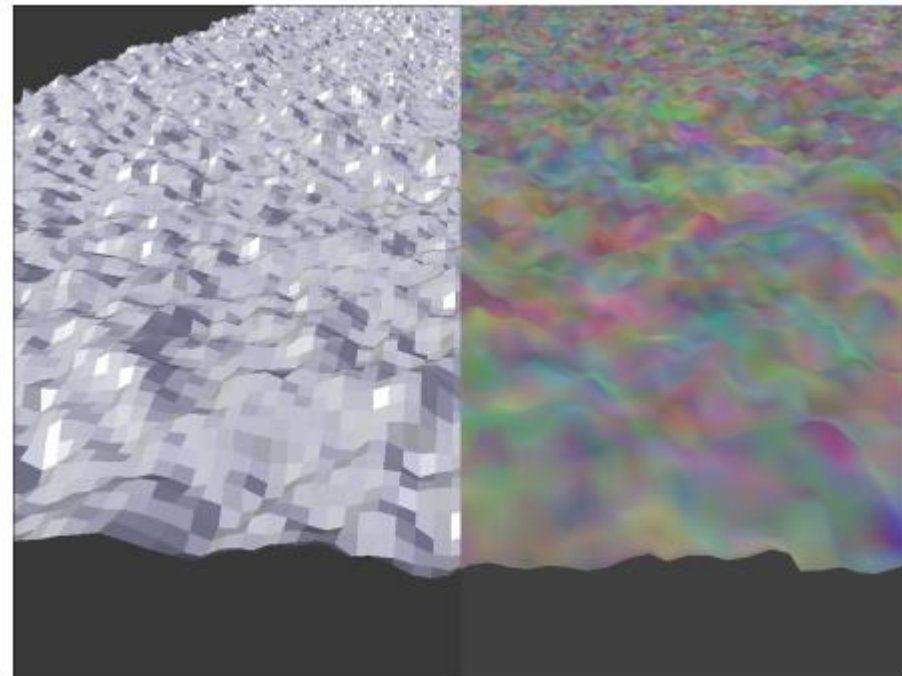
 : 標定点 (平面 + 7mの高さ)

# 【実験2】 2種類のCG地表面を検討

(Blenderで作成)



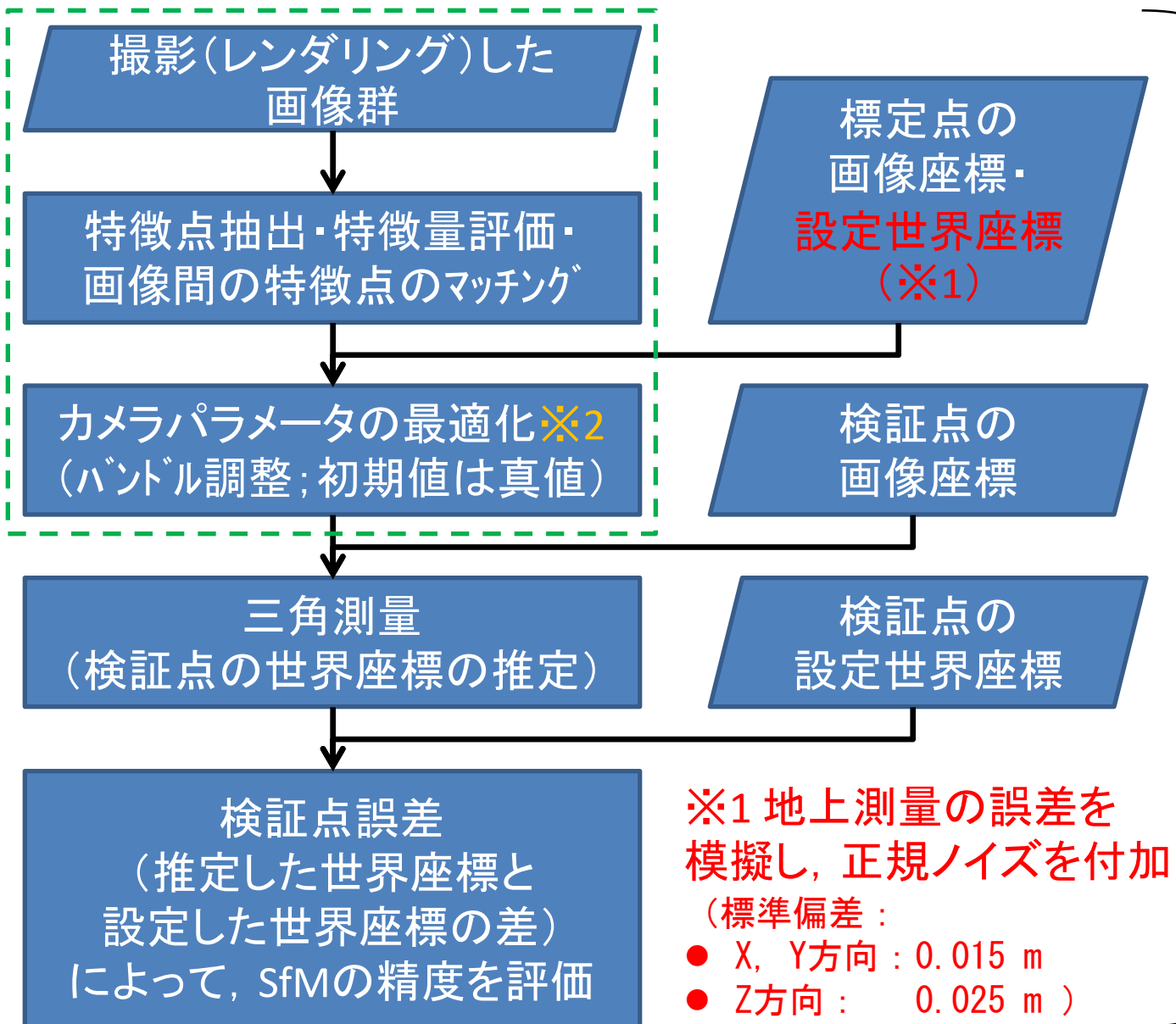
起伏なし  
(完全な平面)



ランダムな起伏あり  
(正規分布;  
z座標の標準偏差0.833 m;  
勾配の標準偏差0.475)

# 【実験2】 解析の流れ (Agisoft PhotoScan使用)

SfM

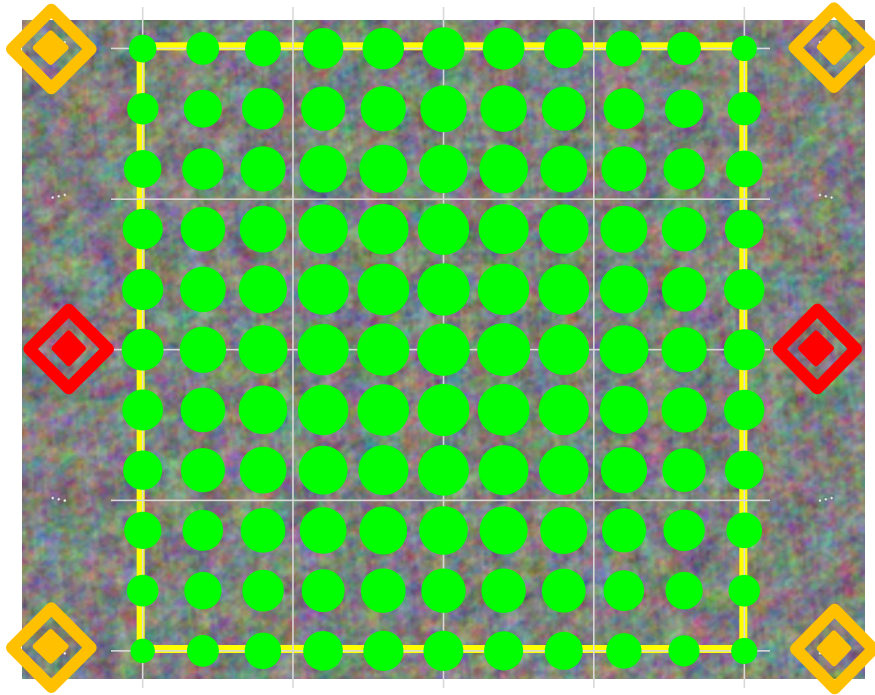


様々な  
斜め撮影4枚の  
傾き(天底角)  
について,  
各100試行実施

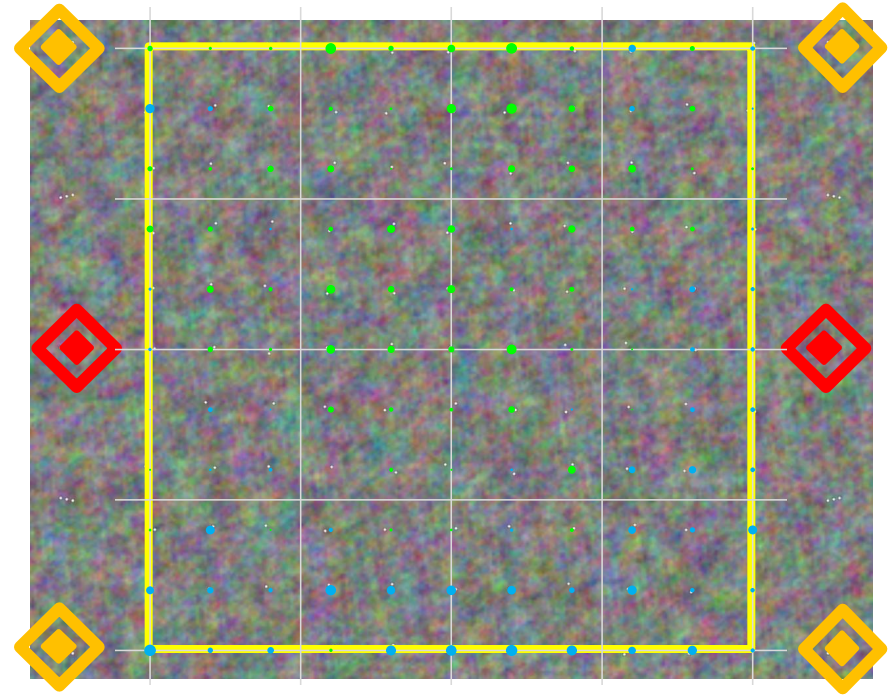
※1 地上測量の誤差を  
模擬し, 正規ノイズを付加  
(標準偏差:  
● X, Y方向: 0.015 m  
● Z方向: 0.025 m)

※2 内部パラメータ:  
f, cx, cy, K1, K2,  
P1, P2を考慮

# 【実験2】 結果: ドーム状変形抑制効果



傾き0度(斜め撮影なし)



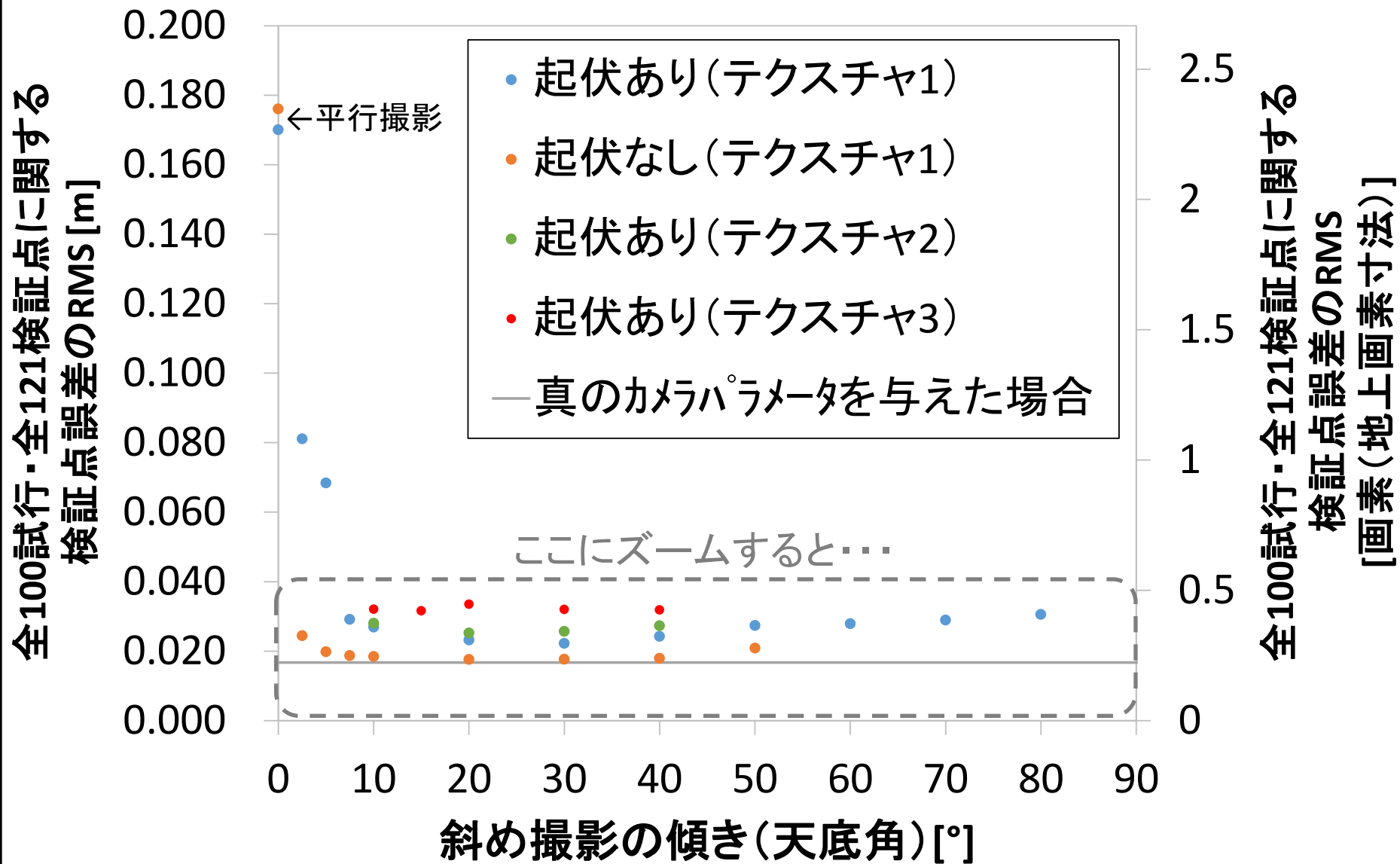
傾き30度(斜め撮影あり)

検証点誤差Z成分  
(100試行の平均)

- 0.20 m
- 0.10 m
- 0.05 m
- 0.01 m
- -0.01 m

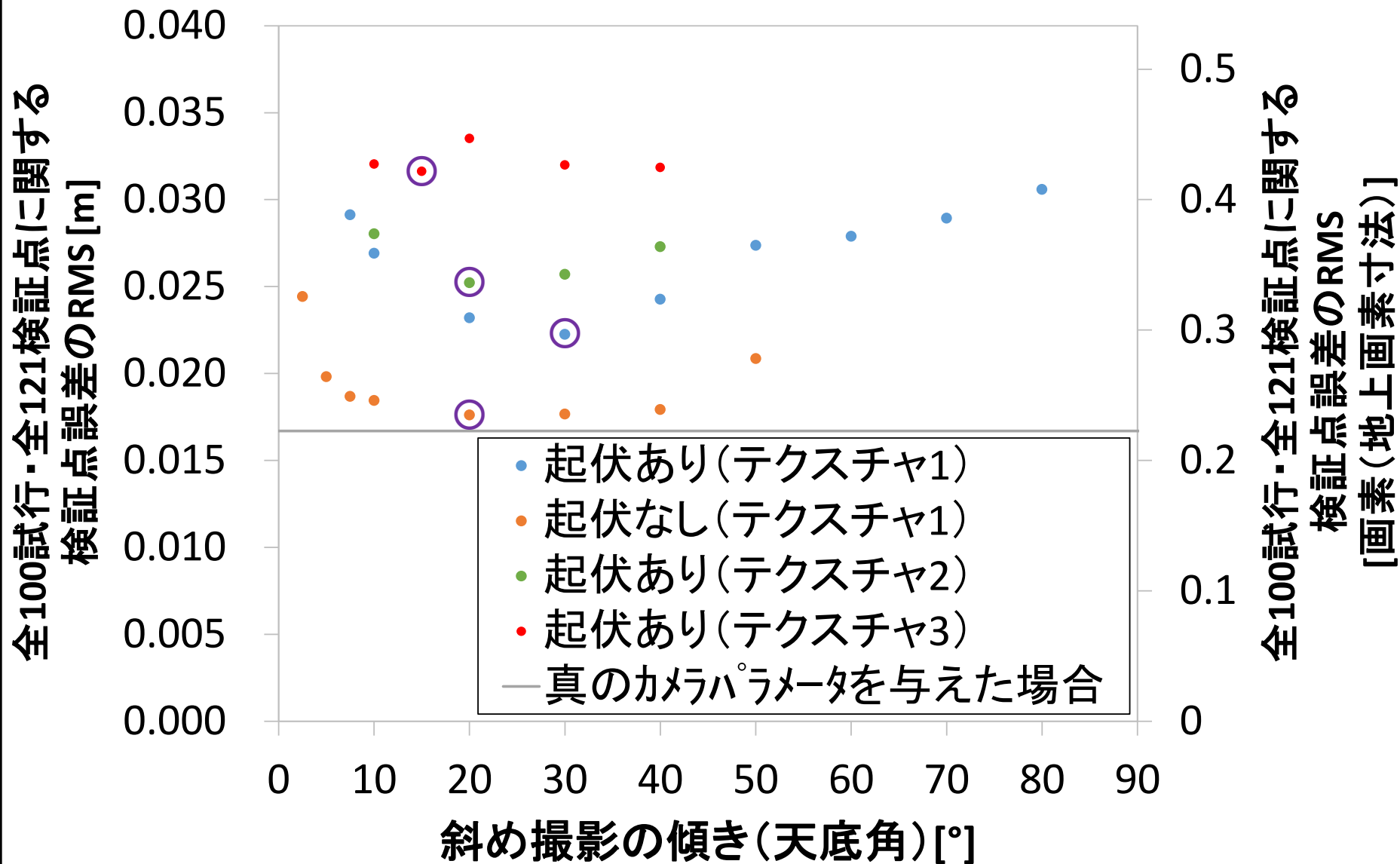
わずか4枚の斜め撮影の導入により、  
ドーム状変形をほぼ完全に解消！

# 【実験2】 結果:色々な条件での精度



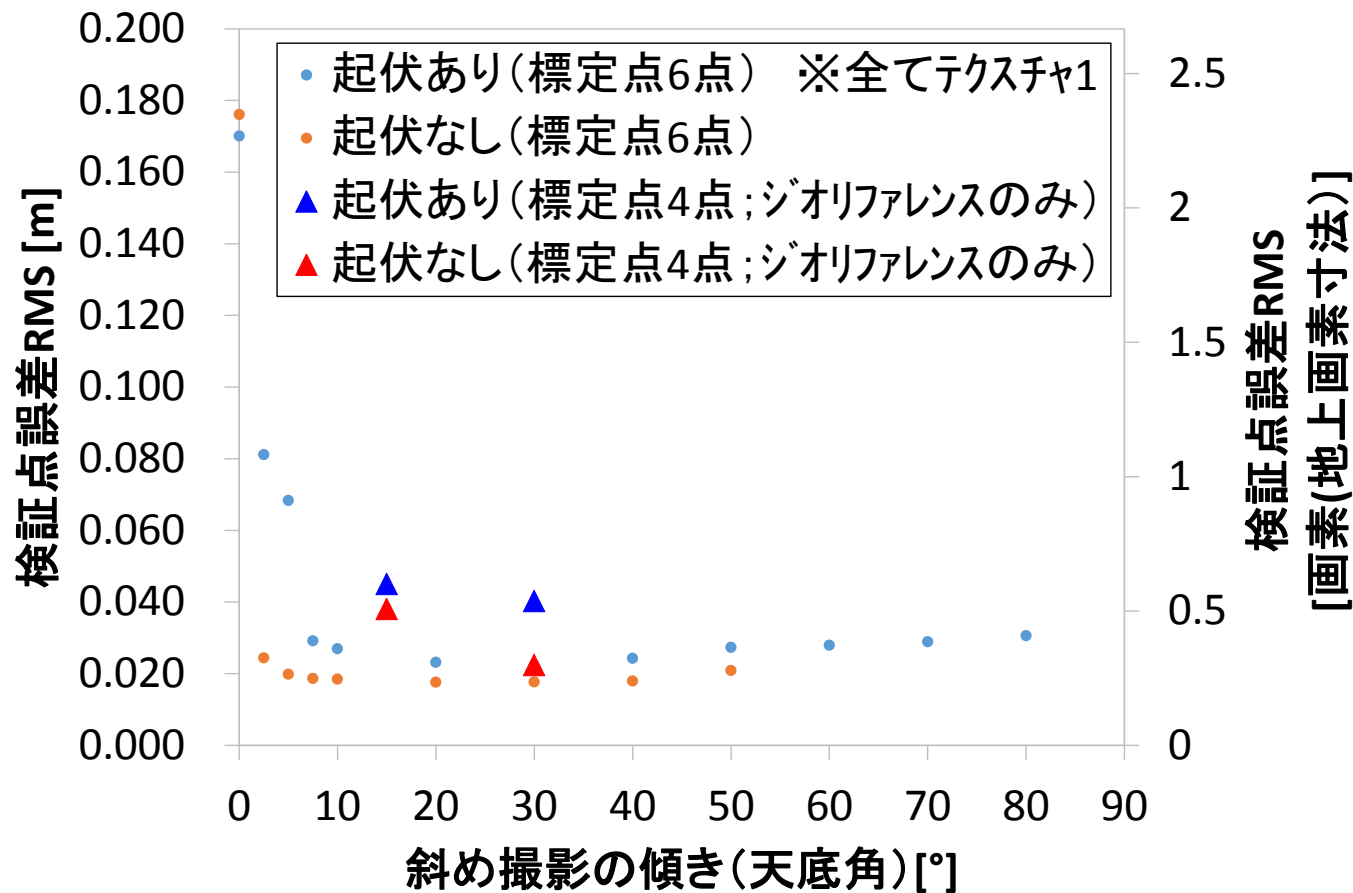
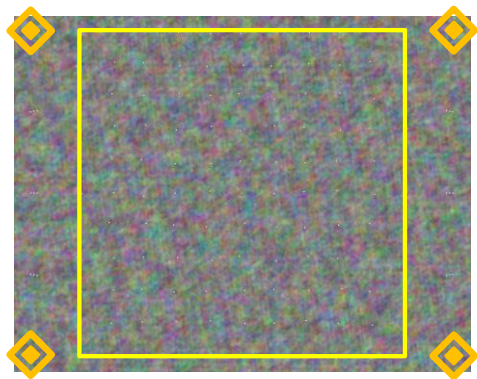
傾き7.5度～40度では、誤差が0.5画素未満(地上画素寸法換算)の圧倒的高精度！

# 【実験2】 結果:最適な傾きは? (ズーム)



最適な傾きは起伏の有無やテクスチャに依存. 今回検討した条件では15~30度.

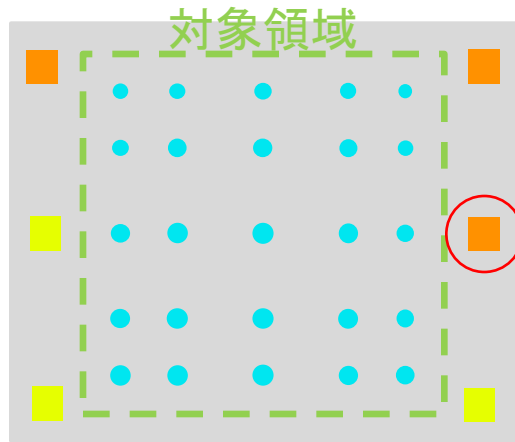
# 【実験2番外】 標定点は4隅だけでOK！



標定点を同一平面上の4隅のみに置き、  
ジオファレンスのみに用いた場合でも、  
検証点誤差RMSが0.045 m(0.60画素)以下の高精度！

# 【類似の実験例※】 平行撮影のリスクと斜め撮影の効果

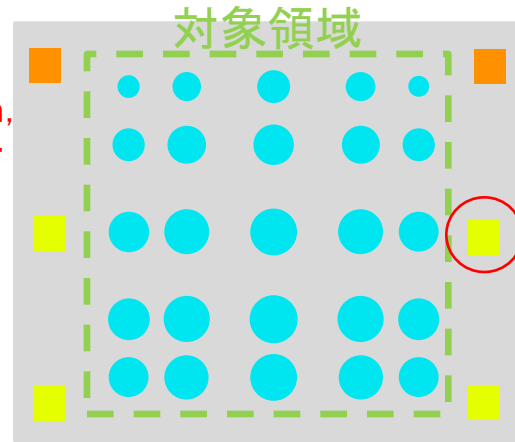
平行撮影のみ



検証点誤差RMS: **0.052 m**

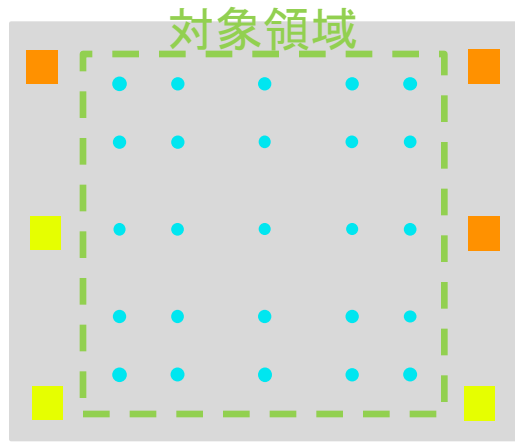
標定点1点を  
僅かに(水平3 m,  
鉛直2 m)動かす  
だけで...

誤差4倍超に!

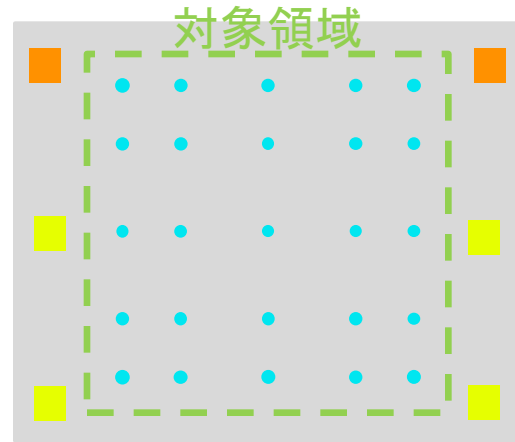


検証点誤差RMS: **0.227 m**

斜め撮影あり  
(5° × 4枚)



検証点誤差RMS: **0.019 m**



検証点誤差RMS: **0.020 m**

81枚中4枚を  
5° 傾ける  
だけで...  
誤差1/11に!



■ 標定点 (Z=0m)  
■ 標定点 (Z=2m)

検証点誤差 (100試行に  
関するRMS)

- 0.15m
- 0.10m
- 0.05m

※ 実験2のテクスチャ1・起伏なしの場合と  
標定点配置・検証点高さのみ異なる実験。



# 結論

本シミュレーションと同様の条件で撮影する場合には、

通常の下向き平行撮影に、

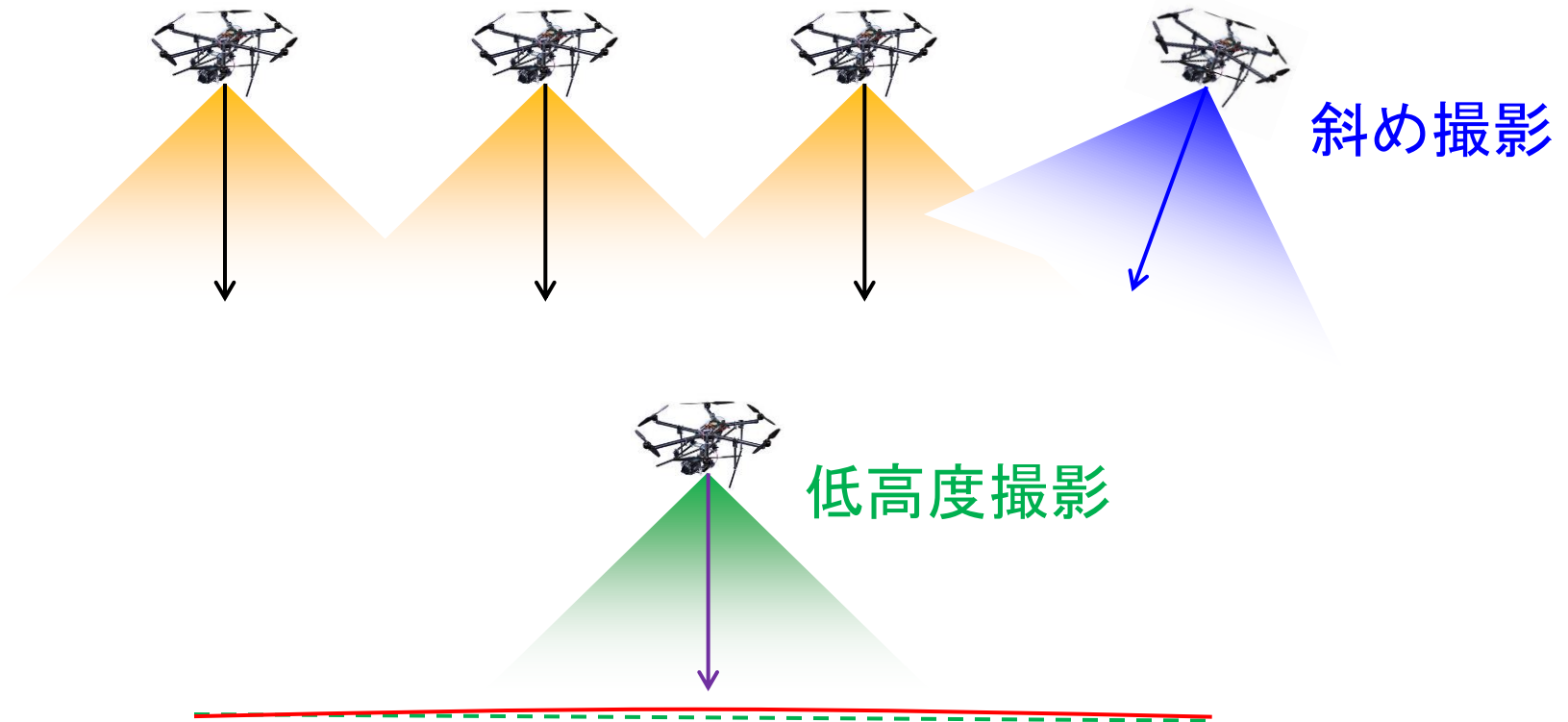
少数枚(5%程度)、 $15\sim 30^\circ$  傾けて撮った画像を含めるだけで、ドーム状変形などの非線形系統誤差を解消できる。

斜め撮影を導入した場合、

カメラパラメータは標定点なしで高精度に推定可能であり、(要求精度にもよるが)

標定点はジオリファレンスのためだけに必要となるため、対象領域4隅に置けば十分となる。

# 【付録】 撮影位置を高精度に測れるUAVを使う場合に 標定点をゼロにするための撮影戦略案



カメラパラメータの推定を高精度化する斜め撮影に加え、  
ジオリファレンスを高精度化するための低高度撮影を織り交ぜれば、  
標定点なしでも誤差数 cmを達成可能か(今後要検証).