

地理空間情報技術による森林の計測 ～リモートセンシングとGNSSを中心に～

話題1：点群を用いた衛星データの影の補正

話題2：GNSS測量における面積の精度指標

三重大大学・工学研究科
情報工学専攻
松岡真如

2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



1. 自己紹介

松岡真如（まつおかまさゆき）

- ・三重大学大学院 工学研究科 情報工学専攻（准教授）
～2020年度 高知大学農林海洋科学部
～2005年度 総合地球環境学研究所
～2002年度 宇宙航空研究開発機構
～1999年度 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
- ・日本写真測量学会、日本リモートセンシング学会
地理情報システム学会、日本森林学会 など
- ・群馬県出身

専門：

- ・光学センサによるリモートセンシング(主に衛星)
- ・測量と地理情報システムを少し
- ・データサイエンスをほんの少し

2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



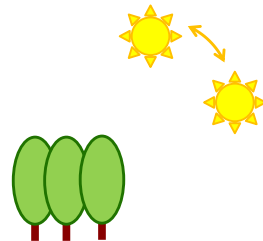
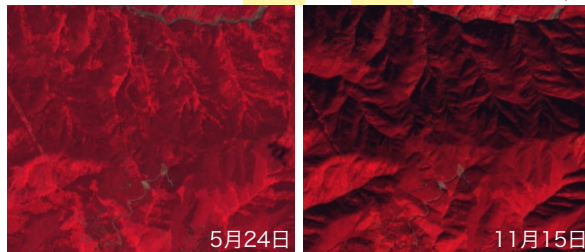
背景と目的

衛星で観測する森林の反射率には影が含まれている

- ・似たような森林でも北斜面と南斜面で異なって見える } 解析の障害
- ・植生の季節変化が分かりにくい

影の主な原因は **地形** と **樹冠**

(樹冠による影は平地でも生じる)



近年、三次元計測が容易になってきた（SfM, LiDARなど）

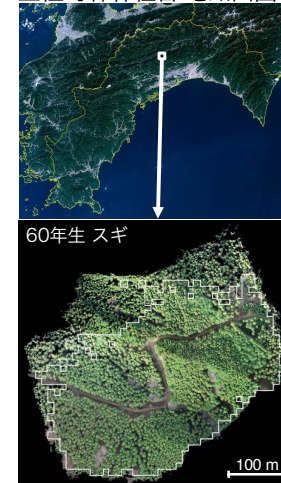
目的：三次元点群モデルを用いて針葉樹林の影を補正

2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



調査地と材料

高知県土佐町
土佐町森林組合 毛知田団地



UAV：DJI Phantom 4 pro v2

SfM：Pix4Dmapper

衛星：Sentinel-2/MSI Level 1C

バンド：3(緑), 4(赤), 8(近赤外)

空間解像度：10m

データ数：20シーン

データの観測日

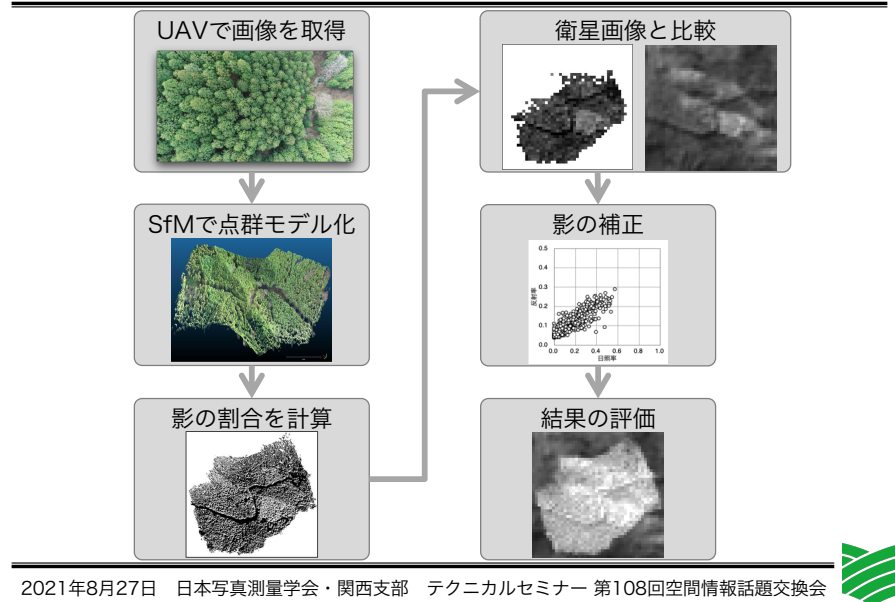
Date and Sensor	Date and Sensor
1/14/2019 A, 1/29/2019 B	7/13/2018 B
2/13/2019 A, 2/23/2019 A	8/ 2/2017 A, 8/17/2018 A
3/15/2019 A, 3/20/2019 B	9/16/2019 B
4/29/2018 A, 4/ 4/2019 A	10/ 1/2018 B, 10/16/2019 B
5/ 4/2019 A, 5/24/2019 A	11/ 5/2019 B, 11/20/2019 A
	12/25/2018 A, 12/15/2019 B

2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



方法：概要

5



方法：画像の取得と三次元モデル化

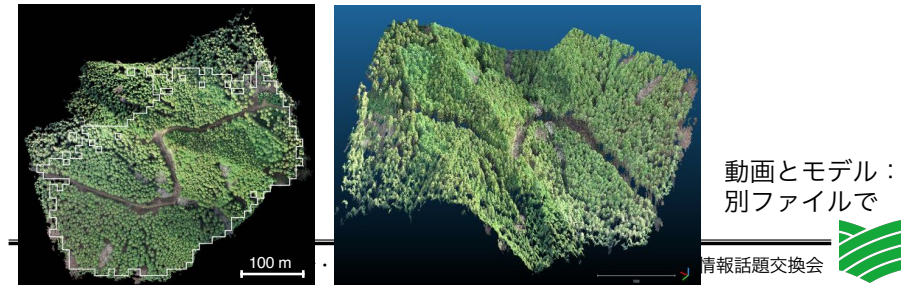
6

UAVによる観測

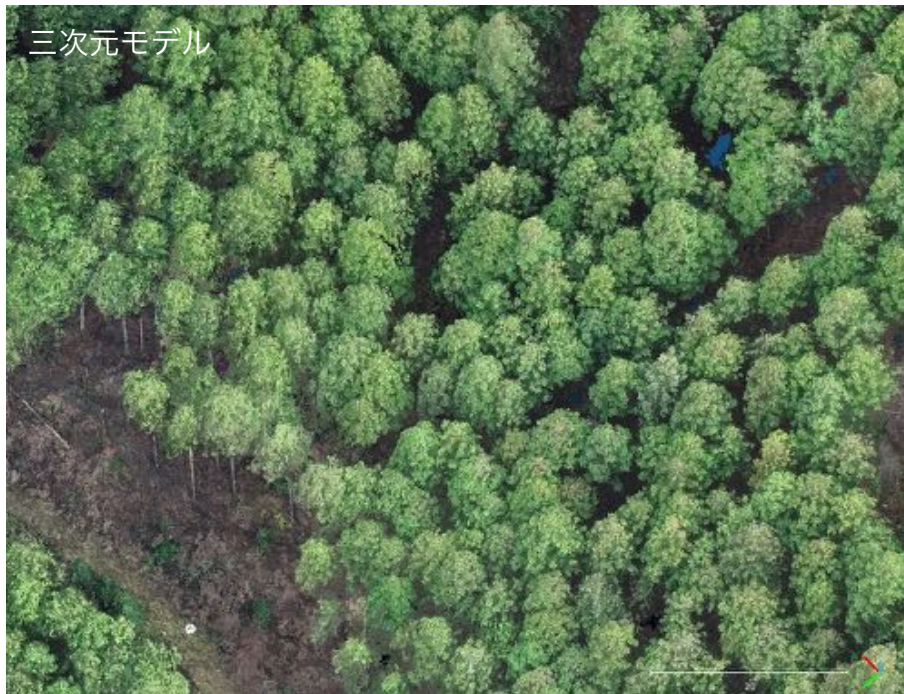
2018年12月8日、9日 動画を撮影
15分 × 2フライト 画像サイズ：3840 × 2160
地上基準点を設置（GNSSとトータルステーションで測量）

SfMによる三次元モデル化

30フレームごとに静止画を抽出(= 1秒間隔)
1726枚の画像を使用 出力された点群数：約5億6千万点
地上基準点をGNSSで測量して絶対座標に変換



三次元モデル

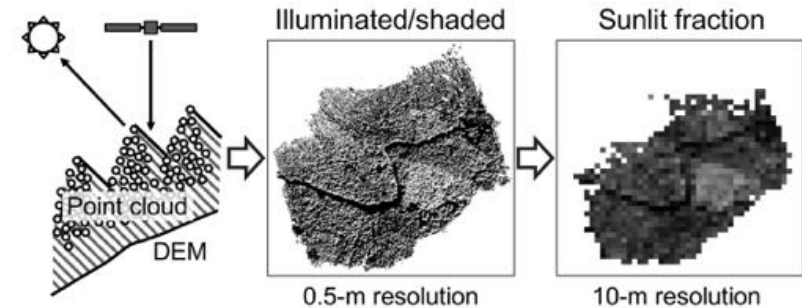


方法：日照率の計算

8

日照率：衛星画素(10m)における日照の面積の割合 (1 - 影の割合)

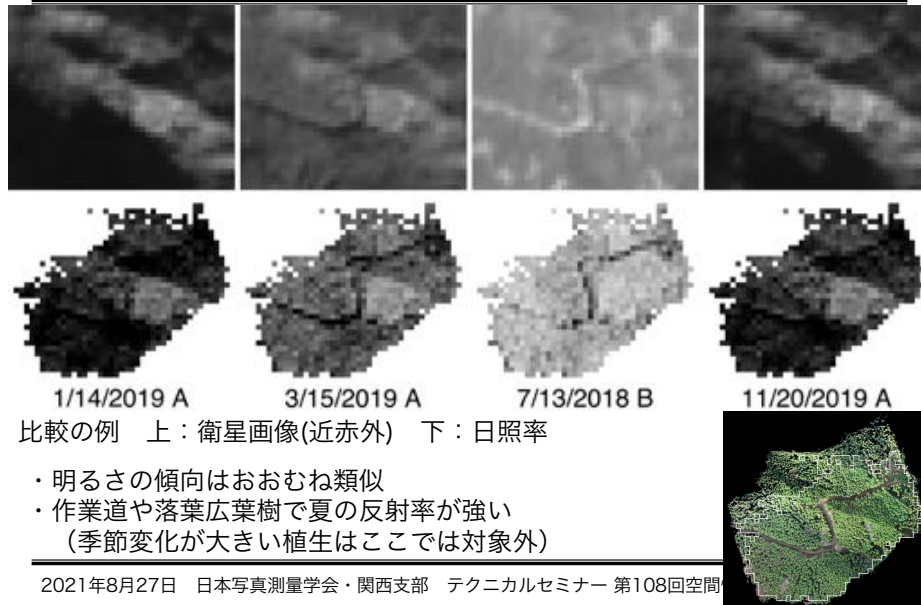
- ・ 解像度10mの画素を0.5mのサブグリッドに分割 (20×20個)
- ・ サブグリッドごとに日照/日影を判定
- ・ 10m画素内の日照の割合を計算



- ・ 点群の点に半径を設定 (球) 10cmとした
- ・ 衛星の観測時刻における太陽と衛星の位置を決定
- ・ 衛星からサブグリッドの中心へベクトルを伸ばし、最初に衝突する点群を決定
- ・ 衝突した点から太陽にベクトルを延ばす
⇒ 他の点群に衝突したら日影、しなければ日照

方法：衛星画像との比較

9

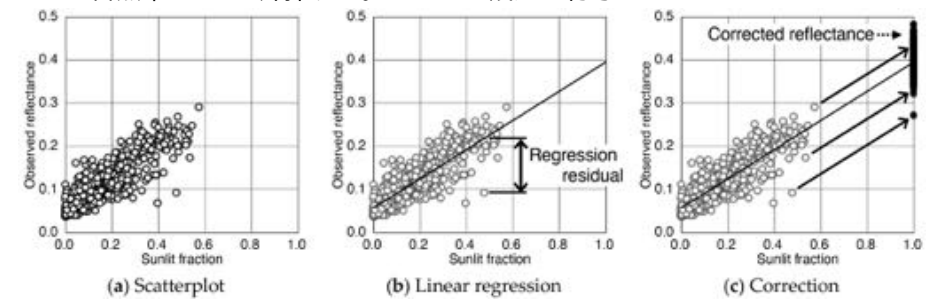


方法：影の補正 (方法1)

10

シーン単位の補正

- ・各時期のシーンごとに日照率と反射率の散布図を作成
- ・線形回帰する。このとき残差を計算
- ・日照率1.0まで外挿する。このとき残差を付与



評価

- ・画像の見た目で評価
- ・反射率の季節変化で評価

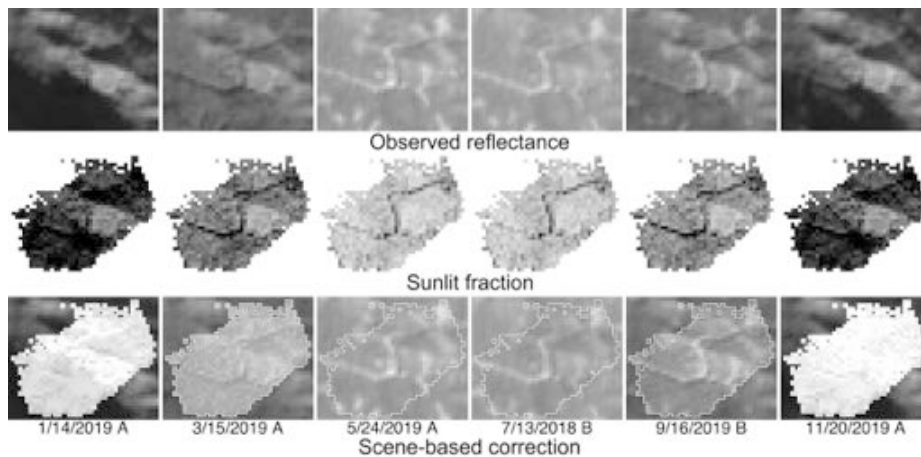
2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



結果

11

補正結果の例 上：衛星画像(近赤外) 中：日照率 下：補正後の反射率



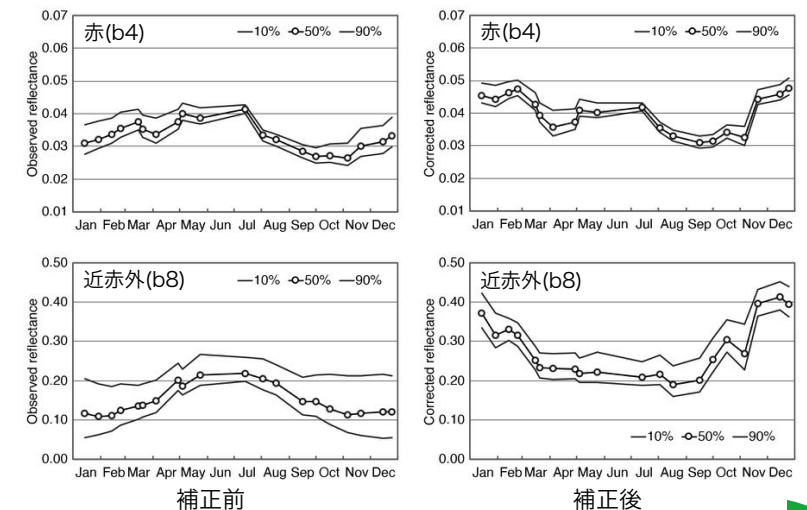
- ・冬の反射率が大きく過剰補正
- ・夏の画像はほとんど変化なし
- ・春と秋は地形の影響が軽減されている



結果

12

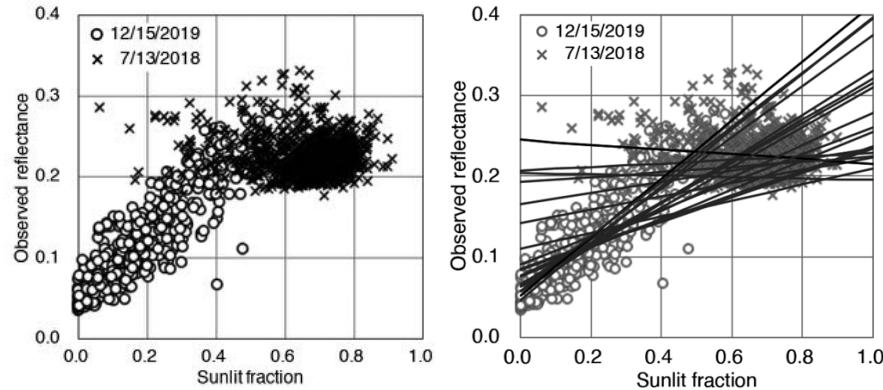
時系列の比較：パーセンタイル



2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



シーンごとの散布図

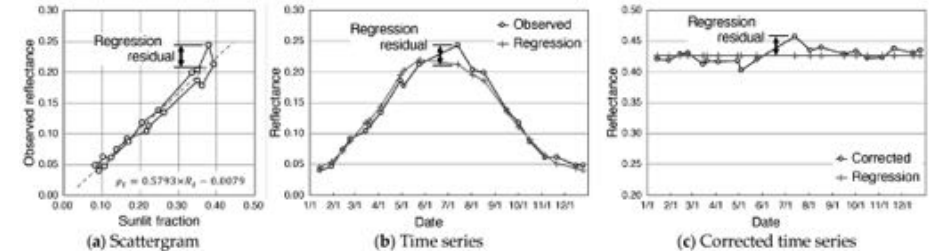


- ・冬は日照率が低くて傾きが大きい ⇒ 大きく外挿
- ・夏は傾斜がほとんど無い ⇒ 変化しない



画素単位の補正

- ・常緑針葉樹林は反射率の季節変化が小さいと仮定
- ・時系列データを用いて画素ごとに日照率と反射率の散布図を作成
- ・線形回帰する。このとき残差を計算
- ・日照率1.0まで外挿する。このとき残差を付与

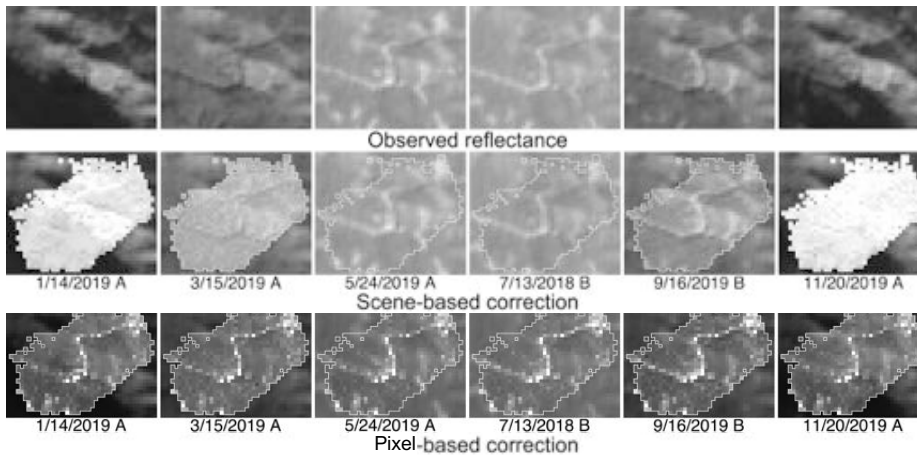


評価

- ・画像の見た目で評価
- ・特定の位置の反射率の季節変化で評価



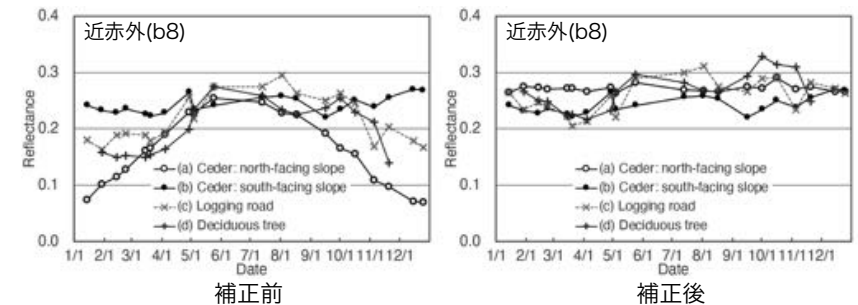
補正結果の例 上：衛星画像(近赤外) 中：シーン単位の補正 下：画素単位の補正



- ・冬の過剰補正は抑えられる
- ・地形の影響がなくなっている
- ・季節変化のある植生には使えない



四つの画素の時系列



- ・南向きと北向きの針葉樹は同じ程度の反射率に
- ・作業道(草地)と落葉樹は季節変化が消えてしまう

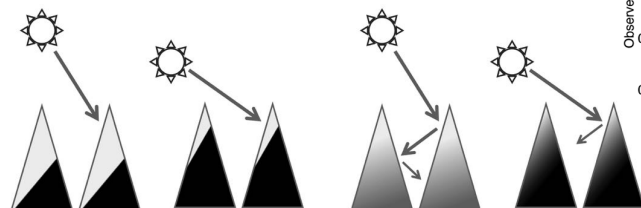
補正手法の比較

- シーン単位の補正：汎用性が高いが冬に過剰補正
- 画素単位の補正：補正は妥当そうに見えるが、汎用性が低い



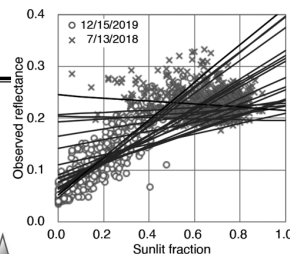
過剰補正の考察

散乱を考慮する必要性



現状：日照/日影の二値判定

改善：樹冠による散乱



樹冠による散乱を考慮すると

- ・冬の傾きが緩くなる
 - ・夏も冬も日照率の変動範囲は小さくなる
- } のではないか?

散乱日射光の影響もあるかもしれないが近赤外ではどうか...

GNSS測量における 面積精度の評価手法の検討

松岡真如¹・木村 穰²・高野一隆³・小野寺栄治¹

1：高知大学・自然科学系

2：林野庁・森林整備部

3：日本森林林業振興会・高知支部

(所属は論文発表時)

小括

まとめ：

- ・点群を用いて影の補正を行った
- ・樹冠による影を補正できる可能性が大きい
- ・樹冠による散乱の影響をモデル化する必要

今後の課題：

- ・樹冠による散乱を考慮した補正
- ・航空機LiDARなどを用いた広域への展開

謝辞：

- ・調査地は土佐町森林組合にご提供いただきました。
- ・本研究は科研費（17K07843, 17H01933, 19H05583）助成を受けました。

参考文献：

Matsuoka, M., Moriya, H., Yoshioka, H. 2020. Correction of canopy shadow effects on reflectance in an evergreen conifer forest using a 3D point cloud. Remote Sensing, 12(14), 2178. DOI: 10.3390/rs12142178.

背景

- ・GNSSは容易に位置を知ることができる。
- ・位置座標から面積を求めることもできる。
- ・面積の精度はどれくらい？



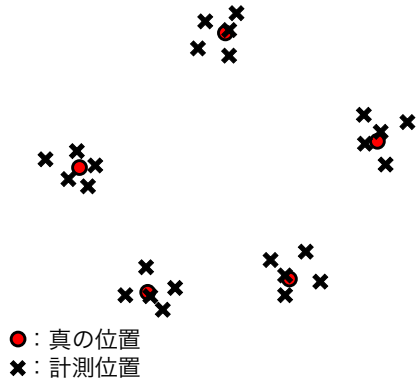
面積の精度がわかれば便利ではないか？

GNSSによる周囲測量

面積の計算：座標法

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (e_i n_{i+1} - e_{i+1} n_i) \right|$$

(e_i, n_i) : i 番目の測点の座標



- ・必ず位置誤差が含まれる
- ・面積も誤差を持つ
- ・多数回計測したと考える
- ・位置誤差が小さければ
面積誤差も小さい
- ・位置誤差が大きければ
面積誤差も大きい

目的：位置誤差と面積誤差との関係を解析し、
面積精度の評価手法を検討する

$$\text{真の面積 } S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (e_i n_{i+1} - e_{i+1} n_i) \right| \quad (\Delta e_i, \Delta n_i) : i \text{ 番目の測点の位置誤差}$$

$$\text{計測面積 } S' = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N \{ (e_i + \Delta e_i)(n_{i+1} + \Delta n_{i+1}) - (e_{i+1} + \Delta e_{i+1})(n_i + \Delta n_i) \} \right|$$

$$\text{面積誤差 } \Delta S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N \{ (e_i + \Delta e_i)(n_{i+1} + \Delta n_{i+1}) - (e_{i+1} + \Delta e_{i+1})(n_i + \Delta n_i) \} \right| - \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (e_i n_{i+1} - e_{i+1} n_i) \right|$$

多数回計測したと考えると、 Δe_i と Δn_i の標準偏差から ΔS の標準偏差を求める

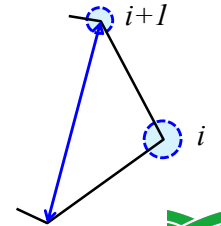
↓ いくつかの仮定をおき、式を解くと...

位置誤差と面積誤差との関係

$$\sigma_S = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \{ (n_{i+1} - n_{i-1})^2 + (-e_{i+1} + e_{i-1})^2 + 2\sigma_{i+1}^2 \sigma_i^2 \}}$$

σ_S : 面積の標準偏差

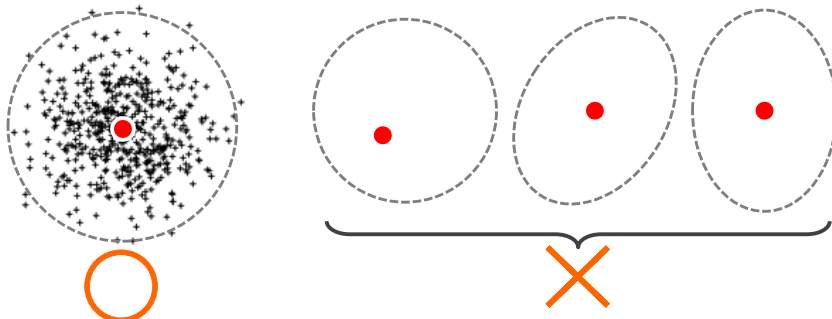
σ_i : i 番目の測点の位置誤差の標準偏差



おいている仮定

全ての測点で、

- ・位置誤差の平均はゼロ
- ・誤差は独立（共分散はゼロ）
- ・東西方向と南北方向で誤差は等しい

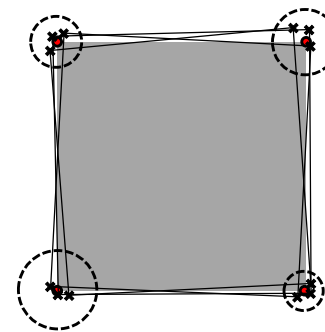


仮定が成立すれば、
面積誤差は位置と位置誤差から正確に計算できる。

数値実験：方法

解析式が実測値と一致するか、数値実験で確認

方法：モンテカルロ法



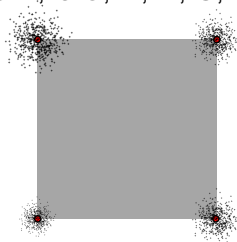
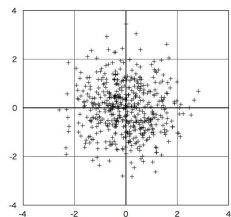
1. 真の座標を決定
2. 各測点の位置誤差の大きさを設定
3. 前述の式で面積の標準偏差を計算
4. 乱数で位置誤差を発生
5. 位置誤差のある座標から面積を計算
6. 4と5を多数回くり返す（10万回）
7. 面積の標準偏差を求める
8. 3と7を比較する

これを様々な設定で繰り返す

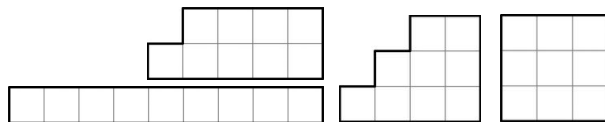
数値実験：設定

25

- ①誤差形状：2次元正規分布 ②位置誤差の標準偏差の最大値：
0.1, 0.5, 1, 2, 3, 6, 9 m



- ③対象地の形状：4種類



- ④大きさ(正方形の一边)：30, 60, 90, 120 m

- ⑤測定間隔：30, 60, 90, 120 m

論文では、さらに
多くの条件で実験

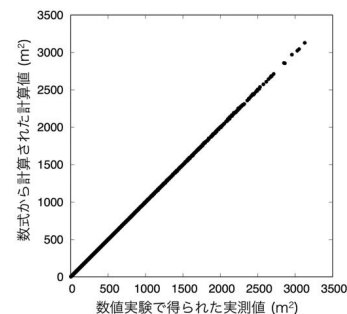
2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



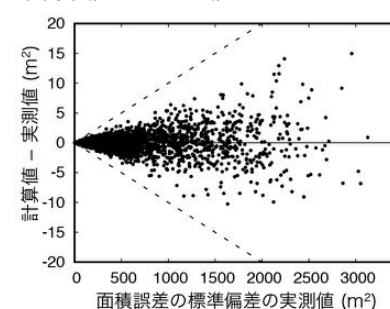
数値実験：結果と考察

26

面積の標準偏差の比較



計算値と実測値との差をみると



- ・式から得られた面積の標準偏差は
数値実験の実測値と良く一致
- ・差は誤差率で±1%以下
- ・差の原因は数値実験の位置誤差が
仮定から少し外れたこと

2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会

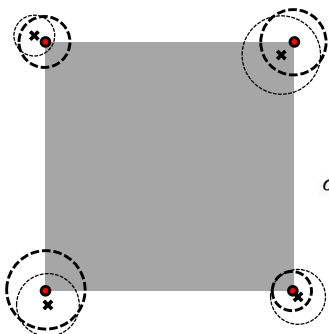


面積精度の評価指標

27

ただし、実際のGNSS測量では

- ・位置と位置誤差の真の値はわからない
- ・位置誤差を表示する機能を有する



計測された位置と位置誤差から
近似値を計算

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \{ (n_{i+1} - n_{i-1})^2 + (-e_{i+1} + e_{i-1})^2 + 2\sigma_{i+1}^2 \} \sigma_i^2}$$

→ 面積測量の精度評価に使用

実用に耐えられる近似なら有益では？

2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会

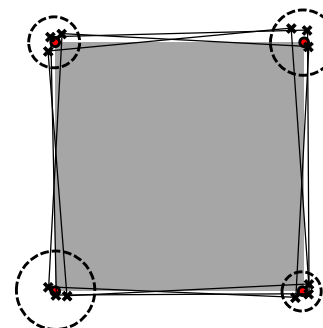


数値実験：方法

28

近似値が実測値と一致するか、数値実験で確認

方法：モンテカルロ法

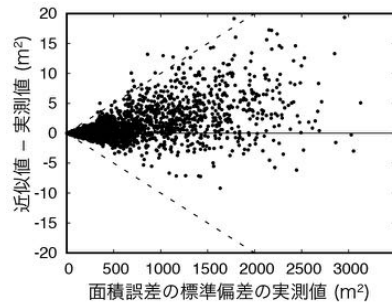


1. 真の座標を決定
2. 各測点の位置誤差の大きさを設定
- ~~3. 前述の式で面積の標準偏差を計算~~
4. 乱数で位置誤差を発生
5. 位置誤差を含む座標で面積の標準偏差を計算
6. 位置誤差のある座標から面積を計算
7. 4~6を多数回くり返す(10万回)
8. 面積の標準偏差を求める
9. 5の平均値と8を比較する

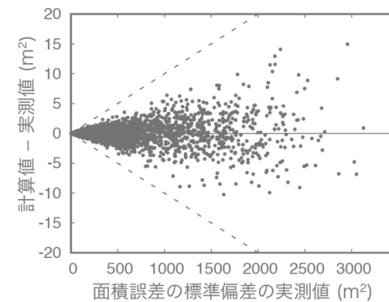
2021年8月27日 日本写真測量学会・関西支部 テクニカルセミナー 第108回空間情報話題交換会



近似値と実測値との差をみると



計算値と実測値との差(前掲)



- ・位置誤差を含む座標なので
近似的精度は下がる
- ・差は誤差率で-1%~2%程度



小括

31

測点の「位置」と「位置誤差の標準偏差」の真値がわかれば
「面積の標準偏差」が求められる

$$\sigma_s = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(n_{i+1} - n_{i-1})^2 + (-e_{i+1} + e_{i-1})^2 + 2\sigma_{e_{i+1}}^2] \sigma_i^2}$$

真値の代わりにGNSSの計測値を使って近似値を求める
→ 面積の精度評価指標として使えるのでは？

数値実験では、使えそうな雰囲気...

今後：実用に耐えられるか、評価を重ねる

謝辞：

本研究は科研費（17K07843, 15H02856, 17H01933, 17H04623）および
高知大学研究拠点プロジェクトの助成を受けました。

参考文献：

松岡 真如, 小野寺 栄治, 川上 利次, 高野 一隆, 木村 穰. 2018. GNSS測量で得られた面積の精度評価指標. 日本森林学会誌, 100(6), 193-200. DOI: 10.4005/jjfs.100.193.



考察

30

測定した座標と位置誤差から「面積の標準偏差の近似値」を得る
→ GNSSで測定した面積の精度指標にできるか？

1. 計算においての仮定

全ての測点で、

- ・位置誤差の平均はゼロ
- ・誤差は独立（共分散はゼロ）
- ・東西方向と南北方向で誤差は等しい

仮定が崩れた時、
どれくらいの
近似精度になる？

2. 機器が示す位置誤差

- ・どの程度信頼できるのか？
- ・位置誤差が標準偏差ではない

実測や数値実験を重ねて、実用可能性を検討する必要



まとめ

32

◎ 樹冠による影

- ・補正する
 - ・活用する
- 森林情報の高精度化

◎ GNSSの精度評価指標

- ・実データを用いた解析
 - ・曖昧でも合った方が良い？
- 林業などで活用

✓ 森林は日本の物質生産における重要な資源

✓ もっと多様で効果的な利用ができるのでは

地理空間情報技術はその羅針盤となりうる

