

地上型レーザスキャナ 統計的手法による座標マッチング精度の評価

株式会社 数理設計研究所 名倉 裕

1. 座標マッチング

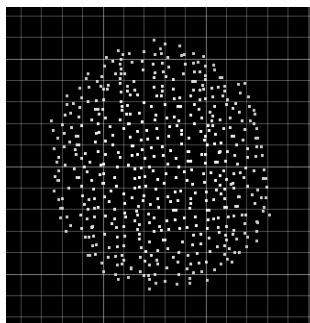
座標マッチングは固定設置したレーザスキャナ観測データの定位を、以下の関係によって確定する。

- ・ 複数地点測定では各地点データ間の相対関係
- ・ 公共座標系に対しては基準点との相対関係
- ・ 長期間欠測定において初期データとの相対関係
- ・ 短期連続測定では測定期間の姿勢の安定性

座標マッチングは一般に参照点(測量では標定点)によって実現される。従来の測量法と馴染みのよい評価法であり、コンピュータ・プログラムは参照点の自動抽出、自動測定によって測定者を援助する。

2. 参照点法の問題点

1. **運用** 参照点は、反射体の形状、サイズ、設置地点を適切に選択して配置せねばならず、制限の多い現場環境では習熟を要する。
2. **距離** 反射体に適切なサイズを選べば、参照点座標誤差の距離依存性は低いが、遠距離では誤差は大きめになる。長距離観測で影響が大きい。
3. **時間** 反射体の設置計画、設置、測定作業は多くの時間を費やす。現場で費やす時間はレーザスキャナ本測定時間より長いのが一般的である。
4. **参照点の喪失** 時期をおいた観測では参照点位置が失われる事がある。参照点が失われると一般的な対策はない。



参照点の 10cm 球形反射体と測定データ点群

3. 参照点を使わない座標マッチング

座標マッチングの誤差は、地表面を表すデータ点群のずれとして顕著に現われる。参照点でマッチングしても面が合わない事さえあるほどに、地表面デ

ータ点群は微小な誤差を表現する。面比較はずれの評価法として優れるが、面をうまく合わせれば、正確な座標マッチングを実現できる。参照点を使わない座標マッチングであり、面マッチングと呼ぶ。

4. 面マッチング

面マッチングは粗くマッチングした2つのデータを、面間の誤差を評価して修正する。レーザスキャナ・データで表される地形は詳細であり、人の目で特徴点を抽出して粗い座標マッチングができる。樹木等を基準にすれば 20~30cm の精度は容易である。

5. 面マッチング手順

粗く座標マッチングした2つの点群座標値から、それぞれ小メッシュを作成してメッシュ毎に差分を求めた。多数の小メッシュを地域毎にグループ化する大メッシュを作成し、トレンドとしての傾斜、平行移動誤差を算出した。

5.1. 小メッシュ化

単一メッシュの中に数個から数十個のデータ点があるようメッシュサイズを決める。メッシュ代表値はメッシュ内点群の標高(Z 値)の平均値、最低値より中央値が良い。標高最小値と最大値の差が大きいメッシュは計算対象から外す。こうして植生や、誤差が生じやすい地形の影響を抑える。

2つのデータで各々小メッシュを作成してメッシュ毎差分を計算し、差分小メッシュを作成する。

5.2. 差分の大メッシュ化

大メッシュで全体の傾き、平行移動ずれを求める。

大メッシュで地域を区切り、差分小メッシュから大メッシュ毎に差分代表値を求める。代表値は中央値か最頻値とする。誤差分布ヒストグラムからデータの性格がわかる。遠距離では誤差が増えて、ヒストグラムは平らになる傾向がある。

X 軸に沿った大メッシュ間の比較、Y 軸に沿った大メッシュ間の比較で、XY 軸周りの回転と、平行移動のずれの量がわかる。

5.3. YZ 垂直面上のメッシュ化

YZ 平面上にデータ点群を投影し、メッシュ化、大メッシュ化を行うと、Z 軸周りの回転ずれ、Y 軸方向の平行移動ずれを評価できる。以上で 3 軸周りの回転ずれ、平行移動ずれが計算される。

5.4. 修正の評価

面マッチングした座標の精度はおよそ $\pm 2\text{ cm}$ である。200m 以下の近距離では参照点マッチングとほぼ同等だ。広範囲では参照点法に較べてより正確な座標マッチングが可能だ。

ここで記した方法は初等数学的であって、最小二乗法などで容易に自動化できるように思われる。それにもかかわらずこの方法が有効なのは、評価の各過程においてデータの個性、品質を確認するためである。特に他者が観測したデータを評価する時、人の目でデータ密度、植生等の雑音、傾斜などを確認する必要がある。

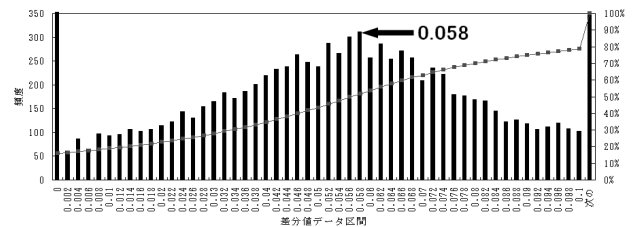
2004 年以来、座標マッチングの検証法として工夫し、2005 年、新潟県中越地震の山古志地区観測では、分解能が低いレーザスキャナ (RIEGL LMS-Z210) で「斜面は半年間に 2 cm 以上は動いていない」という観測結果を得ている。

6. 測定法の工夫

面マッチングは 3 軸それぞれの方向に一定の広さのなだらかな面を必要とする。このため必ず全周測定を実施する。全周測定データから人工構造物の壁面、別のなだらかな斜面を検証、評価に利用できる。特に震災後、不動点が定まらない時は必須である。

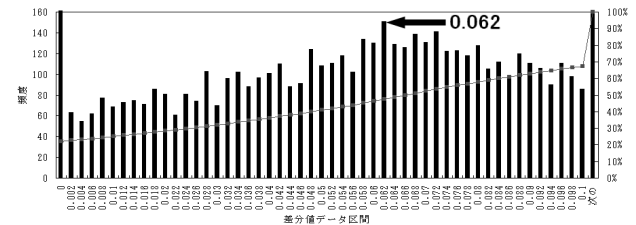
7. 面マッチングの特徴

1. **長距離観測** 地すべり地形などの観測は、観測距離が $300\sim 600\text{ m}$ 以上に達することが多い。長距離ではマッチングの精度検証が難しく、面マッチング法での検証、併用が望ましい。
2. **参照点** 広域に参照点を設置できない狭い場所では参照点とともに使用して効果的である。時期を置いた観測で参照点を喪失した際も使える。
3. **時間** 危険が伴う地域ではあえて参照点を設置せず観測して、時間の短縮が可能である。
4. **リアルタイム性** 面マッチングの処理過程で、誤差が大きく出ている部分、あるいは植生など

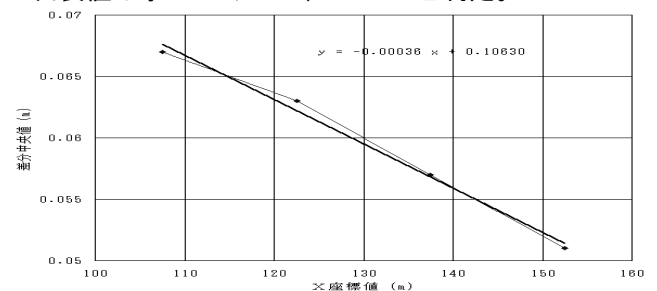


0.25m 小メッシュ化後、15m 大メッシュ内で誤差の最頻値を算出、代表値とした。

この大メッシュの誤差代表値は 0.058 m と判定した。



遠距離で植生が多いとヒストグラムは平らになる。代表値は求めにくいですが、 0.062 m と判定。



X 軸方向に並ぶ大メッシュの誤差代表値を X 軸に対してプロット。誤差の傾斜を求め、修正した。

は自動的に無視される。自動化後はリアルタイム変位観測に適する。

5. **高密度データ** レーザスキャナは高密度化している。高密度のデータを持て余す声を聞くが、面マッチングではより高精度を可能にする。

8. 結び

地上固定のレーザスキャナが一回の測定で取得するデータ点群間は、レーザスキャナ固有の誤差だけで結合され、他の機器の影響を受けない。座標マッチングを正確に実施すれば、地形を僅かな誤差で表現できる。いずれは面マッチングを主、参照点マッチングを従として観測時間を短縮し、短時間により多くの成果を得られるものと考えている。

9. 参考文献

- ・ 高知工科大学 宮崎 倫理, 木下 和, 高木 方隆: 「面計測を利用したレーザースキャナデータの座標変換」
- ・ 数理設計研究所: 地上型レーザスキャナ測定システム <http://www.madlabo.com/mad3d/>