

レーザースカナデータにおける 計測距離と精度との関係

1070553 山口 顕誠

高木研究室

1. 背景

昨年坂井修士論文の実験において、平面とレーザースカナとの平面計測を行えば、レーザースカナの精度が向上することが確認された。具体的には、対象物との距離が 3m の時に 256 点以上のデータが取得できれば、標準偏差 1cm 未満の精度を満たすことが判明した。従って、レーザースカナと対象物との距離及び、角度が異なっても同様の結果が得られるか、確認する必要がある。

2. 目的

本研究は、傾きの異なる 3 枚の平面を用意し、それらを 5m~25m まで変化させ精度を評価するものである。精度は、平面の式における法線ベクトルと 3 つの平面から計算できる交点の座標を用いて評価する。

3. 使用機材

・レーザースカナ

地上において使用することを目的としたスカナタイプのレーザーセンサーであり、ノンプリズムタイプの光波測距儀の一種である。対象物に向かって放射したレーザーパルスが反射して戻って来るまでの時間により距離計測し、三次元データ取得する。スペックを表 1 に示す。

表 1. レーザースカナのスペック

LMS - Z210 (Riegl 社製)

計測範囲：350m 未満

精度：±2.5cm (標準偏差)

	ラインスキャン (縦方向)	フレームスキャン (横方向)
数(最大)	1106	4621
範囲	±40°	0° ~ 333°
機構	回転ポリゴンミラー	回転光学ヘッド
速度(/s)	5ライン~52ライン	1° ~ 15°
角度分解能	0.036° (実質0.072)	0.018° (実質0.072)

・反射シート

反射シートは、レーザースカナやトータルステーションから放射された光波を大きい強度で反射させるものである。

・トータルステーション

トータルステーションは、座標計測するための測量機器で、この機器を基準とした水平角と垂直角から、計測点の三次元座標が求まる。使用した機材のスペックは表 2 の通りである。この機材にて計測された結果は、検証用データとする。

表 2. トータルステーション 5600DR300+/200+
(ニコン・トリンプル社製)

測角部	最小表示	0.1
	精度	1
	角度自動 補正範囲	±5.5
測距部	精度	±(3+3ppm·D)mm (2~200m時)
		±(5+3ppm·D)mm (200m以上)

・基準ボード

基準ボードは、レーザースカナの平面計測の対象となるボードで、高さ 1.7m、幅 1.2m ある長方形のボードを用いた。このボードの四隅に反射シートを貼り、レーザースカナ座標(ローカル座標)を地上座標(グローバル座標)に変換する際の基準点に使用した。また、平面の式における係数を求める時や、実際それぞれのデータの比較をする際に用いている。この基準ボードの座標データを元に、検証を行った。

4. 計測対象

計測用データの取得は、高知工科大学の体育館内で行った。中央に精度を評価するための基準ボードを 3 枚用意し、5m から 25m まで二回ずつ、距離を変化させながら計測を行った(図 1)。前処理として、別途計測された高精度基準点データにより、レーザースカナデータの座標系をグローバル座標に変換した。

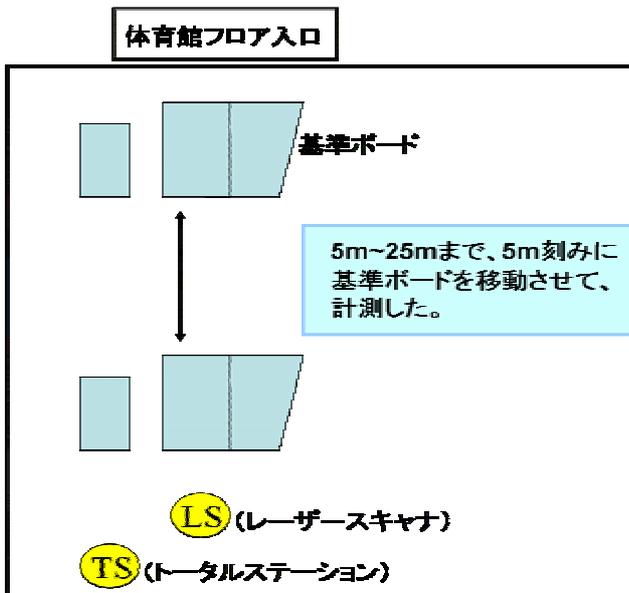


図1.基準ボードの1グループ

5. 検証用データ計測

トータルステーションで基準ボード3枚の四隅のデータを取得し、計12点のグローバル座標を計算した。また、これらの座標より、最小二乗法を用いて平面の式の3つの法線ベクトルを算出する。平面の式における係数 a, b, c は法線ベクトルであり、平面に対して垂直なベクトルである。平面と x, y, z 軸との交点である。切片の座標は $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}$ となる。そして、その3つの式の連立方程式を解くことで、3つの面の交点が求められる(図3)。次に最小二乗法により平面の式を求める式を示す(式1,式2)。

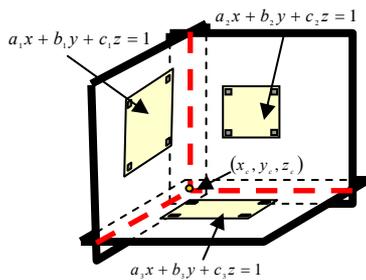


図3.交点のイメージ画像

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_i Z_i \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_i Z_i \\ \sum X_i Z_i & \sum Y_i Z_i & \sum Z_i^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum X_i \\ \sum Y_i \\ \sum Z_i \end{pmatrix} \quad \text{式1}$$

(a, b, c) : 面の法線ベクトル
 (X_i, Y_i, Z_i) : レーザースキャナデータ

式2は、:交点算出式である。

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{式2}$$

(X_c, Y_c, Z_c) : 交点座標
 (a_1, b_1, c_1) : board1 の係数
 (a_2, b_2, c_2) : board2 の係数
 (a_3, b_3, c_3) : board3 の係数

求められた法線ベクトルを示す(表3)。精度評価用の3枚の基準ボードは、図1で示した通りで、レーザースキャナに向かって正面を向いているボードが board1。右側にある z 軸まわりに傾きを持たせたボードが board2。そして、 x 軸まわりに傾かせたボードが board3 である(図1)。

表3. board ごとの法線ベクトル表

ボード 距離/係数	board-1			board-2			board-3		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
5m	-0.07369	0.097964	1.95E-05	0.092557	0.119535	0.000238	-0.0662	0.070103	-0.19634
10m	-0.03739	0.066995	-0.00017	0.059036	0.072766	9.02E-05	-0.04105	0.05419	-0.1305
15m	-0.02832	0.048928	7.49E-05	0.032008	0.052368	-1E-05	-0.01737	0.046492	-0.10621
20m	-0.03248	0.038754	-1.5E-05	0.015646	0.041911	2.47E-05	-0.0083	0.039543	-0.08259
25m	-0.0178	0.029893	5.07E-05	0.011583	0.039001	-3.3E-05	-0.01208	0.029507	-0.0715

(a, b, c) : board の各法線ベクトル

6. レーザーデータの座標変換

レーザースキャナにより取得された点群データは、レーザースキャナ本体を原点としたレーザー座標 (u, v, w) である。そのため、トータルステーションを用いて取得したプリズムのグローバル座標 (x, y, z) と、対応するレーザー座標を使い、レーザー座標を絶対座標へと変換する。変換は三次元の線形変換で表現でき、行列を用いると次式となる。少なくとも4つの基準点データが必要となる。今回は、トータルステーションの座標系に合わせるための変換を行った。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta u \\ \Delta v \\ \Delta w \end{pmatrix} \quad \text{式3}$$

(x, y, z) : トータルステーションから得られた基準点座標
 A : 3×3 の変換係数行列(パラメータ)
 $(\Delta u, \Delta v, \Delta w)$: レーザーの初期位置座標

7.計測結果

7-1 データ数との関係

今回、レーザースキャナデータから取得した座標点の中から検証用基準ボードの中心座標を求め、それから近い順に4点、8点、16点、32点、64点、128点、256点、512点を取得した。それぞれの点数から平面の法線ベクトルを最小二乗法により求める。次に、求まった3つの平面の法線ベクトルから交点座標を導き出し、トータルステーションで求めた検証用交点座標との残差を求めた。図4は、横軸に点数、縦軸に残差を設定し、残差の変化をグラフ化したものである。全て右下がりの傾向であった。しかし、取得座標点数は全く同じ場合、トータルステーションで求めた交点とレーザースキャナデータから求めた交点の差が遠距離の方が良いという結果になった。おそらく、座標点同士が作る面積の大きさが精度に影響しているのではないかと推察される。

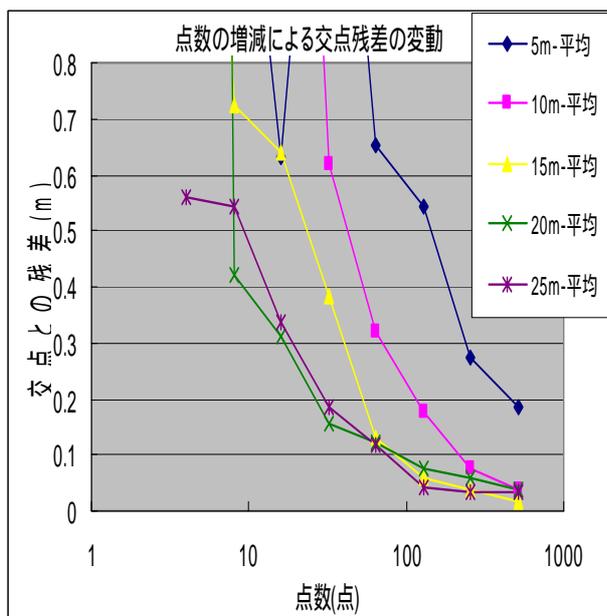


図4.取得点数と残差との関係

7-2 計測面積との関係

次に、前章での推察が正しいものであるかどうかを検証するために、各点数時に取得座標点の集まりが作る面積の大きさを一定にし、精度を評価した。図5は、前節において、25mで512点取得した時の面の大きさに合わせて、それぞれ512点均等にデータを取得した時の残差の変化を見たものである。その結果、面の大きさが精度に影響していることがわかった。つまり、取得座標点の数が多い方が良いということではなく、取得座標点で作る面の大きさが大きい程、精度が良く

なるということが確認出来た。同じ面の範囲を指定しても、近距離であればあるほど、取得座標点数は多いが、遠距離になると、取得点数が少なくなるので、1点ごとの距離が離れていく。つまり、点数は同じでも面積が違ったので、遠距離の精度が良かったという結果が確認された。

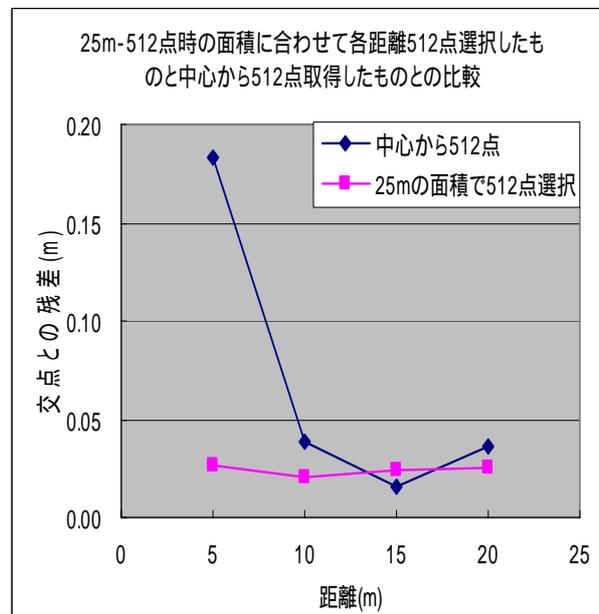


図5.対象物までの距離と残差との関係

7-3 面の傾きによる傾向の差

前節では面積が大きくな程、精度が良くなる傾向が判ったが、坂井が実験した程の精度が得られなかったので、その理由を調べるために、各平面の式の法線ベクトルについて検討した。図6~8のグラフは、レーザースキャナデータを元データとした法線ベクトルの各要素とトータルステーションで算出した法線ベクトルとの残差を対象物との距離ごとに示したものである。座標点数は、対象距離で取得できた点数の最大で行っており、面積はほぼ同じになっている。x軸まわりに傾けて計測した基準ボードである board3のみ突出して残差が大きい結果となった。つまり、基準ボードの傾きは精度に大きく影響しているのではないかと考えられる。

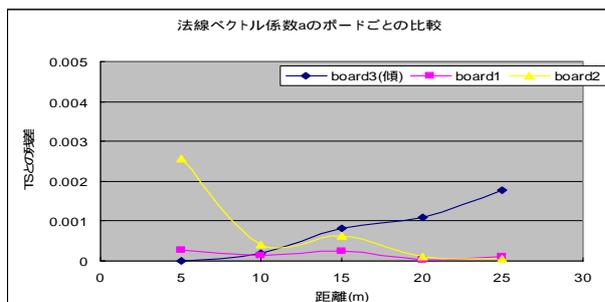


図 6. 法線ベクトル a の変化

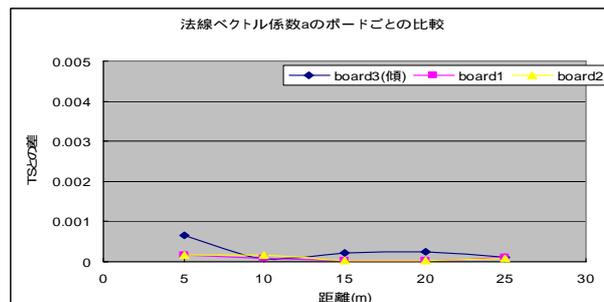


図 10. シミュレーション a の変化

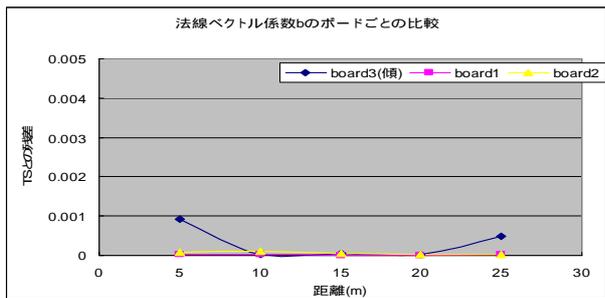


図 7. 法線ベクトル b の変化

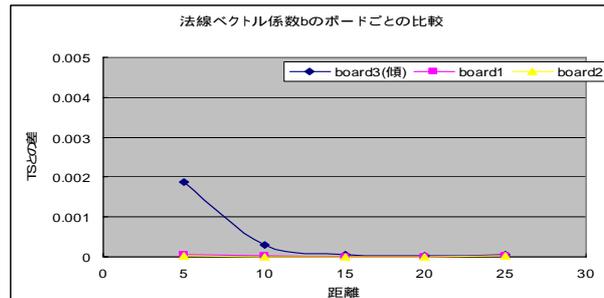


図 11. シミュレーション b の変化

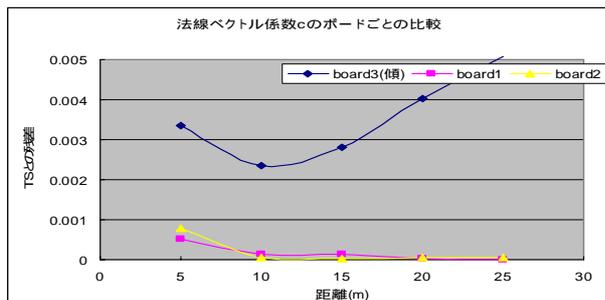


図 8. 法線ベクトル c の変化

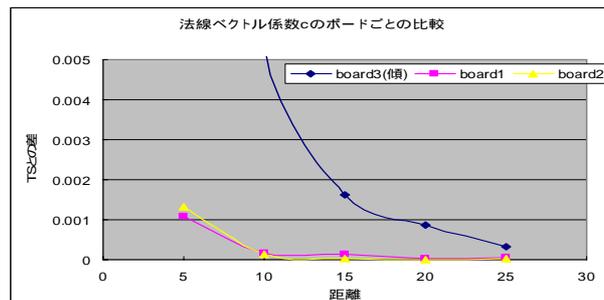


図 12. シミュレーション c の変化

8. シミュレーションによる検討

面の傾きと精度との関係について、シミュレーションデータを用いて検討した。シミュレーションデータ作成は、ボックス・ミュラー法による正規乱数を用いた。基準ボードの位置、傾き、取得座標点数も、レーザースキャナで取得できた条件にあわせてシミュレートを行った。図 9~11 に各法線ベクトルの残差を対象物距離ごとに示したものである。結果は、シミュレーションデータを用いた場合でも、レーザースキャナデータから求めた法線ベクトル各要素の値と、ほぼ同程度の値を示した。しかし、基準ボードの board3 においては、レーザースキャナデータで算出した法線ベクトルと(図 6~8)とシミュレーションから算出された法線ベクトル(図 9~11)を比較しても、残差が大きい結果となった。この結果から、x 軸まわりに傾けた board3 においては、特殊な誤差が含まれている可能性がある。

9. 考察

今回の研究で、データ数ではなく、データ取得面積が原因で精度に影響が出てくることが判明した。また、傾いた面においては法線ベクトルの残差に、特殊な誤差が含まれている可能性が出てきた。傾いた平面と他の二枚の平面から算出した法線ベクトルの値を用いて、3つの平面の式から交点座標を求める際(式 1~3)に、傾けた平面の誤差が影響を与え、検証用データとレーザースキャナのデータに大きい残差が生じたと考えられる。今後、平面の傾きに含まれる特殊な誤差を解明する必要がある。

参考文献

- 1) 坂井 知也、「レーザースキャナを用いた平面計測における誤差分布モデルの構築」、高知工科大学 2006 年度修士論文