

航空機搭載型レーザースキャナーの精度検証手法に関する研究

アジア航測株式会社

ジオマティクス部 岡崎克俊、沼田洋一、斉藤和也

1. 目的

航空レーザースキャナー測量によるデータ取得の際に、GPS基線長、地表面の植生の有無、地形などの外部要因がデジタル地形モデル (DTM) 精度に与える影響について評価することを目的とした。

そのために、岐阜県大垣市の杭瀬川付近および同県不破郡垂井町の山間部の航空レーザースキャナー測量を2002年2月1日に実施した。表1に計測諸元を示す。

表1 計測飛行諸元

項目	諸元
対地高度	850m
パルス頻度	33KHz
スキャン周波数	28Hz
スキャン角	±20°
ビーム径	0.2mrad
計測点間隔	1.15m
コース幅	618m

2. 方法

(1) GPS基線長

複数の電子基準点を利用してGPS基線長解析を行い、もっとも短い基線を基準としたプラットフォーム (航空機) の三次元位置、三軸姿勢精度を比較、相対評価した。また、基線ごとにデジタル地表面モデル (DSM) を作成し、等高線図から大規模建築物の四隅の座標値を求めて位置のズレや歪みの相対評価を行った。

使用した電子基準点は、基準用として「本巢 (対象地域から概ね15km)」を、評価用として「甚目寺 (35km)」、「マキノ (45km)」、「水口 (60km)」、「越前 (75km)」、「室生 (105km)」である。図1に計測対象地域と各電子基準点の位置をUTM座標系 (ゾーン53) で示す。

大垣市のデータから10地点の航空機の三次元位置・姿勢データを抽出し、本巢のデータを基準としてX、Y、Z、 ω 、 ϕ 、 κ 、二次元距離差、三次元距離差を比較した。

ズレや歪みを評価するためには、電子基準点ごとに大垣市郊外に存在する4箇所の大きな構造物の等高線図を作成し、各建物の4隅の同一標高線上にあるノードのXY座標を求めた。図2～5に等高線図を示す。

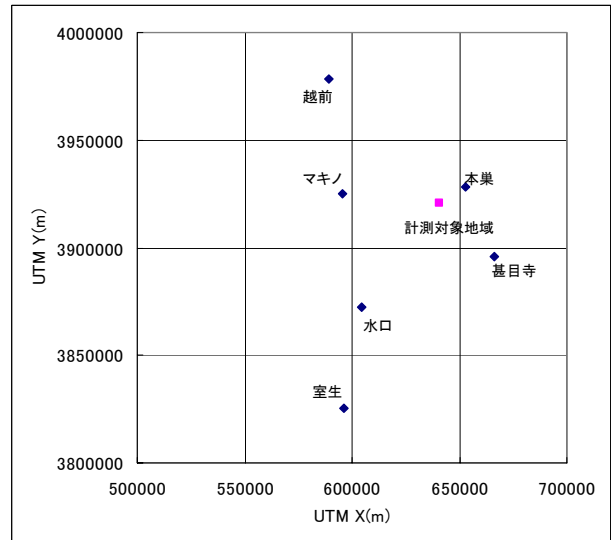


図1 電子基準点の位置



図2 東亜紡績跡地

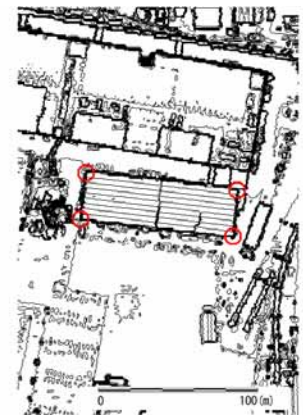


図3 イビデン1



図4 イビデン2

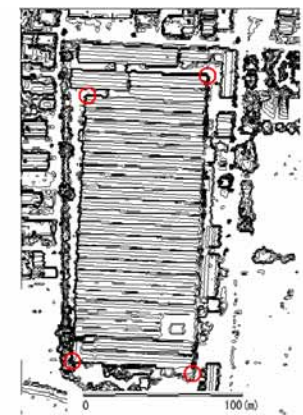


図5 東邦レーヨン

(2) 標高単点密度と精度

異なる標高単点密度のデータからグリッド形式のデジタル地盤モデル (DEM) を作成し、道路や微地形の表現の違いを等高線図から目視で評価した。

電子基準点「本巣」を使用して計算した垂井町の山間部の原データ (計測点間隔1.15m) および 2m、3m になるように間引いたデータから、ランダム点データを作成した。間引き方法は、設定した計測点間隔のサイズのグリッド内に含まれるランダム点群からグリッドの中心に最も近い1点を抽出した。その後、ランダム点データから不整三角網 (TIN) を発生させて1/2,500等高線図を作成し、目視で違いを評価した。

(3) 土地被覆の状態

レーザースキャナーデータと同時に撮影したデジタルカメラ画像を参考に土地被覆状態 (森林、草地、水田、畑、裸地・空き地、市街地、道路、水面) を分類し、それぞれの単位面積あたりの単点密度を比較した。また、森林と道路で地上レーザースキャナーデータと比較を行った。

土地被覆分類項目ごとに1箇所ずつポリゴンを設定して地盤のみを抽出したランダム点群を抽出し、点の数とポリゴンの面積から単位面積あたりのランダム点の割合を求めた。図6～9に計測位置を示す。

地上レーザースキャナーで計測した9地点から森林および市街地の道路を含んでいるデータを1つずつ選び (図7、9)、地表面のXYZ座標を求めた。さらに、XY座標値から半径2.5m円内に含まれる航空レーザースキャナーデータを抽出し、平均値を計算して比較した。

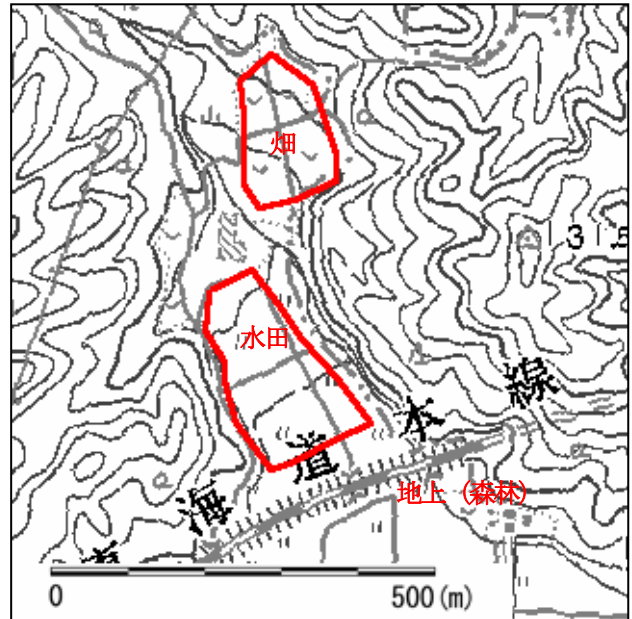


図7 計測位置図 (水田、畑)

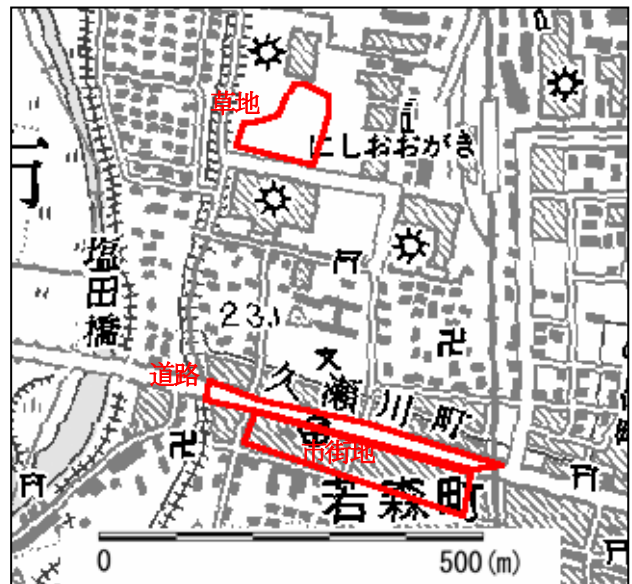


図8 計測位置図 (草地、市街地、道路)

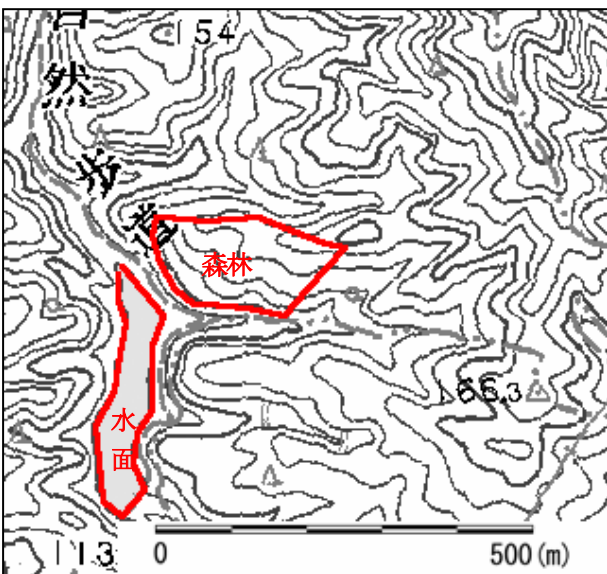


図6 計測位置図 (森林、水面)

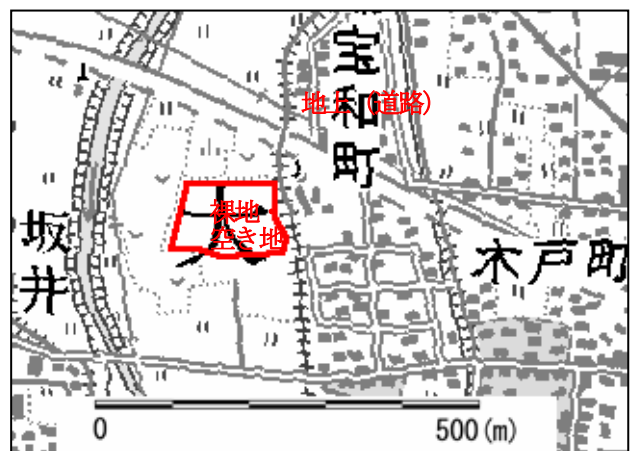


図9 計測位置図 (裸地・空き地)

3. 結果と評価

(1) GPS基線長

1) 基線解析

i) プラットフォームの位置

図10に本巣を基準とした各データの水平方向の位置を示す。また、図11、12に基線長と本巣を基準とした東西・南北方向の距離差との関係をそれぞれ示す。

図10で示されているように、電子基準点ごとには概ねまとまっている。

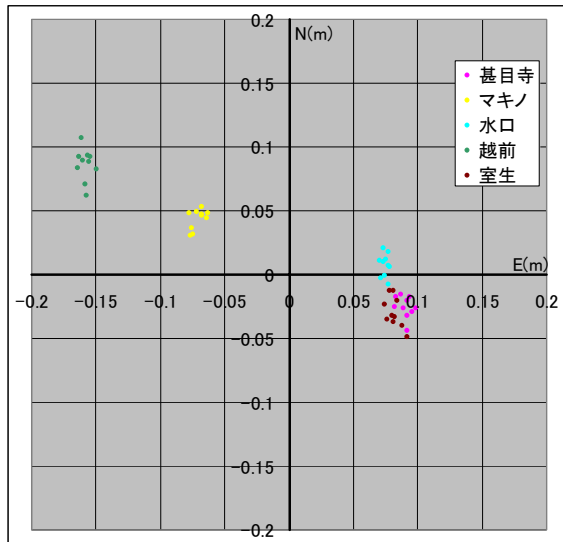


図10 プラットフォームの水平位置の差

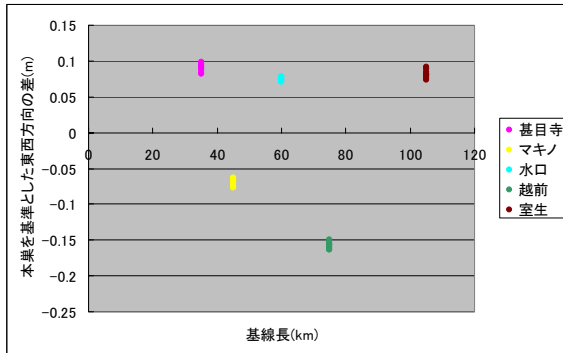


図11 基線長と東西方向の差との関係

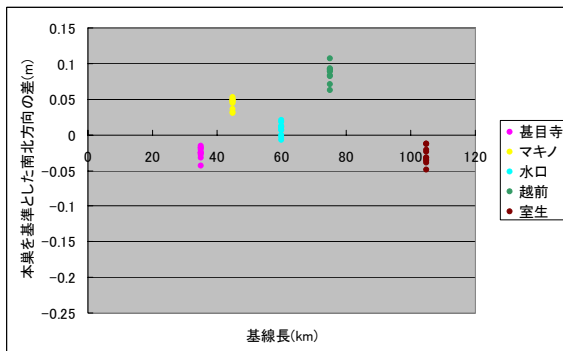


図12 基線長と南北方向の差との関係

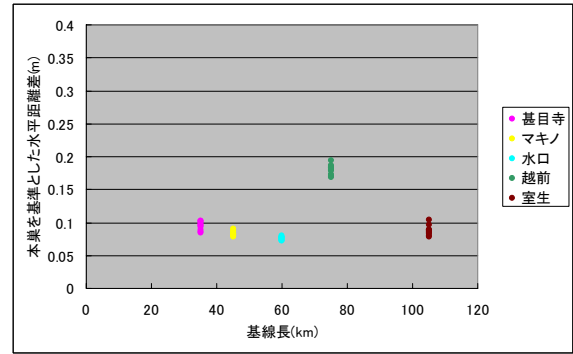


図13 基線長と水平距離差との関係

図11、12からは、基線長と東西、南北方向の差とは相関があるとはいえない。図13に基線長と本巣を基準とした各データの二次元距離の差との関係を示したが、相関は見られなかった。

図14に、基線長と本巣を基準とした高さの差との関係を示す。また、図15に基線長と本巣を基準とした各データの三次元距離差との関係を示す。一概に結論付けることはできないが、基線長が長くなるとともに誤差が増加する傾向がある。

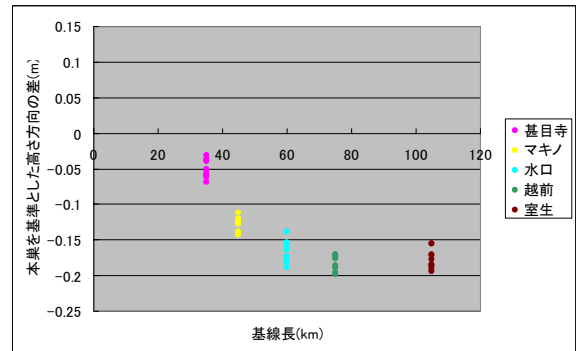


図14 基線長と高さ方向の差との関係

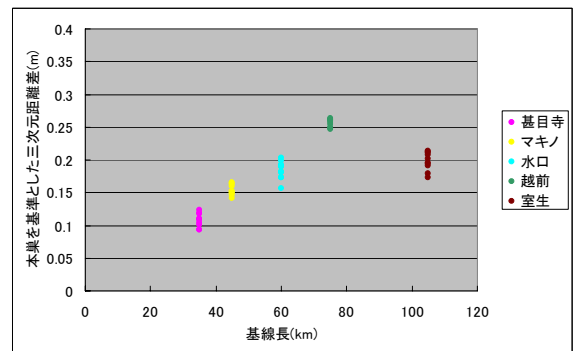


図15 基線長と三次元距離差との関係

以上のように、基線長と水平方向の距離差はあまり関係が見られない。一方、垂直方向では基線長との間に相関が見られた。この結果からは、高さ方向の精度の確保を考慮すると、基線長は50km以内が望ましいと判断される。ただし、この結果はあくまで一条件下でのケースス

タディであり、精度と基線長の関係については、今後も多様な条件下でデータを蓄積して明らかにしていく必要がある。また、今回の評価は、対象地域から15kmほど離れた本巣を基準にした、あくまで相対評価であることにも留意する必要がある。

ii) プラットフォームの姿勢

図16～18に、基線長と本巣を基準とした ω ϕ κ の角度差との関係を示す。姿勢角に関しては、図16、17、18に示されるように、基準点により若干の相違があったが、ロール角、ピッチ角、方位角ともに基線長とは関係が見られない。

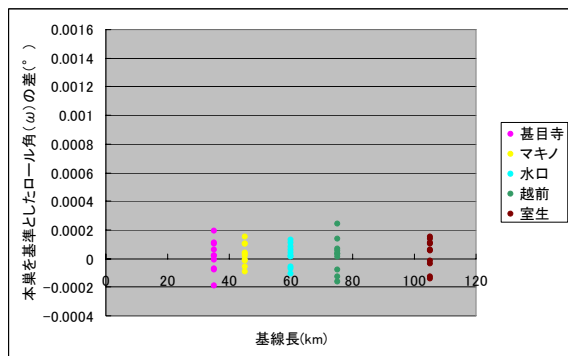


図16 基線長とロール角 ω の差との関係

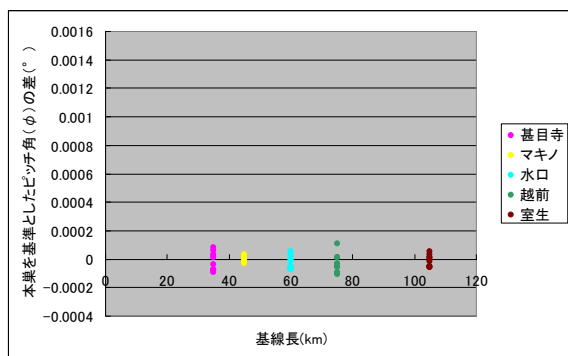


図17 基線長とピッチ角 ϕ の差との関係

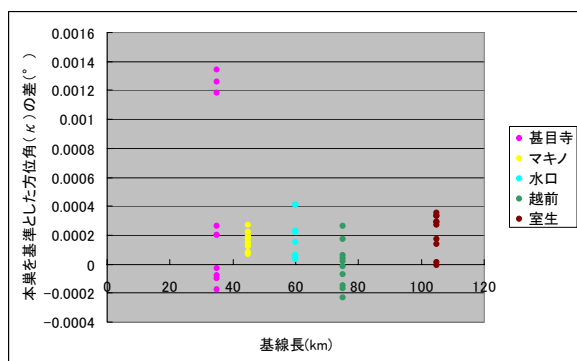


図18 基線長と方位角 κ の差との関係

2) 構造物での比較

基線長の違いによる建物の平面位置のズレ・歪みを計測した結果を図19に示す。

図19から、ほとんどの点が $\pm 0.2\text{m}$ 以内であり、今回の計測条件下では全サンプル点が水平精度 $\pm 0.4\text{m}$ 内に入っていることが読み取れる。計測データに要求される精度にもよるが、基線長100kmでも十分計測が可能と思われる。

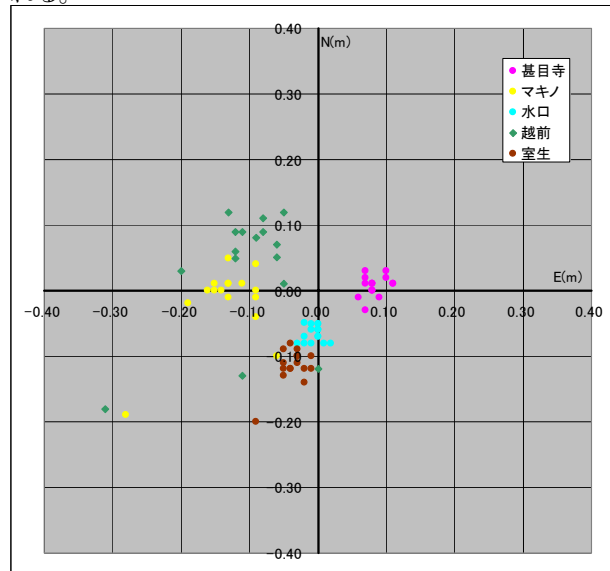


図19 建物の4隅の位置ズレ・歪み (m)

(2) 標高単点密度と精度

図20～22に各計測点間隔で作成した山間部の等高線図を、図23～25に同じく平野部の等高線図を示す。

図20～22を見ると、山間部ではほとんど違いが見られない。一方、平野部では、水田の縁で見られるように、単点密度が高い方が人工的な線状構造の再現性がやや高い。

以上のように、今回の条件内では自然地形の再現性は単点密度とはほとんど関係がなく、なだらかな平野部における人工構造物では多少影響が見られる程度である。

3) 土地被覆の状態

1) 土地被覆と単点密度

表2に、土地被覆分類ごとの単点密度を示す。草地、水田、畑、空き地、道路は同程度の密度であり、次に水面、市街地、森林の順番である。

計測が冬期であったため、草地、水田、畑、空き地の地表面状況はほとんど同じであったと思われる。

水面は、上空にさえぎられるものがないため、表面には到達するが、鏡面反射などの影響で受光センサに帰ってくるレーザー光が少なくなる傾向がある。

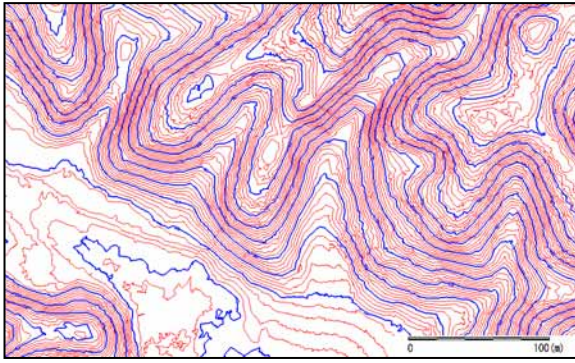


図20 山間部の等高線図 (計測点間隔1.15m)

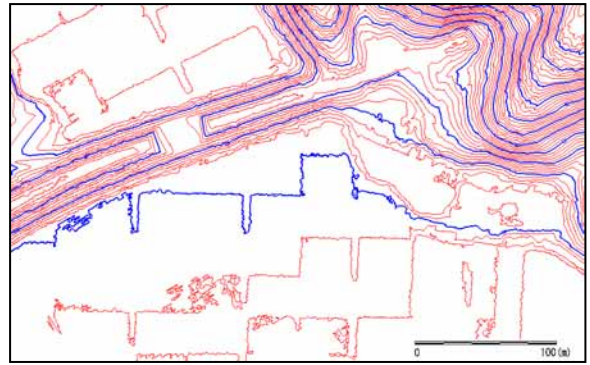


図23 平野部の等高線図 (計測点間隔1.15m)

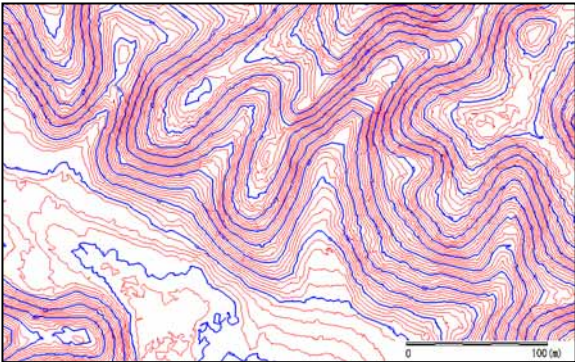


図21 山間部の等高線図 (計測点間隔2m)

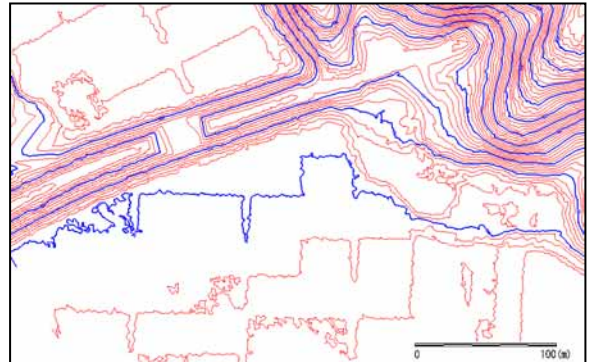


図24 平野部の等高線図 (計測点間隔2m)

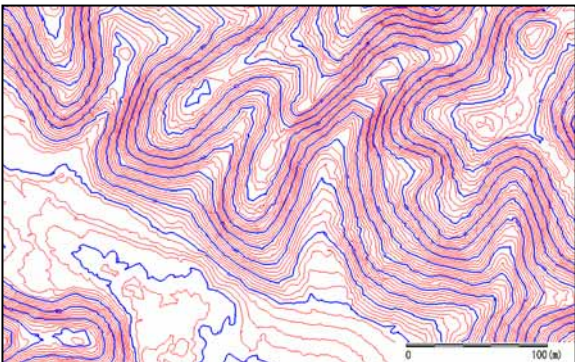


図22 山間部の等高線図 (計測点間隔3m)

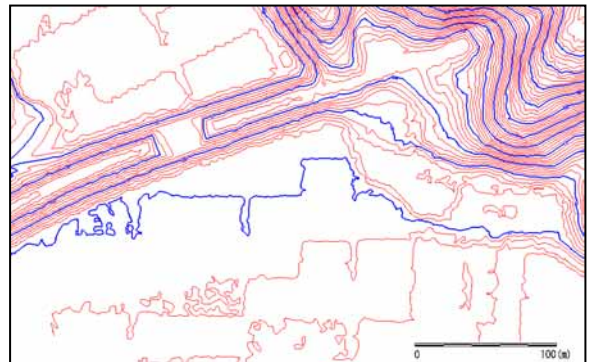


図25 平野部の等高線図 (計測点間隔3m)

市街地では建物の屋根に照射されたレーザーは地盤データからは除去されるため、森林では樹木などでレーザー光がさえぎられて地盤まで届かないため、単点密度が低くなっている。

表2 土地被覆ごとの単点密度

土地被覆	点数	面積 (㎡)	密度 (点/㎡)
森林	3775	43018.75	0.088
草地(野球グラウンド)	1907	3697.83	0.516
水田	21690	38011.24	0.571
畑	8765	16079.63	0.545
空き地・裸地	7117	11961.31	0.595
市街地	1951	12589.97	0.155
道路	5631	10621.27	0.530
河川・水面	2444	5725.40	0.427

2) 地上レーザースキャナーとの比較

表3、4に森林と道路における航空レーザースキャナーと地上レーザースキャナーの計測点の標高差を示す。どちらの被覆でも地上レーザーデータの方が標高は高い。森林においては、地上レーザースキャナーは密集している下草を側方から照射するため地盤を捉えにくく、航空レーザースキャナーに比べ標高値が高くなったと思われる。道路では植生の影響がないため、森林に比べて地上レーザースキャナーの地盤高の計測精度が高くなる。そこで航空レーザースキャナーと地上レーザースキャナーとの標高差が小さくなったと思われる。

表3 航空レーザースキャナーと地上レーザー
スキャナーの標高差（森林）

航空レーザ			地上レーザ			標高差 (m)	距離 (m)
X	Y	Z	X	Y	Z		
-56222.23	-67745.19	34.76	-56221.344	-67742.883	35.829	-1.07	2.47
-56221.08	-67744.54	35.03	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.80	1.68
-56222.72	-67743.97	35.01	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.82	1.75
-56219.92	-67743.88	35.43	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.40	1.74
-56221.59	-67743.3	34.96	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.87	0.48
-56222.94	-67742.89	35.18	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.65	1.60
-56220.41	-67742.65	35.23	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.60	0.96
-56221.68	-67742.15	35.12	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.71	0.81
-56219.16	-67741.89	34.95	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.88	2.40
-56222.72	-67741.23	35.42	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.41	2.15
-56220.55	-67741.48	35.12	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.71	1.61
-56221.56	-67740.57	35.37	-56221.344	-67742.883	35.829	-0.46	2.32
平均						-0.70	

問い合わせ先

アジア航測株式会社

ジオマティクス部

〒243-0018

神奈川県厚木市中町4-9-17原田センタービル5階

Tel : 046-221-4056

表4 航空レーザースキャナーと地上レーザー
スキャナーの標高差（道路）

航空レーザ			地上レーザ			標高差 (m)	距離 (m)
X	Y	Z	X	Y	Z		
-51691.21	-69983.58	7.74	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.32	2.08
-51689.89	-69983.53	7.66	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.40	1.48
-51688.42	-69983.48	7.70	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.36	1.98
-51691.00	-69982.37	7.69	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.37	1.24
-51689.67	-69982.34	7.70	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.36	0.31
-51688.35	-69982.29	7.70	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.36	1.47
-51691.37	-69981.20	7.77	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.29	1.79
-51689.90	-69981.17	7.81	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.25	0.89
-51688.54	-69981.12	7.66	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.40	1.57
-51690.09	-69979.91	7.63	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.43	2.16
-51688.76	-69979.88	7.69	-51689.80	-69982.06	8.06	-0.37	2.41
平均						-0.36	

4. まとめ

今回の検証では、複数の電子基準点を用いることで、基線長の違いによるデータ精度の変化を相対的に把握することができた。水平方向の精度には基線長はほとんど関係しない。垂直を含めた三次元位置ズレについては、基線長が長くなるにつれて増大する傾向が見られた。今後はデータを蓄積することで、それぞれの関係がより明確になるとと思われる。

単点密度の違いによる微地形の再現性については、山間部ではほとんど見られず、平野部における線状の人口構造物でやや違いが現れていた。

土地被覆は単点密度に大きく影響を与えることがわかった。今回の計測は冬季であったが、春や夏は植生が繁茂することから、違った結果が得られると思われる。今後は、季節の違いも考慮する必要があると考えられる。

地上レーザ計測は、航空レーザ計測とは照射方向や計測対象範囲といった特性が異なるため、同一尺度で比較することが困難である。今後も地上レーザースキャナーを検証の基準とするなら、より整合性の取れた比較方法を検討する必要がある。

以上のように、航空レーザースキャナーの精度検証方法についてケーススタディを行い、相対的な評価ではあるが基線長や計測点の間隔などに関する一定の成果が得られた。