

## LIDAR データからの地表面標高モデル作成手法について

株式会社パスコ GIS 総合研究所 岡川正臣

本研究の目的は航空機レーザ測量より得られる高密度標高データ(LIDAR)から地表面標高モデル(DEM)を作成することである。LIDARは上空からのレーザスキャンにより地上の標高値を取得するもので、地上の構造物・樹木などの地物を含んだデータである。各種設計、防災などの分野においては高精度な地表面モデルが必要とされるので、LIDAR から地表を抽出する必要が生じる。そこで、近接点をグループ化するクラスタリング手法を用い、地表面を捕らえているであろう LIDAR を自動認識し、最適な地表面標高モデルを作成する手法を考察する。また取得されるデータが大容量になるので処理を高速化するために近接点の検索手法についても考察する。

## 1. はじめに

本研究の目的は LIDAR(Light Detection and Ranging)データより地表面標高モデル DEM(Digital Elevation Model)を作成することである。

LIDAR データは、航空機レーザ測量にて上空からのレーザスキャンにより取得できる地上の位置、標高データである。航空機に搭載された GPS、IMU より航空機の位置、姿勢を取得し、レーザ掃射により地上までの距離を取得する。その後、位置、姿勢、距離の解析、さらに投影変換などの処理を経て、X,Y,Z のポイントデータが取得される。この LIDAR データは地上の構造物・樹木などの地物を含んだ高さデータであるので、多方面に活用するためには、それぞれの目的により分類したデータにする必要がある。この処理を LIDAR データのフィルタリングという。

LIDAR データのフィルタリングの先行技術としては画像処理のエッジ抽出手法を応用したフィルタリングが開発されている<sup>1)</sup>。しかし、日本は欧米の地形とは異なり、都市部では隣接する建物の間隔が狭く、山間部では急傾斜地が点在する。このような地形では、フィルタリングする地域を細部にわたり分割し、エッジ抽出のパラメータを各々で設定しなければならない。日本においてエッジ抽出技術でのフィルタリング処理は人間の手を多く介すことになる。よって、処理を高速化、自動化するためには、新たな手法の導入が必要である。従って、日本では LIDAR の生データそのものを処理する技術の開発が必要となる。

このため、本研究では統計や多変量解析のクラスタリングの概念を用い<sup>2)</sup>、生データそのものを処理する手法を提案する。クラスタリングは画像処理の分野ではパターン認識の技術にも適用されている概念である<sup>3)</sup>。LIDAR データを3次元プロットした時の各断面において、人間が視覚で判断して地表・地物を分類するように、コンピュータが地表面を捕らえているであろう LIDAR データを自動認識し、最適な地表面標高モデルを作成する手法を考察する。また、取得されるデータが大容量になるので処理を高速化するために近接点の検索手法についても考察する。

## 2. 手法

本研究では図1に示す手順にてDEM作成を行った。詳細な説明について以下に示す。

【処理 0-1】あらかじめ建物ポリゴンがある場合、建物ポリゴンにより LIDAR の建物部分の除去を行う。この処理を行うことにより地表の抽出度が上がり、処理 2-3 が不要となる。

【処理 1-1】メッシュサイズ M(m)によりメッシュ内の標高最小値を抽出する。メッシュ化するメリットは処理 2-1 の近接点検索処理を高速に実行できるところにある。最小値を取得するのは車・樹木などの小さな地上構造物をあらかじめ除去することができるか

らである。この処理により処理 2-1 の比較対象の多くを地表にすることができるため、地表の抽出度が高くなる。メッシュサイズはメッシュ化する際に空白の発生が少なくなるサイズであることが望ましい。データ取得間隔の2倍程度が最適である。

【処理 2-1】クラスタリング手法を用い、LIDAR データを分類する。クラスタリングとは、個体を幾つかの類似した特徴を持つグループ(クラスタ)に分類する手法である。処理 1-1 のメッシュの縦横4方向をネットワークで結び、その傾斜量が条件内であれば同一クラスタとする分類処理を行う。メッシュの縦横4方向による検索のため、従来手法<sup>4)</sup>よりも高速に近接点を検索できる。この処理では比較対象点が離れていることは少ないので、4方向の検索でも十分なクラスタリングが可能となる。(図 2.3)

【処理 2-2】処理 2-1 で分類を行った各クラスタの要素数(構成面積)を算出し、想定最大建物面積・最小面積から各クラスタが地表か地物であるかを判定する。

【処理 2-3】処理 2-2 にて地表と地物の判定ができなかったコード 14 について、地表か地物の判定を行う。代表点(コード 17)をコード 14 の重心とし、地表(コード 10)とネットワークを結ぶことで地表か地物かを判定する。この処理では比較対象点が離れることがあるので TIN(Triangulated Irregular Network)にてネットワーク形成し、その近傍(Natural Neighbor)同士で傾斜量を評価することで判定を行う。コード 14 の構成面積により、コード 10 との許容する傾斜量に差異が発生する。構成面積による差異を軽減するために許容する傾斜量を補正する変換を用いる。(図 4)

【処理 3-1】コード 14,15 と判定された点でリターン情報が 2 以降の点を代表点として地表か地物かを判定する。パルスリターン解析は樹木の多い山間部で効果を発揮する。レーザパルスは樹木が密集している個所でも木漏れ日のように樹木をくぐり抜け地表を捕らえることができる。最初に戻ってきたパルスをファーストパルスと呼び、順にセカンドパルス、サードパルス、そして最後に戻ってきたパルスをラストパルスと呼ぶ。この順序がそれぞれのパルス

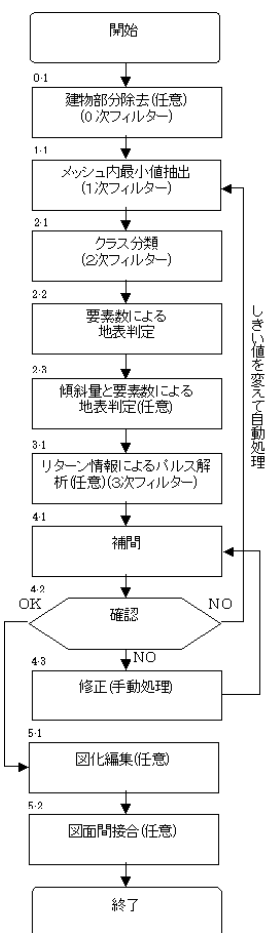


図 1

のリターン情報として個々の点に付される。レーザパルスは樹木の枝葉を透過するわけではないが、パルス断面の直径が地上では20~30cmであるため、木漏れ日が地表面に落ちるようにレーザパルスが地表面まで届く。しかし、ファーストパルスが樹木のトップで反射したとは限らないし、ラストパルスが地表で反射したとも限らない。ラストパルスが樹木の幹で反射する場合もある。よって、リターン情報を活用するためには解析が必要となる。この処理は処理2-3において、クラスの要素数=1を代入するのと同値であるため、処理2-3と同時に処理を実行することができる。(図5)

【処理4-1】地表と判定された点から地表面を形成する。補間により建物・樹木のあった個所の地表を推測する。補間手法にはSpline, Kriging, IDW(Inverse Distance Weighted)等がある。他に流水が止まらないよう谷のくぼみをなくす、尾根・谷にめりはりをつけることができるなど自然の地形に近い補間を実現するものも存在する。5)

以上、各処理に用いる値を表1、判定条件を表2にまとめる。

表1

処理	値	単位	説明
処理 1-1	M	(m)	メッシュサイズ
処理 2-1	$\alpha 21$	(度)	許容する傾斜量
	C21	(個)	隣接する点との傾斜量が $\alpha 21$ 以内の点数
処理 2-2	D21	(個)	判定する点数
	N	(個)	クラスの要素数
	B	(m)	建物面積 $B=N*M*M$
	B1	(m)	最大建物面積
処理 2-3	B2	(m)	最小建物面積
	$\alpha 23$	(度)	許容する傾斜量
	$\beta 23$	(度)	変換する傾斜量 $\beta 23 = \tan^{-1}(2 * \tan \alpha 23 / (\sqrt{N} + 1))$
	P23	(個)	代表点と隣接する点のなす傾斜量が $\beta 23$ 以内の点数
	Q23	(個)	代表点と隣接する点数
	C23	(割合)	隣接するポイントとの傾斜量が $\beta 23$ 以内の割合 $C23 = P23 / Q23$
処理 3-1	D23	(割合)	判定する割合
	$\alpha 31$	(度)	許容する傾斜量
	P31	(個)	代表点と隣接する点のなす傾斜量が $\alpha 31$ 以内の点数
	Q31	(個)	代表点と隣接する点数
	C31	(割合)	隣接するポイントとの傾斜量が $\alpha 31$ 以内の割合 $C31 = P31 / Q31$
D31	(割合)	判定する割合	

表2

処理	判定条件	判定	コード	色
処理 2-1	$C21 \geq D21$	同一クラス		
	$C21 < D21$	別クラス		
処理 2-2	$B \geq B1$	地表	10	赤
	$B1 > B > B2$	処理 2-3 へ	14	薄ピンク
処理 2-3	$B \leq B2$	地物	15	薄オレンジ
	$C23 \geq D23$	地表	11	紺
処理 3-1	$C23 < D23$	地物	14	薄ピンク
	$C31 \geq D31$	地表	31	緑
	$C31 < D31$	地物	34	薄緑

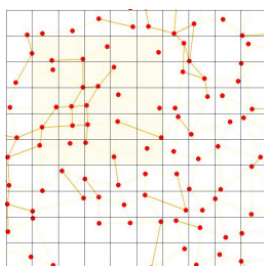


図2

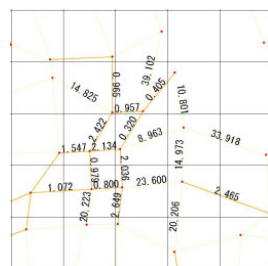


図3

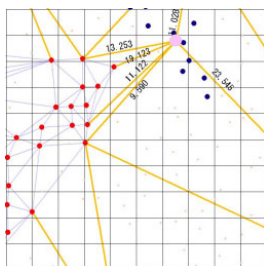


図4

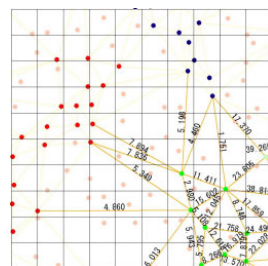


図5

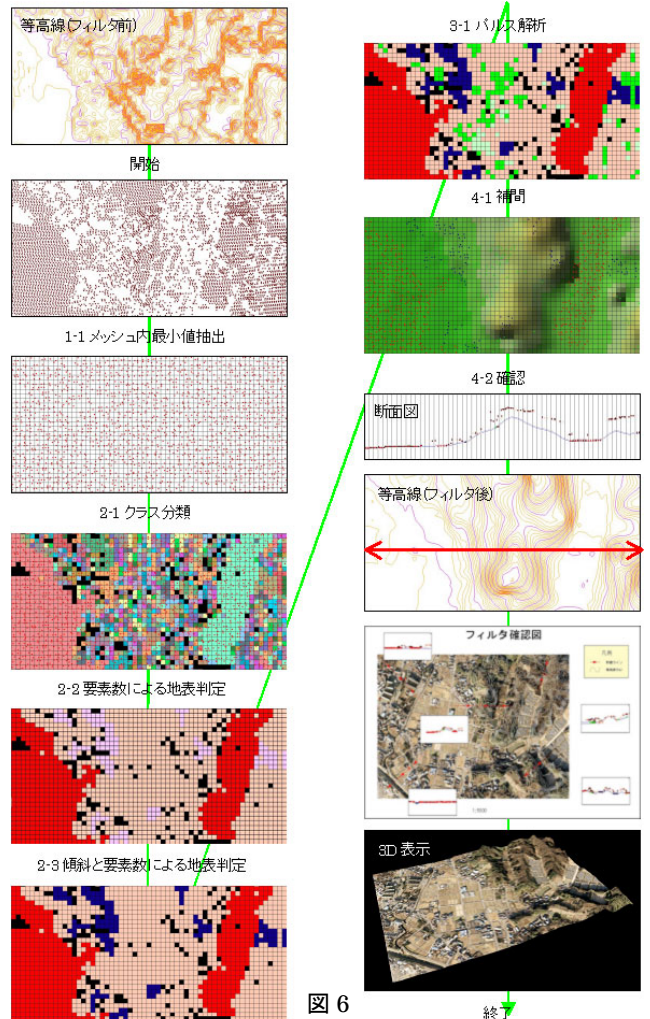


図6

### 3. テスト

本提案手法を適用しテストを行った。処理イメージを図6に示す。実施地区は山間部と住宅地が混在する地区を選定した。生データで作成された等高線の流れを反映しつつ、地物を除去することに成功した。他の地区についても同様のパラメタでテストを実施したが、ほとんど手修正なしに地表面を抽出することができた。

### 4. 結論

本研究によるLIDARからのDEM抽出は都市部・山間部を問わず自動処理可能であることがわかった。処理は従来手法4)よりも抽出度が高まった上、高速に処理結果を提供することが可能になった。近接点との傾斜量でクラスを形成し、さらにクラス同士を再度傾斜量で評価するという一連の概念で解くことが可能であることがわかった。都市部・山間部において場所を問わずパラメタは同一であることは特徴的であり、フィルタリングを分割することなく処理することが可能であることがわかった。

しかし、立体交差・橋梁などの構造物を地表と判定してしまうという問題は解決するに至らなかった。各種設計、防災などの分野においては高精度な地表面モデルと同時にそれに付随する構造物のモデル化も必要とされる。今後は、構造物を含めた形の地形モデルのあり方について研究を重ねていきたい。

### 参考文献

- 1) Raul Campos-Marquetti, Robert Kletzi, John Nipper, Scott Paulsen and Steve Scharf. Digital Terrain Mapping of Bernalillo County, New Mexico using Digital Orthophotography and Airborne LIDAR, 2000
- 2) 水野欽司、多変量データ解析講義、朝倉書店、1996
- 3) 安原院猛・長尾智晴、C言語による画像処理入門、昭晃堂、2000
- 4) 岡川正臣、Algorithm of Multiple Filter to Extract DSM from LIDAR data、写真測量学会平成13年度年次学術講演会発表論文
- 5) ESRI社 ArcInfo リファレンス TOPOGRID コマンド