

- 22 レーザー計測データを活用した避難経路用の道路網作成

Constructed the road network for the shelter simulation using Laser Measurement Data

上野幹夫¹・小林一郎²・山本一浩³・竹下史朗⁴

Ueno Mikio, Kobayashi Ichiro, Yamamoto Kazuhiro, and Shirou Takeshita

抄録: 航空レーザー計測が実用化され、3次元空間情報を容易に得られるようになった。特に近年多発する地震・集中豪雨等の防災関連で、航空レーザー測量の利活用が期待されている。本論文では、レーザー計測データを自動加工し道路網を作成する手法を提案する。また、作成された道路網は避難シミュレーションに適用し、その有効性を考察した。

Abstract: The laser measurement came to be able to be put to practical use, and to facilitate three dimension data. Especially, the profit use of the laser measurement is expected in the disaster prevention relations such as the earthquake and the localized torrential rain that happen frequently in recent years. In this thesis, the laser measurement data is processed automatically and it proposes the technique for making the road network. The made road network used for the shelter simulation, and considered the effectiveness.

キーワード: レーザー計測, 自動属性判別法, 道路網, 避難シミュレーション

Keywords: Laser measurement, Automatic attribute distinction, road network, shelter simulation

1. 序論

航空レーザー測量が普及し、広域の詳細な3次元データが取得可能となっている。航空レーザー測量により得られたレーザー計測データと航空写真画像は、GIS・防災・都市計画・設計・施工管理などさまざまな分野において利活用に関する研究が報告されている。

¹⁾²⁾近年、台風・集中豪雨・地震などの大規模な自然災害が多発し、国や地方自治体に対する「公助」としての防災対策が求められている。また、国民も防災に対する関心が高まる中、「自助・共助」と言われる言葉がよく使用されるようになってきた。住民の意識が行政によるハード対策のみに頼るのではなく、自分達の身は自分達で守るという意識も必要とされている。住民の防災に対する「自助・共助」の意識を高め、行政の「公助」を促すソフト面での整備を進め、全体として水害の軽減を目指すことが重要となってきている。³⁾

国土交通省ではソフト面における治水対策として、浸水想定区域図を作成・提供して、市町村の洪水ハザードマップ作成支援を強化している。洪水ハザードマップには、洪水の浸水状況や避難経路の情報が記されるが、それらデータ作成・解析シミュレーションには多大の労力が必要であった。

筆者らは、航空レーザー測量により得られた点群デ

ータ(以下LPデータ)のみによる自動属性判別法を提案し⁴⁾、河川氾濫解析のFEMメッシュを迅速かつ高精度に生成することに成功した⁵⁾。これにより、時刻歴で浸水状況が把握でき、詳細な災害予測が行えるようになった。

自動属性判別法は、LPデータを平面格子に分類し、1格子内の点データ群を縦断解析することで地形データと建物データに分離するものであるが、地形データからさらに道路のデータを抽出できれば、避難経路を求めるための道路網が構築でき、作業の効率化が図れるのではないかと筆者らは考えた。

本論文では、LPデータの自動加工により避難経路用の道路網を生成する手法について提案し、数値地図と比較してその可能性についてまとめたものである。なお、本研究で使用するレーザー計測データの計測仕様については、高層の建物によるレーザービームの遮断を防ぐため垂直に近いレーザー照射となるようスキャン角度等を考慮した。その計測仕様を表-1に示す。

表-1 レーザー計測データの計測仕様

項目	仕様
運用高度	1300m
パルス周波数	25/33kHz
高さ精度(1)	15cm(対地高度1000mにおいて)
水平精度(1)	1/2000×対地高度
スキャン角	0°~±10°(可変)

1 : 正会員 (株)構造計画研究所 事業開発部

(〒164-0011 東京都中野区中央4丁目5番3号、Tel:03-5342-1010、E-mail:ueno@kke.co.jp)

2 : 正会員 工博 熊本大学大学院 教授 自然科学研究科(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号)

3 : 正会員 博(工) 国土交通省 福井河川国道事務所(〒918-8015 福井市花堂南2丁目14番7号)

4 : 学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号)

c) 突起部除去

自動属性判別法では、屋根のない駐車場や民家の庭が地形と判断され、道路に付着する突起形状のようになる。このデータは除去する必要がある、自動削除する。対象とするマスの周辺8マス目を計算し、地形の個数が設定値以下の場合に対象のマス目を除去する。除去するマス目がなくなるまで繰り返し計算する。今回の設定値は4マスとし、**図 5**の左図の対象マスPは、3マスなので除去される。繰り返し計算し**図 5**の右図のようになる。設定値については、5以上だと斜めの形状も除去し、直交する道路しか取得できない。また、3以下だと突起部が残り過ぎてしまうので、設定値を変化させた結果4が最適な値となった。

(3) 道路中心線解析

マスのつながりを計算し長いものから解析する。解析は道路1本ごとに行い、解析で対象になったマスは削除される。マスが削除される前後では、つながりの状況が異なるため、解析前に再度斑点除去と微細線除去を行う。解析された中心線座標は複数本の折れ線データとして1ファイルに出力され、CADで表現できる仕組みにした。

a) 解析対象マス計算

全マスで上下左右のつながりを計算し、つながり最大のマスを抽出する。同じ最大値の場合、対角方向マス数の小さいほうのマスをにする。これにより対象マスと解析方向が決定する。**図 6**では、Pのつながりの最大は右8マス、Qは左8マスが最大となる。Pとも横方向なので対角方向の縦長さを計算し、Pは縦5マス、Q縦3マスとなりQが対象マスとなる。また、解析方向は右から左となる。

b) 中心位置計算

対角方向長さから中心位置を計算し、対角方向マス数の半分の位置を中心位置とする。**図 7**では、Qの縦マス数3なので2マス目のQCが中心位置になる。対角方向マス数が偶数の場合も同様の処理をし、対角方向マス数が4マスでも2マス目がQCとなる。

c) 中心位置追従

中心位置マスから解析方向に1マス移動させ(**図 8**のQCからQ1)に再度中心位置計算をする。繰り返し移動させ、データがなくなるQ7まで行い、道路中心線としてはQC~Q6までのXY座標をファイル出力する。また、抽出された道路に関連したマス(灰色部)を除去する。Q6のように道幅の変動にも対応でき、縦方向・斜め方向の線でも同様の処理で問題なく追従できる(**図 9**)。

d) 交差点処理

図 10でP1から右に追従させた場合、P3以降から交差点に入る。この場合、PPが中心位置になるが、P3からの変動量が大きくなるので交差点と認識

し、その場合中心位置はそのままスライドしP4とする。変動量は設定可能で今回は1.5倍にした。一般的な交差点は、片側1車線より右折車線を拡幅したものが多くと判断し、変動量を1.5とした。抽出後に削除されるマスは右図処理後の点線に囲まれたマスとし、交差点部分は残し、以降の解析で縦線を抽出しやすくした。

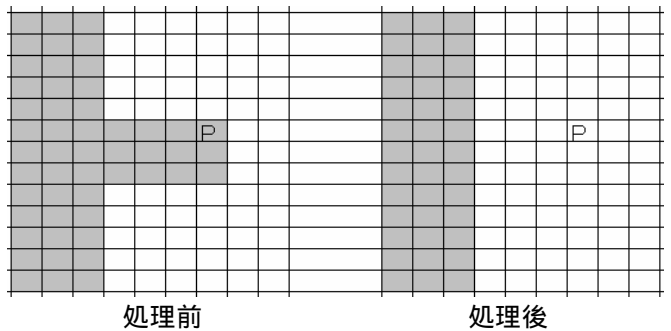


図 - 5 突起部除去

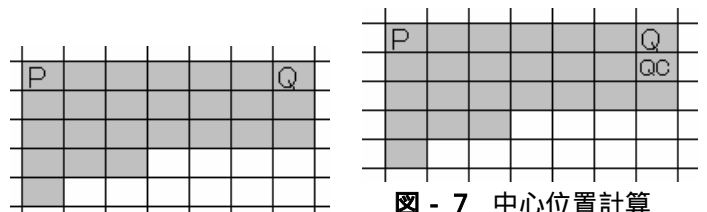


図 - 6 解析対象マス計算

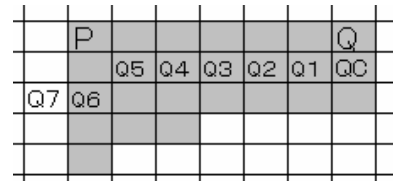


図 - 8 中心位置追従

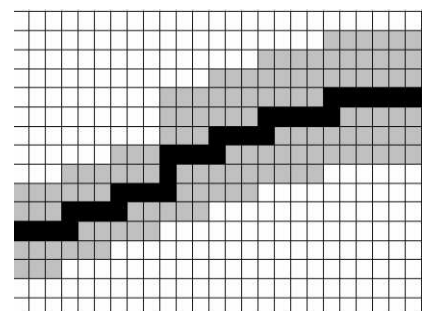


図 - 9 斜め線の中心位置計算

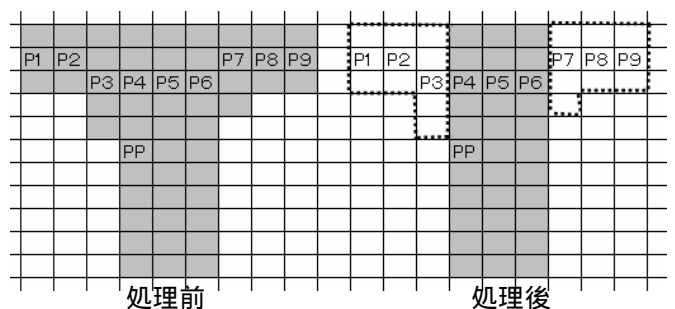


図 - 10 交差点処理

e) 広場処理

道路認識された形状が細長でない場合は、広場と認識し除去する必要がある。認識された長さで最大幅から長短比を計算し、設定値以下の場合は広場と認識し、座標出力は行わず、マス除去のみ行う。今回は美しい形状比率の黄金比(1:1.618)を参考にして設定値を1.5にした。図11では長さ6マス、最大幅5マスで長短比1.2なので広場と見なされる。

(4) 道路網構築

道路中心線解析した結果をCADで読み込むと、道路1本ごとにジグザグした折れ線になっている。そのため直線化補正や交差点連結処理を行う必要がある。道路網構築の各処理はCADの基本機能ですべて行う。ただしCADは土木測量CADであるCivil3D(オートデスク(株)社製)で行った。Civil3Dを採用した理由は、以下で解説するa)からd)の機能が標準装備されている、a)からd)の各処理を組み合わせ一括で処理を行うことができることである。その他のCADでも同機能が装備されていれば道路網構築は可能である。

a) 直線化補正

多点で構成する折れ線の点を間引き、直線化を行う。

b) 交差オブジェクトの分離

道路網を構築するため交差点で各直線を分離する必要がある。図14左図では、十字路が2本の道路で構成されているが、道路網にするには右図のように4本の道路で構成され交差点部分は端点で結合されなければならない。

c) 延長・削除

道路ごとに独立して求められた座標は、他の道路の線上に接続していない場合があり、図15左図のように足りない場合や突き抜ける場合がある。足りない場合は延長し、突き抜ける場合はトリム削除する必要がある。

d) 交差点近似

交差点は必ず1端点で連結しなければならない。従って、短い線は交差点近似で1点に集約させる。

c)d)とも道路延長が10m未満を対象外とするため今回の設定値は10mとした。

3. 道路網作成の経過

図17で実際のデータを用い、道路網を作成した経過を解説する。LPデータは図18に示す、福井市宝永四丁目の比較的都心部でさまざまな道路幅が存在するデータを用い、領域は200m四方で1マスは2m格子にした。マス数は100x100になる。

最初に自動属性判別法でLPデータを建物と地形に分類した。灰色部が地形で白色部が建物になる。次に

斑点除去等で整形処理を行った。黒色部分が除去されたデータとなり、道路部のみ表示した。次に道路中心線解析を行った。実際は一括処理で行うが、途中経過として数本処理した状態も図示した。次にCADで読み込み、折れ線状態のものを直線補正し、交差点処理を一括で行った。

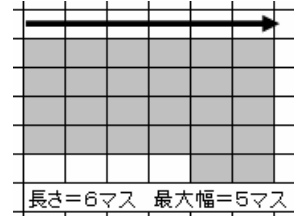


図 - 11 広場処理

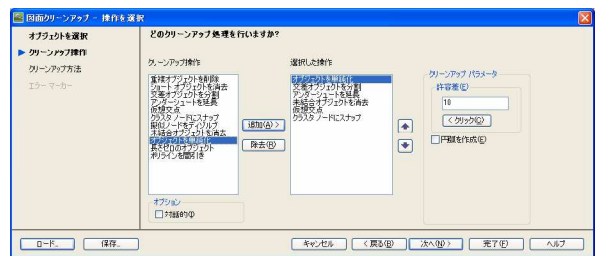


図 - 12 CADの一括処理設定画面



図 - 13 CAD機能による直線化補正

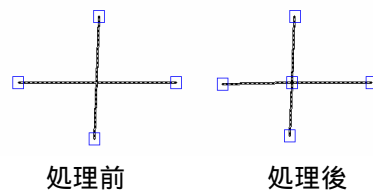


図 - 14 CAD機能による交差オブジェクトの分離

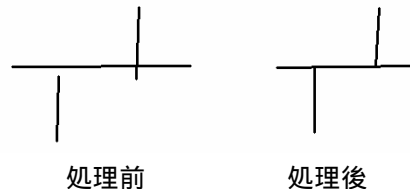


図 - 15 CAD機能による延長・削除

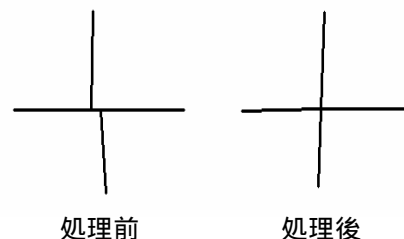
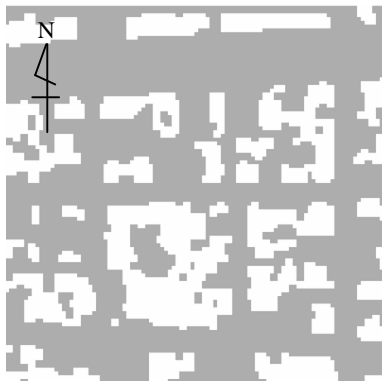


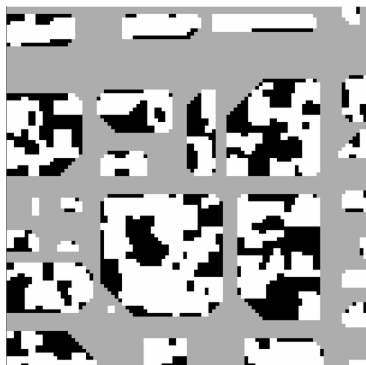
図 - 16 CAD機能による交差点近似



(a) 自動属性判別法で建物と地形に分類



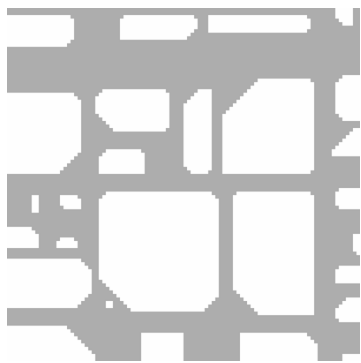
(e) 道路中心線解析した結果 (全て)



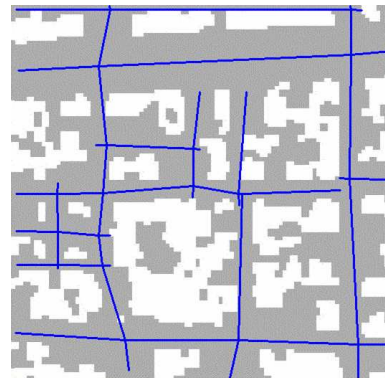
(b) 整形処理した結果



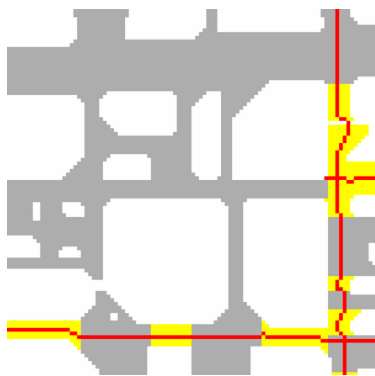
(f) C A D で読み込んだ結果



(c) 整形処理し道路部のみ表示



(g) 直線補正した結果

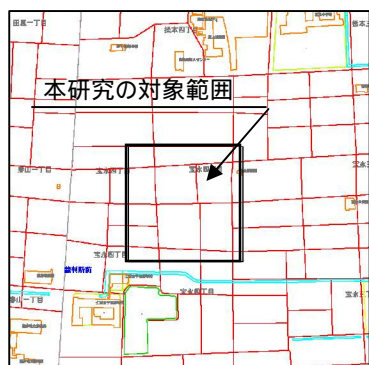


(d) 道路中心線解析した結果 (3 本まで)



(h) 交差点処理した結果 (完成)

図 - 1 7 実データでの処理経過



数値地図 2500



本システムで抽出

図 - 19 本システムで抽出した道路網と数値地図



図 - 18 対象範囲の住宅地図

4. 考察

比較するデータは、国土地理院発行の数値地図 2500 (福井市) の道路網と Google マップの住宅地図が考えられるが、双方とも今回の対象範囲に関しては同一形状であったことや、住宅地図では道路網の座標を正確に抑えられないことを考慮し、数値地図と本システムで作成した道路網を比較した。(図 - 19) 比較した項目は、道路網の形状と道路長さおよび各交差点の座標誤差の 3 項目とした。また作成に要した時間もまとめた。

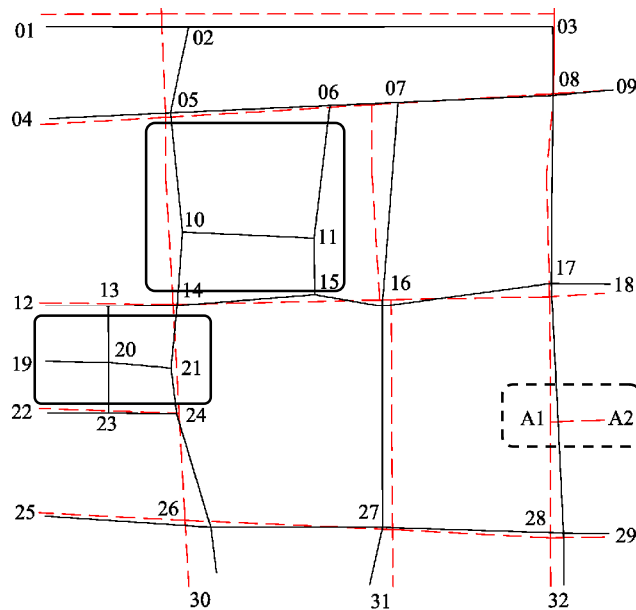
(1) 形状

数値地図と本システムで抽出した道路網を比較すると、形状としてはほぼ同じ形状で取得できた。また、道路幅の違う交差点の認識もできており、形状認識としては十分対応できている。しかし、図 - 20 の 及び の箇所取得しすぎた線形があり、また、 の箇所取得されていない線形が確認できた。領域全体で抽出された道路の本数は 52 本で、及び部の線形が 7 本、部の線形は 1 本であった。

及びの原因として、本システムにおいて路地のような細い道路や、駐車場を道路として認識していることが原因であることが、現地調査の結果から明らかとなった。これは、広場除去の対象が 10 m 以下としたため、それ以上の駐車場や広場を削除できなかったためである。設定値変更で対処可能だが、他処理とも絡むため今後の課題とする。

次にの原因としては、道路とすべき線形の長さが短く (10 m 以下)、取得対象とならなかったものと考えられる。これも設定値変更で対処可能だが、他処理とも絡むため今後の課題とする。

整形処理以外の道路中心線解析と道路網構築は信頼できるものと考えられる。



点線:数値地図 2500 実線:本システムで作成

図 - 20 節点番号

(2) 道路長さ

数値地図と本システムで抽出した各道路の長さとの誤差を表 - 2 に、誤差率のヒストグラムを図 - 21 にまとめた。本研究の対象は、避難経路用の道路であり、1 道路長さでの許容誤差を誤差率 10% 以下とした。誤差率は、0.08 ~ 30.98% で、平均は 9.59 となり許容範囲内となった。ヒストグラムでも誤差

率5%以下が最も多く、誤差率10%以下が全体の60%を占めている。30%を超える1データを除けば誤差率20%以下となる。

長さ誤差は0.03~12.00mで平均は4.38mとなった。この誤差は道路設計・施工分野で考えると、やや大きな誤差になると考えられる。しかし、点群データを分類したときに2m格子にしたため中心位置計算で偶数の場合は、1マスずれた結果になると2m違うことになる。この要因を考慮すれば平均で誤差4.38mに抑えられており、避難経路用の道路網としては十分な精度を確保できたと考えている。

表 - 2 各道路長さの誤差

位置	方向	数値地図との一致	道路長さ (m)		誤差 (m)	誤差率 (%)
			数値地図	本システム		
01-02	EW		42.25	49.00	6.75	15.98
02-03	EW		138.07	127.90	10.17	7.37
04-05	EW		43.96	42.50	1.46	3.32
02-05	SN		36.23	30.80	5.43	14.99
05-06	EW	-	-	56.00	-	-
06-07	EW	-	-	23.95	-	-
05-07	EW		72.40	80.01	7.61	10.51
07-08	EW		64.02	54.52	9.50	14.84
08-09	EW		17.86	21.14	3.28	18.37
03-08	SN		27.90	24.07	3.83	13.73
10-11	EW	-	-	46.25	-	-
05-10	SN	-	-	42.00	-	-
06-11	SN	-	-	46.81	-	-
12-13	EW	-	-	21.80	-	-
13-14	EW	-	-	24.20	-	-
12-14	EW		46.79	46.00	0.79	1.69
14-15	EW	-	-	48.45	-	-
15-16	EW	-	-	24.05	-	-
14-16	EW		72.62	72.50	0.12	0.17
10-14	SN	-	-	25.88	-	-
05-14	SN		65.65	67.88	2.23	3.40
11-15	SN	-	-	18.87	-	-
06-15	SN	-	-	65.68	-	-
07-16	SN		68.46	71.70	3.24	4.73
16-17	EW		55.71	59.94	4.23	7.59
17-18	EW		19.27	20.70	1.43	7.42
08-17	SN		71.21	65.91	5.30	7.44
19-20	EW	-	-	22.40	-	-
20-21	EW	-	-	21.98	-	-
19-21	EW	-	-	44.38	-	-
13-20	SN	-	-	20.04	-	-
14-21	SN	-	-	22.33	-	-
22-23	EW	-	-	21.40	-	-
23-24	EW	-	-	23.90	-	-
22-24	EW		49.09	45.30	3.79	7.72
20-23	SN	-	-	17.68	-	-
13-23	SN	-	-	37.72	-	-
21-24	SN	-	-	16.20	-	-
14-24	SN		38.56	38.53	0.03	0.08
25-26	EW		51.40	58.40	7.00	13.62
26-27	EW		72.97	60.97	12.00	16.45
27-28	EW		55.58	63.53	7.95	14.30
28-29	EW		18.98	15.90	3.08	16.23
24-26	SN		37.66	41.63	3.97	10.54
16-27	SN		81.00	77.88	3.12	3.85
17-A1	SN	-	44.20	-	-	-
A1-28	SN	-	40.80	-	-	-
17-28	SN		85.00	88.06	3.06	3.60
A1-A2	EW	-	18.94	-	-	-
26-30	SN		23.24	16.04	7.20	30.98
27-31	SN		20.00	20.57	0.57	2.85
28-32	SN		17.00	18.21	1.21	7.12
平均					4.38	9.59

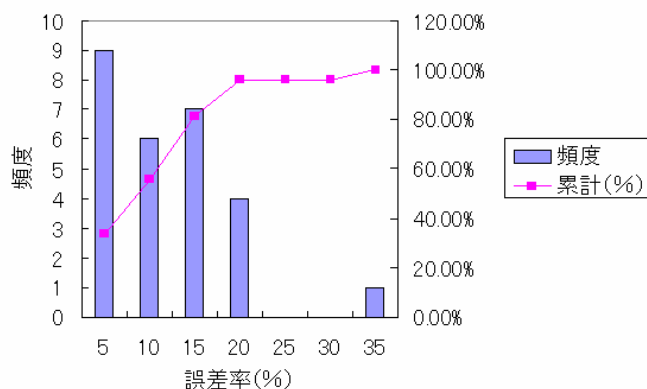


図 - 2 1 各道路長さ誤差のヒストグラム

(3) 座標精度

道路長さと同様に2つのデータを重ね合わせ、道路網構成節点(交差点)の同一点距離誤差を表-3にまとめた。誤差は0.63m~10.55mで数値地図と一致した交差点の12箇所の平均は4.47mであった。対象領域200m四方に対し平均誤差4.47mは、誤差率2.5%以下になる。また、最大誤差10.55mは、誤差率5%程度になり、避難経路用の道路網としては十分な精度が確保できたと考えている。

表 - 3 各交差点の距離誤差

位置	数値地図との一致	距離誤差 (m)	位置	数値地図との一致	距離誤差 (m)
2		10.55	15	x	-
3		4.46	16		3.92
5		2.33	17		4.74
6	x	-	20	x	-
7		9.25	21	x	-
8		0.63	23	x	-
10	x	-	24		0.84
11	x	-	26		9.39
13	x	-	27		3.52
14		1.51	28		4.89
平均					4.47

(4) 作成時間

道路網の形状等の検証には、数値地図との比較により行ったが、作成時間については、目視で道路網を作成した場合とを比較することとした。目視による作成時間は約4分であったのに対し、本システムでは約2分30秒で作成できた。従って、約40%の省力化が図れたことになる。本システムでは、プログラム処理時間は数秒であり、入出力ファイル名を設定する時間や対象図形選択および設定値の入力がほとんどの時間を占めている。設定部のプログラム改造を行えば、さらに省力化が見込められると思われる。なお使用したコンピュータのスペックは、MEM:2GB, CPU:2.16GHzで一般的なノートパソコンである。

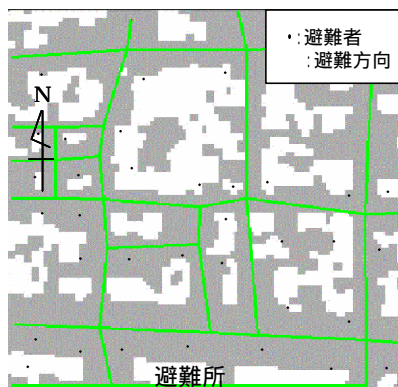
表 - 4 作成時間

項目	所要時間
自動属性判別法	約1分
道路中心線解析	約30秒
道路網構築	約1分
合計	約2分30秒

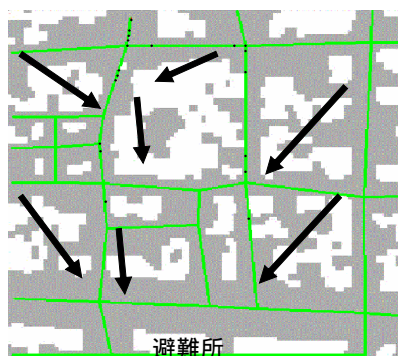
5. 適用例

作成した道路網を使って、避難シミュレーションを行った。ツールは、(株)構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータ(KK-MAS)を用いた。マルチエージェントシミュレーションには、エージェントにさまざまな変数を持たせることができ、さらに同一空間上に性質の異なる複数のエージェントを配置できるという特徴がある。通常のマルチエージェントシミュレーションでは、空間はセルオートマトンと呼ばれる1辺が均等な格子空間にしている⁶⁾⁷⁾。従って、避難者は、隣接する周辺8マスを時系列に従い移動する。しかし、道路を使っての避難においては、道路ネットワークを構築しその上を移動したほうが、より正確なシミュレーション結果を得ることになると考え、KK-MASを改造した。

本モデルでは、避難所を下部中央とし、避難者を40人配置した(図-22)。避難開始後、避難者は避難所に向かい構築した道路網を移動していることが確認できた。



(a) 避難者を配置



(b) 避難開始2分後

図-22 適用事例

6. 結論

本研究で、レーザー計測を自動加工することで避難用道路網を構築し、避難シミュレーションに適用することが確認できた。また、数値地図と比較し、避難用道路網として利用する精度を確保することができた。

本システムは、設定値を変更することでさまざまな地域や範囲のデータに対応し、処理結果を画面で確認しながら作業を進めることも可能であり、避難用道路網構築の有効なツールであることがわかった。

課題としては、座標精度向上と広範囲での一括処理が挙げられる。今後は、2m格子をさらに細かく0.5m格子にして座標精度向上を目指したい。これには、LPデータ取得時に取得点数をもっと多くし、0.5m格子に10点以上のデータを取得し平均化しないと、精度向上の意味はないと考えている。広範囲の一括処理については、今回200m四方の領域で道路網構築を行ったが、領域を拡大し1000m四方程度の領域を可能にできるよう検討したい。今回はLPデータのみで行ったが、今後は航空写真を加えて色判別を加味するなどの工夫が必要ではないかと考えている。

今回の道路網は避難経路に使用したが、ナビゲーションなどにも適用できるものと考えている。また、今回の道路網は2次元データにしたが、LPデータは3次元情報であり、節点にZ値を付加させれば3次元の道路網を構築できる。これは、下水道概略設計の管網計算や、洪水氾濫・内水の計算にも適用できるのではないかと考えている。

今回、交差点近似などで地図作成やGIS機能を装備したCADを使用し、研究作業でかなり省力化が図れた。また既存の避難シミュレータも使い適用例まで確認することができた。筆者らは、レーザー計測という測量技術とさまざまなソフトを利活用し、幅広い分野の複雑な問題を今後も解決していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 川本一樹ほか：レーザーキャナーを活用した河道モデル作成手法に関する研究、土木学会第57回年次学術講演会、pp.393-394、2002年9月
- 2) 吉川由里子ほか：道路設計業務におけるレーザープロファイルの利用、日本測量調査技術協会APA No79-8、2001年8月
- 3) 森野美徳監修 日経コンストラクション編：水害の世界 - 日本列島で何が起きているのか -、pp136-177、2005年7月
- 4) 山本一浩ほか：自動属性判別法によるレーザー計測データの有効活用について、土木情報利用技術論文集 Vol.14、pp.79-86、2005年10月
- 5) 上野幹夫ほか：レーザー計測データを用いた有限要素法による洪水氾濫解析、土木情報利用技術論文集 Vol.14、pp.1-6、2005年10月
- 6) 新井健、増田浩通：災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル、第3回KK-MASコンペ、http://mas.kke.co.jp/event/mas_competition3 2006年9月1日
- 7) 犬飼洋平、小国健二、堀宗朗：避難行動予測のための計測に基づくマルチエージェントシミュレータの開発、土木学会応用力学論文集、Vol.8、pp.629-636、2005年9月

(2007.5.18受付)