平成 28 年度　卒業論文

直方体を利用した 3 次元物体の概形近似モデリング

指導教員　椋木雅之　教授

宮崎大学　工学部　情報システム工学科

田﨑　貴大

目次

1　はじめに

近年、個人向けの３Ｄプリンターの登場や一部企業が行っている３次元データの公開などにより、３次元データを扱える環境が整ってきている。さらに、個人同士が３次元データを共有できるサービスや３ＤＣＡＤデータを作成するサービスも展開されてきている。このような背景から実際に存在する物体（以下、実物体と表記）の 3 次元データが求められる場面が生じており、実物体の３次元モデリングを行う技術が必要とされている。

３次元モデリングとは、３次元物体の形状データを作成することである。３次元モデリングの手法には、様々なものがある。例えば[1]では、物体の形を手書きスケッチにより与えることで手軽に 3 次元モデリングを行う手法を提案している。３次元モデリング手法の一つに、実物体の点群計測を行い、その点群に対してサーフェイスモデルを作成する手法がある。サーフェイスモデルでは、物体の３次元形状を３次元空間内の頂点、頂点同士をつないだ線分、いくつかの線分からなる閉ループである面によって表現する。サーフェイスモデルは３次元グラフィックスで最もよく使われている３次元形状データの表現方法である。

[2]では、取得した点群に対して近似する平面を推定しサーフェイスモデルを作成し、整形を行うことにより実物体の３次元モデリングを行っている。得られる３次元モデルは、辺の長さがそろった近似モデルとなる。しかし、全ての面が平面で構成されている実物体のみを対象としており、曲面などを含む複雑な面で構成されている場合、３次元モデリングを行うことができない。

本研究では、複雑な形をした物体に対しても、その概形を近似したモデリングを行う手法を提案する。本研究での概形近似モデリングは、元の物体の形状との誤差が少なく、かつ、単純な基本図形の少数の組み合わせで表現したモデルを作成することとする。概形近似モデリングを行うことにより、データ量の削減や物体の大まかな形の把握ができる。

本研究では概形近似を行う基本図形として、直方体を利用する。直方体は、縦・横・高さの大きさを自由に変更することができ、どのような物体に対しても利用しやすいと考えたからである。

2　直方体による概形近似手法

本研究では物体の内側から直方体を当てはめてサイズを大きくしていき、最大の直方体で近似する。さらに詳細な近似を行う際には、残った部分を分割し、分割した部分それぞれに同様に直方体を当てはめる。近似モデルと元の物体形状との誤差と、近似に利用する直方体の数はトレードオフの関係にあるが、直方体当てはめの回数により調整できる。

本研究の提案する手法の流れは以下の通りである。

1. 点群からボリュームモデルへの変換
2. 近似開始点の決定
3. 直方体当てはめ
4. ボリュームモデルの分割
5. 分割した直方体の合成

直方体を当てはめる際の物体のモデルには、ボクセル空間で表現されたボリュームモデルを用いる。ボリュームモデルとは、空間内に定義されたパラメータ分布により 3 次元的な形状を表現する手法のことである[3]。ボリュームモデルを利用するのは、直方体を利用した概形近似が行いやすいと考えたからである。

2.1　点群からボリュームモデルへの変換

直方体を当てはめる際に点情報のあるなしを判定しやすいように、与えられた点群データからボリュームモデルへ変換する。100×100×100 の大きさのボクセル空間に点群データを変換したものをボリュームモデルとする。点群データの点の座標を(x,y,z)、その点群中での座標の最小値を(minx,miny,minz)、x,y,z 軸すべての方向で点群が存在する最大の幅を width とすると、ボクセル空間での座標(X,Y,Z)は次式で求められる。

$$X = 100 * (x - minx) / width$$

$$Y = 100 * (y - miny) / width$$

$$Z = 100 * (z - minz) / width$$

求めた(X,Y,Z)について voxel(X,Y,Z)=1 とし、そこに物体が存在することを表す。

与えられた点群データが図形の表面だけの場合や穴がある場合がある。そのためボリュームモデルへ変換する場合に隙間なく埋める必要がある。隙間を埋めるために、まず、Z 座標を固定した XY 平面を考える。XY 平面上で X 座標を固定した各ラインについて、Y 座標の最大値と最小値を求め、その間に含まれているボクセルを voxel(X,Y,Z)=1 として隙間を埋める。同様に Y 座標を固定した各ラインについて、その間を埋める。さらに X 座標を固定した YZ 平面と Y 座標を固定した ZX 平面でも同様の処理を行う。これらの共通部分をとることにより、隙間のないボリュームモデルへ変換する。

2.2　近似開始点の決定

直方体を利用した概形近似を行う際に、近似を行う開始点が必要となる。条件として、点情報のあるなしの判定により近似を行うので物体のボリューム内に開始点がある必要がある。また、できるだけ大きな直方体で近似を行うために中心付近に開始点がある必要がある。今回は、開始点をボリュームモデルの座標の平均値(Xg,Yg,Zg)とした。

2.3　直方体当てはめ

X 方向、Y 方向、Z 方向にそれぞれどれぐらいの大きさで当てはめればよいかは元の図形により違ってくる。本研究では開始点の座標(Xg,Yg,Zg)から 6 方向（X 座標、Y 座標、Z 座標それぞれの正負の方向）に直方体を広げていき、ボリュームモデルのボクセル内に物体が含まれていない場合は当てはめを終了することとする。ただし、1 度に全方向広げることができないため、1 方向ずつ広げるものとする。直方体の各面は X 軸、Y 軸、Z 軸に垂直とする。X 軸の左端、右端の面の X 座標を Xs、Xe とする。同様に Ys、Ye、Zs、Ze を定める。

2.3.1　拡大方向の決定

当てはめている直方体の座標(Xs, Xe, Ys, Ye, Zs, Ze)と開始点の座標(Xg, Yg, Zg)それぞれの差を求めて、一番距離が短い座標の方向に拡大するものとする。距離が同じ場合は Xe 方向、Xs 方向、Ye 方向、Ys 方向、Ze 方向、Zs 方向の順に拡大する。

2.3.2　直方体の拡大

2.3.1 節で求めた拡大方向に対して開始点(Xg, Yg, Zg)からの距離が 1 だけ遠い面が物体内に完全に含まれていれば直方体を拡大する。面内に物体外のボクセルが存在する場合は、2.3.1 節で求めた方向の次に距離が短い方向に対して同様のことを行う。

例えば、拡大方向として Xe が選択された場合、開始点(Xg, Yg, Zg)より 1 だけ距離が遠い、即ち Xe に 1 を加えた座標で、かつ現在当てはめている直方体の Xe 方向の面内全てに物体が存在している場合に直方体を拡大する。もし、少しでも欠けていた場合は、今使用した Xe 以外で 2.3.1 節により再度拡大方向を求めて同様の処理を行う。

2.4　ボリュームモデルの分割

2.3.2 節である方向に直方体を拡大できなかったとき、その方向のボクセルを新たなボクセル空間にコピーした上で取り除く。6 方向全てについて拡大が終了すると元のボリュームモデルは、新たな 6 つのボクセル空間のモデルと 1 つの直方体に分割される。各ボクセル空間は、直方体で近似できなかった残差のボリュームを含む。より詳細な近似を行う場合には、分割した各ボクセル空間に対して、2.2 節～2.4 節の処理を繰り返す。

2.5　分割した直方体の合成

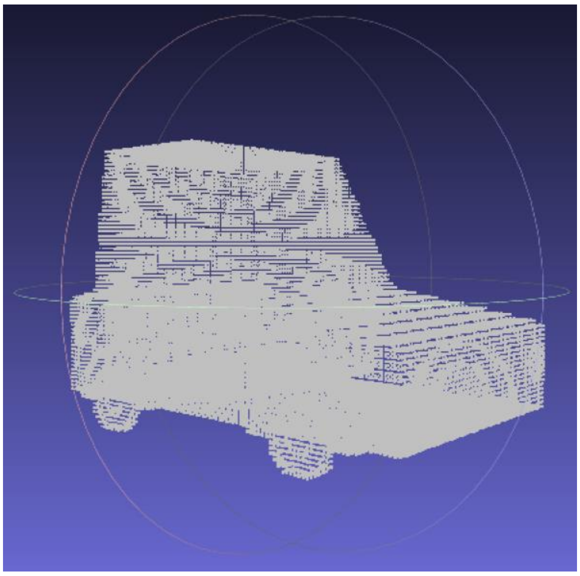
2.2節～2.4節を何度も繰り返すことにより、複数の分割された直方体が得られる。それらの分割した直方体を合成し、1 つのモデルにすることで、もとの物体の概形近似モデルを作成する。

3　実験

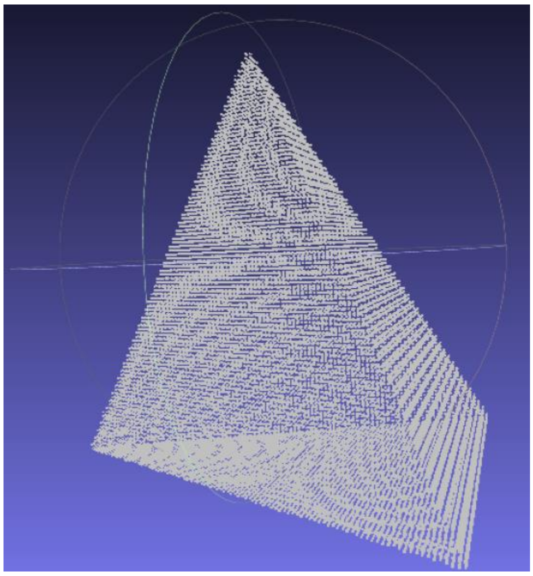
3.1　対象データ

提案手法による３次元モデリングにより、目標とした概形近似を行ったモデルが作成できるかを確認する。

無料で提供されている車の形をした３次元データ[4]（図 1a)）と三角錐の合成データ（図 1b)）に対して提案手法により概形近似モデリングを行った。



a）車



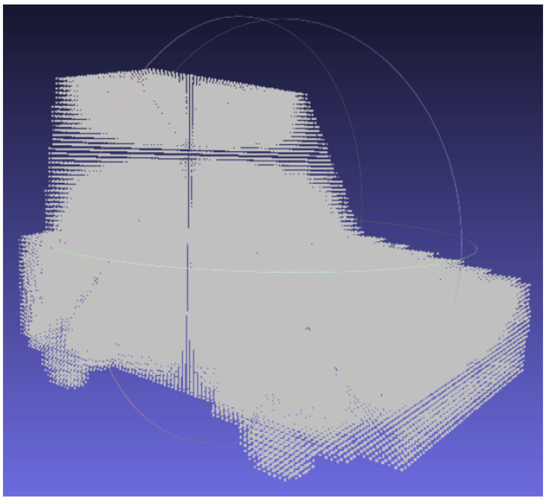
b）三角錐

図１: 対象データ

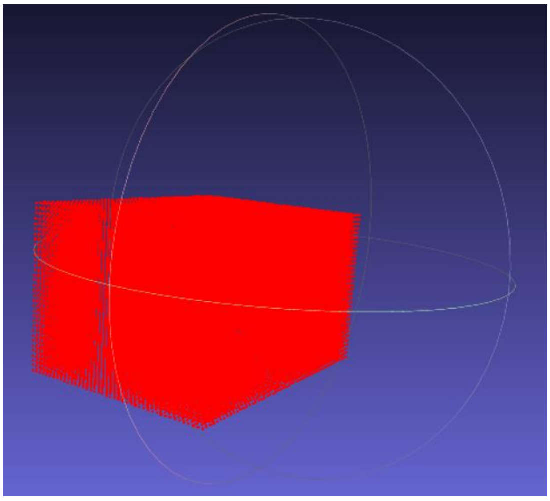
3.2　実験結果

図 1a)に提案手法を適用した結果を図 2 に示す。a)はボリュームモデルへの変換結果、b)～f)は 1～5 回目の直方体当てはめの結果である。同様に、図 1 b)に提案手法を適用した結果を図 3 に示す。また、ボリュームモデルと 1～5 回目の直方体当てはめによるボクセルの数、それぞれの近似度、近似した際に使用した直方体の数をそれぞれ表 1 と表 2 に示す。近似度とは、ボリュームモデルでのボクセル数を基準として、近似した直方体のボクセル数の割合を表すものである。

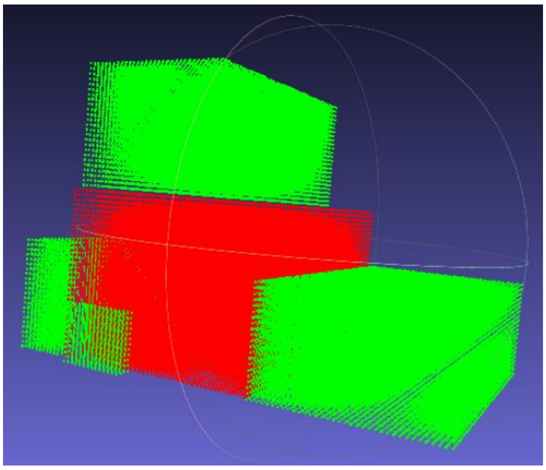
$$\text{近似度} = \frac{\textit{近似した直方体のボクセル数}}{\textit{元のボリュームモデルでのボクセル数}}$$



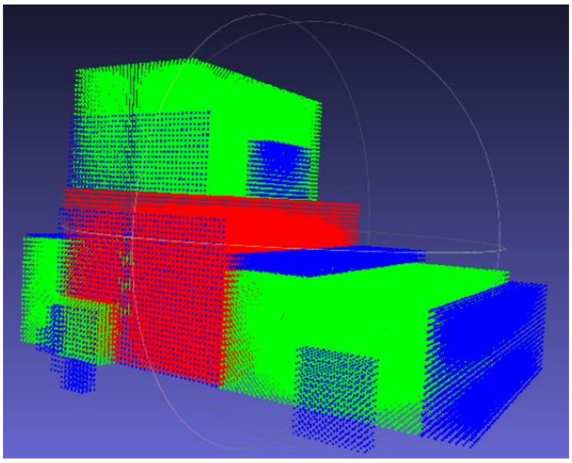
a）ボリュームモデル



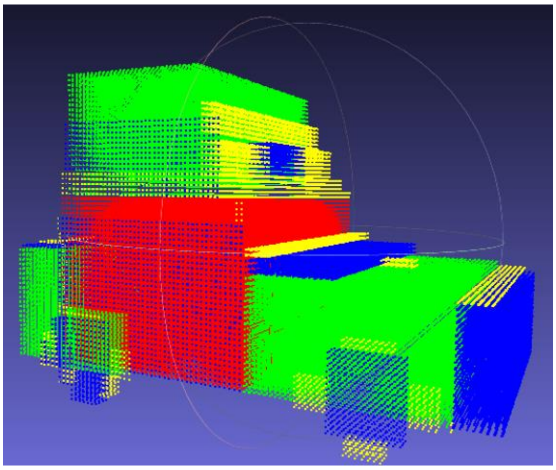
b）　当てはめ 1 回目



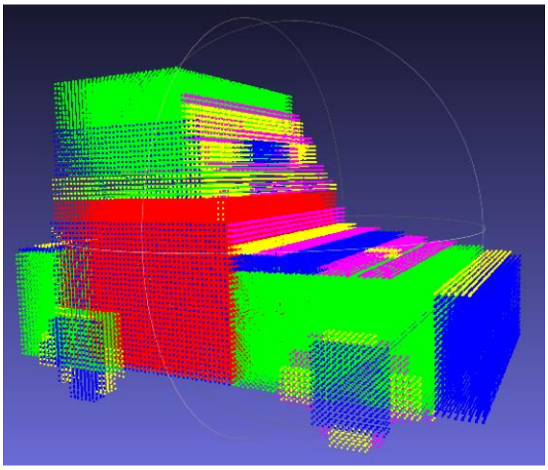
c）　当てはめ 2 回目



d）　当てはめ 3 回目



e)　当てはめ 4 回目

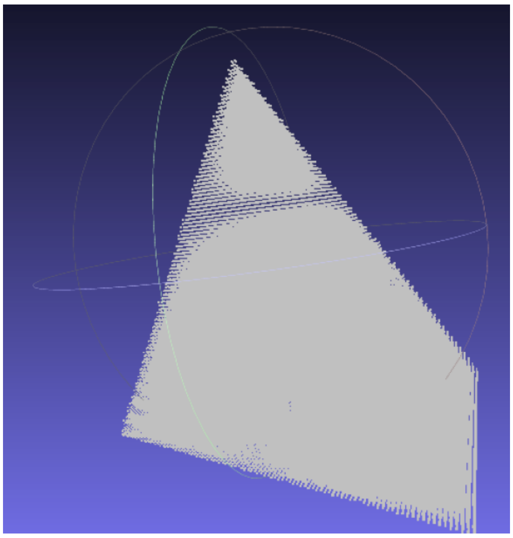


f)　当てはめ 5 回目

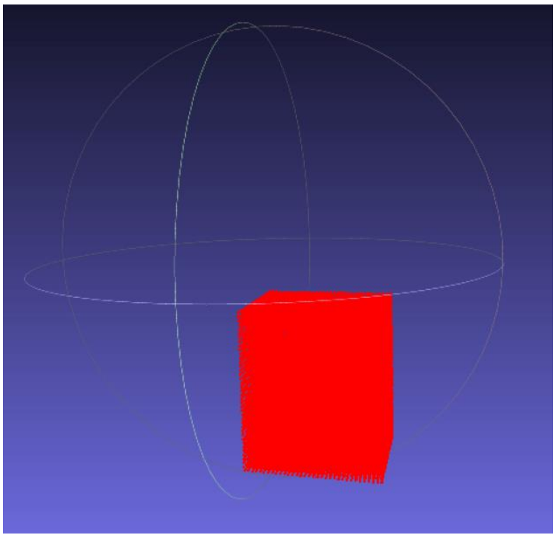
図 2：車の概形近似の結果

表 1：車のボクセル数と近似度と直方体の数

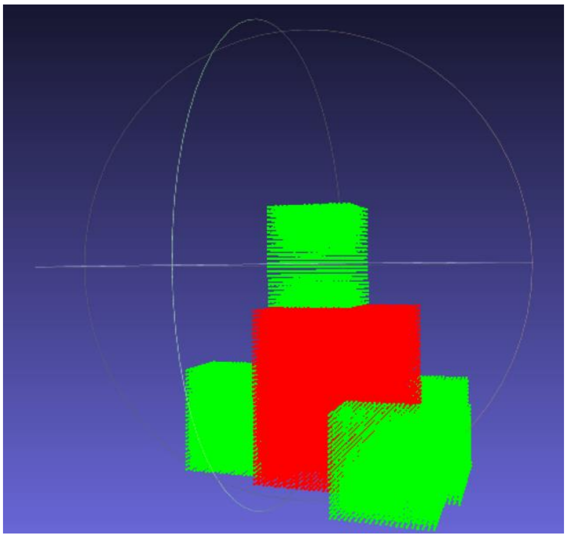
	a)	b)	c)
ボクセル数	209909	80410	180115
近似度	1	0.38	0.86
直方体の数		1	6
	d)	e)	f)
ボクセル数	197639	204195	208811
近似度	0.94	0.97	0.99
直方体の数	25	64	122



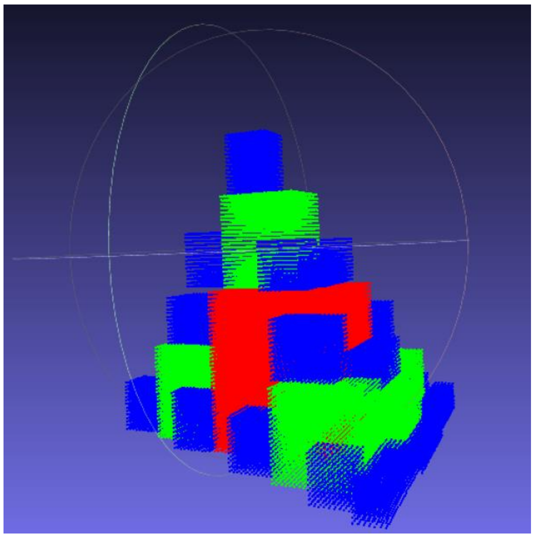
a）ボリュームモデル



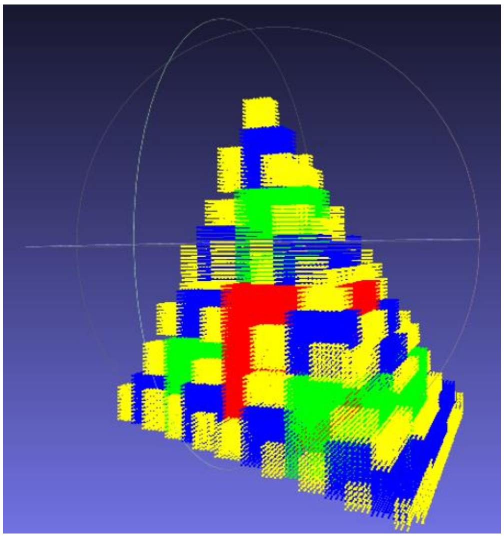
b）　当てはめ 1 回目



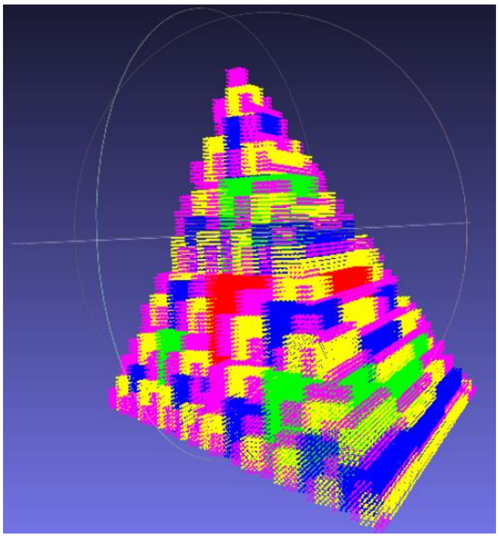
c）　当てはめ 2 回目



d）　当てはめ 3 回目



e）当てはめ 4 回目



f） 当てはめ 5 回目

図 3：三角錐の概形近似の結果

表 2：三角錐のボクセル数と近似度と直方体の数

	a)	b)	c)
ボクセル数	178090	40800	78756
近似度	1	0.23	0.44
直方体の数		1	6
	d)	e)	f)
ボクセル数	111820	138531	158774
近似度	0.63	0.78	0.89
直方体の数	26	88	276

3.3　考察

車の形のデータでの概形近似では、2 回目で近似率がすでに 80%を超えており、5 回目では 99%となり、ほとんど誤差のない結果が出た。また、直方体の数も 2 回目では 6 個、5 回目では 122 個と少ない数で表現することができており、かなりのデータ量の削減ができた。

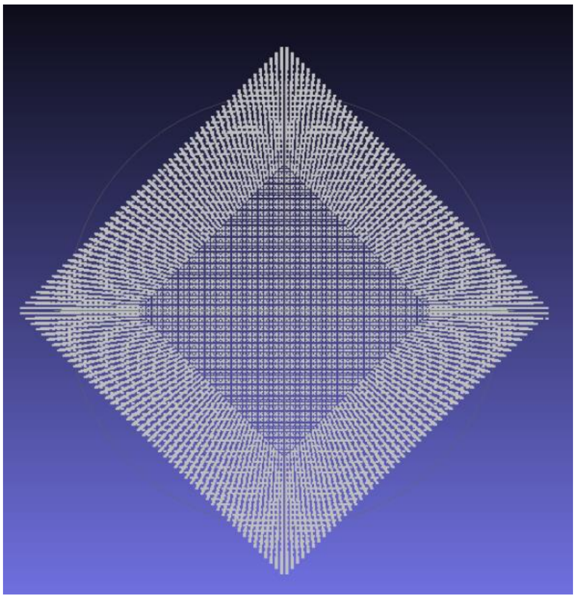
三角錐のデータでの概形近似モデリングでは、5 回目で 90%近くの近似率があり、あまり誤差のない結果が出た。また、5 回目で 276 個の直方体で表現することができ、データ量の削減ができた。

しかし、車と三角錐を比べると、5 回目での近似度が車の方が高く、直方体の数が車の方が少ないので、車の方がよい結果になっている。これは、車が近似図形である直方体に似た形で構成されていたためである。三角錐は直方体として分割できない部分が多いため、誤差が大きくなった。元の図形に似た基本図形で近似を行うとより良い結果が出ると考えられる。

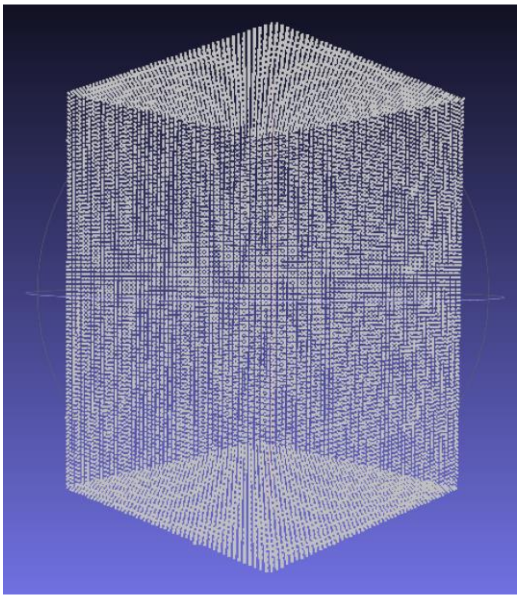
3.4　回転した図形に対する追加実験

提案する手法では、基本図形が x, y, z 軸に平行な面で構成されている直方体であった。それぞれの軸に平行な面がない場合でも有効か確認するために追加実験を行った。

対象とした物体は、有効性の確認をしやすくするために図 4 のような直方体を 90 度回転させたものとした。提案手法を適用した結果を図 5 に示す。a)と b)は上方向と横方向から見たボリュームモデルへの変換結果、c)～l)は上方向と横方向から見た 1～5 回目の直方体当てはめの結果である。また、ボリュームモデルと 1～5 回目の直方体当てはめによるボクセルの数、それぞれの近似度、近似した際に使用した直方体の数を表 3 に示す。

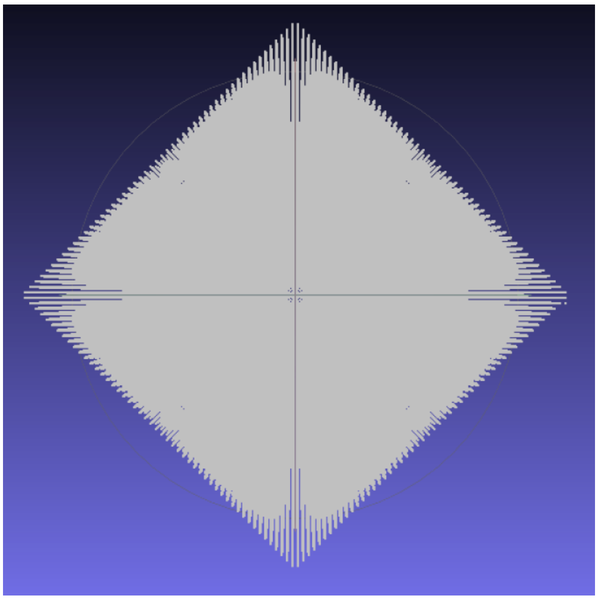


a）上から見た図形

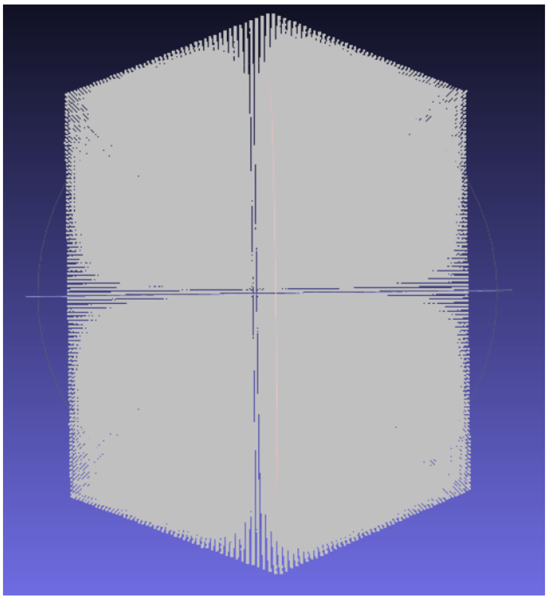


b）横から見た図形

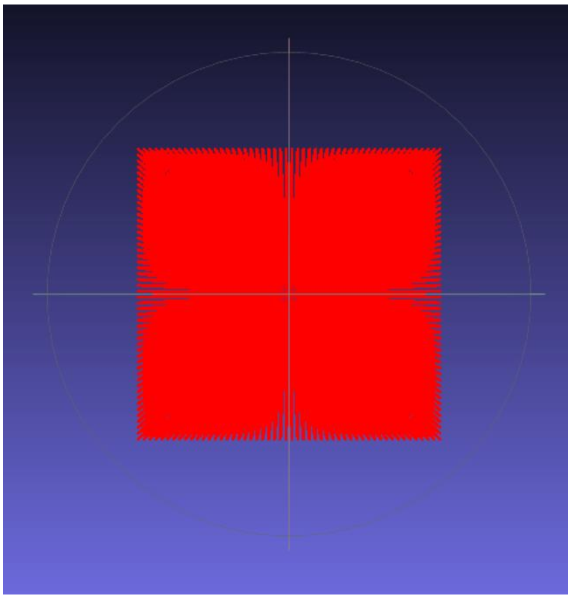
図 4：90 度回転させた直方体



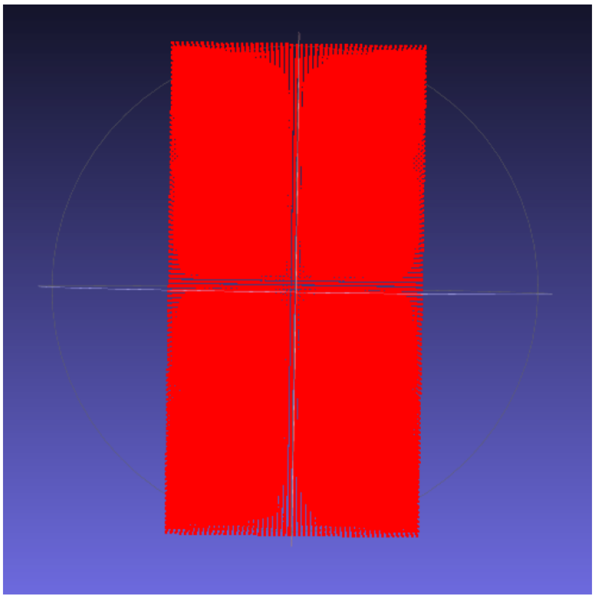
a）ボリュームモデル（上）



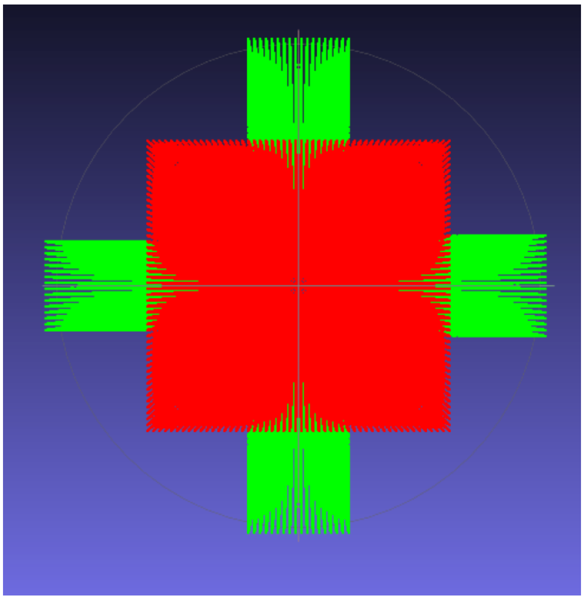
b）ボリュームモデル（横）



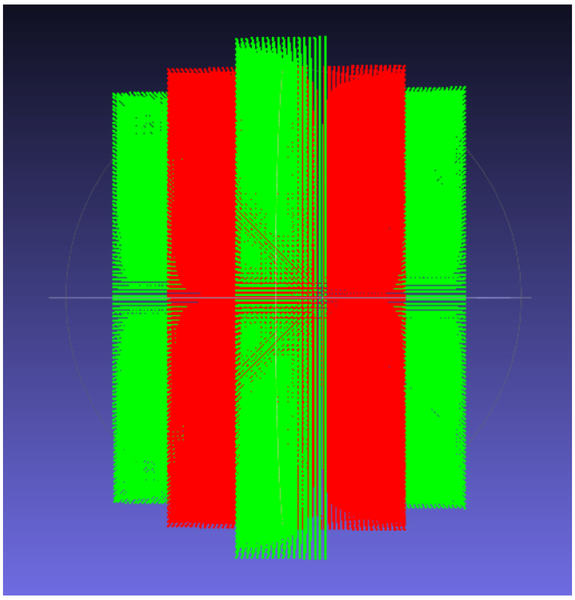
c）　当てはめ 1 回目（上）



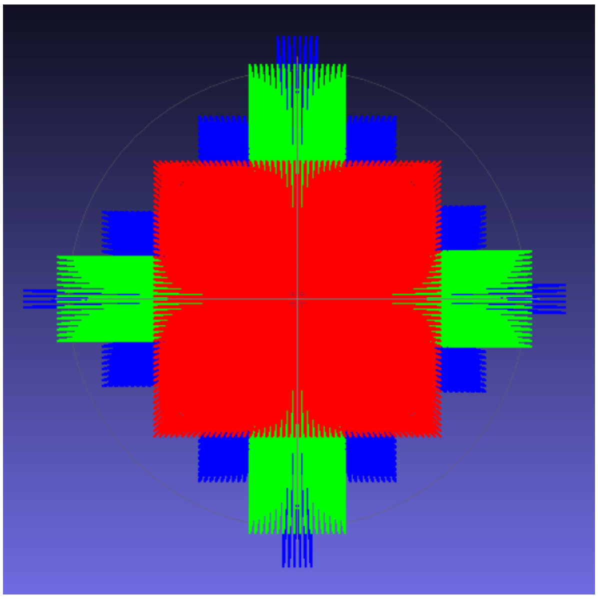
d）　当てはめ 1 回目（横）



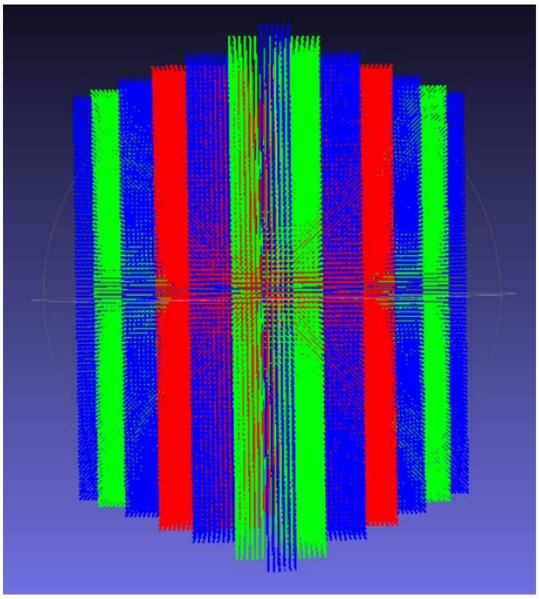
e） 当てはめ 2 回目（上）



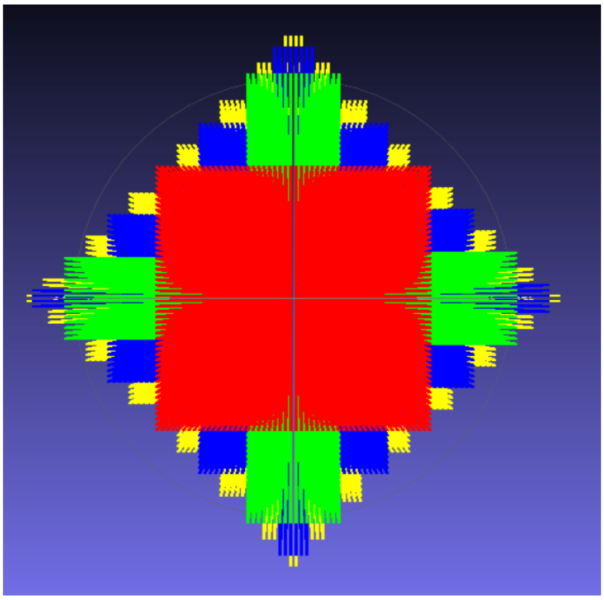
f） 当てはめ 2 回目（横）



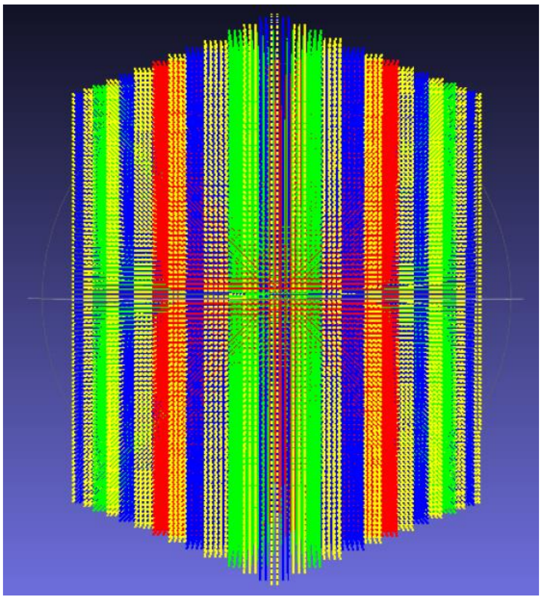
g） 当てはめ 3 回目（上）



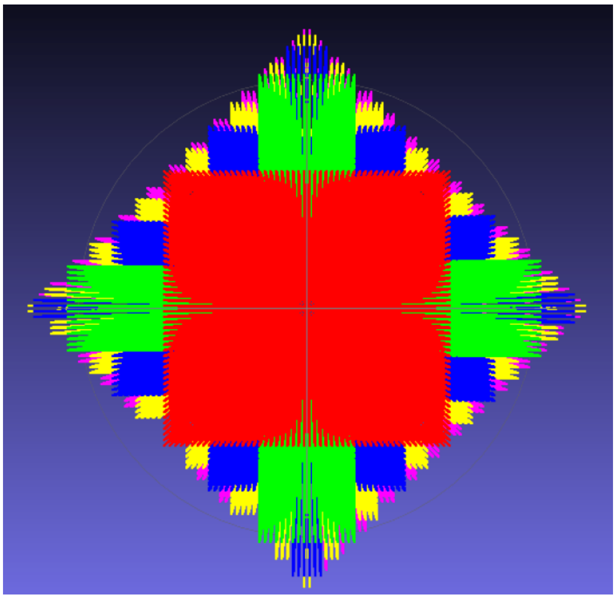
h） 当てはめ 3 回目（横）



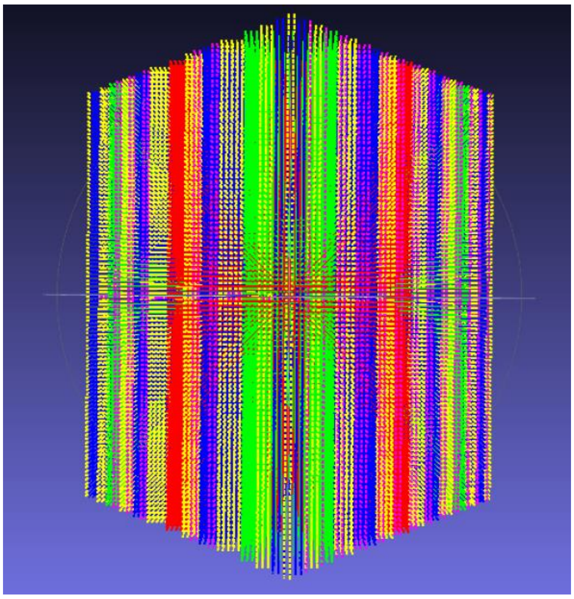
i）　当てはめ 4 回目（上）



j）　当てはめ 4 回目（横）



k）　当てはめ 5 回目（上）



l）　当てはめ 5 回目（横）

図 5：回転した直方体の概形近似の結果

表 3：回転した直方体のボクセル数と近似度と直方体の数

	a)	c)	e)
ボクセル数	510035	260000	377200
近似度	1	0.51	0.74
直方体の数		1	5
	g)	i)	k)
ボクセル数	446800	483100	497737
近似度	0.88	0.95	0.98
直方体の数	17	45	96

90 度回転した直方体の概形近似では、近似度が 3 回目で 80%を超えており、5 回目では 98%となり、ほとんど誤差のない結果が出た。また、直方体の数も 3 回目では 17 個、5 回目では 96 個と少ない数で表現することができている。しかし、回転をしてない場合では 1 回目で近似度が 100%、直方体の数も 1 個となるので効率がよいとはいえない。したがって、当てはめを行う際に開始点だけではなく直方体を拡大していくための軸も考える必要がある。

4　おわりに

本研究では、直方体を用いた３次元物体の概形近似モデリングを行った。5 回の近似回数で誤差の少ない結果を得られることがわかった。

今後の課題としては、本研究ではノイズのないデータを扱ったが、実物体を計測して得た点群に対して概形近似モデリングが行えるかを確認する必要がある。また、近似するための基本図形として直方体ではなく、他の図形の利用や、拡大方向の軸を決めた概形近似モデリングが行えるかを検討していきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方々に協力をしていただきました。大変お世話になりましたことをこの場をお借りしてお礼申し上げます。

指導教員の椋木雅之教授には、本研究や論文の作成に関して様々な助言やご指導をしていただき、ほんとうにありがとうございました。

椋木研究室の皆様には、日々研究を進めるに当たって様々な助言をいただきました。とても感謝しています。

家族や友人などその他の多くの方々には、論文を作成するにあたって日々の生活を支えてくださり、本当に感謝しています。

参考文献

[1] 五十嵐健夫,松岡聡,田中英彦,“手書きスケッチによるモデリングシステム Teddy”,ACM SIGGRAPA 99,1999

[2] 二宮龍之介,“平面で構成された実物体の３次元モデリングと整形”,宮崎大学工学部情報システム工学科卒業論文,2016

[3] 中嶋竜太,河合敏幸,“ボリューム表現によるオパールのモデル化及び散乱と回析を考慮した映像化”,平成 22 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集,G-02,2010-9

[4] TF3DM – 3D Models for Free,
http://tf3dm.com/3d-model/low-poly-car-33637.html