

【研究支援ツール紹介のコーナー】

3次元形状入力へのおさそい

—人文科学の道具として—

Invitation for Three Dimensional Shape Analyzing

— As a Tool for Humanities —

濱 裕光†

Hiromitsu HAMA†

† 大阪市立大学工学部情報工学科
〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138

Fac. of Eng., Osaka City Univ., Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshiku, Osaka, JAPAN 558

あらまし ここでは、ソフト&ハードの両面から3次元形状入力ツールの紹介をします。従来は3次元形状の入力には、かなり高価なツールを使用してきたが、最近になって縦続けにいくつかの製品が発表されました。これらは、我々でも十分に手の届く範囲の価格帯にあり、今後の普及が期待されます。このような状況の中で、具体的にいくつかの製品を取り上げて、「どのようなものか？お値段はいくら位か？」などを含めて、紹介します。3次元形状が扱えるようになることで、人文科学における新しい道具となることを願って筆を執ったが、いかがなものでしょうか。日経CGに関連記事が掲載されたのをきっかけに、多少の独断と偏見とを含めて、紹介していきたい。

最初は少し驚きましたが、現状の技術では、少し準備をしておけば、1枚の写真からでも3次元形状の入力が可能です。言われてみれば、コロンブスの卵的発想だが、そのような製品が既に発売されており、密やかな主戦場になっています。そのため、各社の工夫はノウハウの部分がかかなりあり、その詳細は発表されておらず、原理的に不明解な部分もあるので、あとは類推するより仕方ありません。

モアイの像の3次元形状が写真から復元でき

たら、全国にあるお地蔵さんの形が計測できたら、彼女の3サイズを公園で一緒に写した写真から内緒で知ることができたら、・・・いいと思いませんか。ステレオ視の原理などを理解している方の中には、「たった1枚の写真から3次元形状を決めるなんてことできる訳ないではないか。」とおっしゃる方も多いたとも思います。多少の準備は必要ですが、それができるのです。不思議でしょう。まさにコロンブスの卵なのです。それも高いコストをかけなくても可能なのです。もちろん、多くの写真を用意すれば、それだけ精度は良くなります。写真から立体データがとれるため、立入不可能な場所、例えば国宝の石庭や建造物、あるいは触れることが禁止されている重要文化財などの3次元データの入手が可能になるのです。この際、3次元での分析を試みてみませんか。これが本稿の趣旨です。本稿は概説をするだけですから、詳しくは参考文献を参照して下さい。

でも、写真を取って現像に出して出来上がりとは行かないのが、ちょっと難点です。多少の手間ひもとノウハウ（練習）が必要ですが、それだけの価値は十分あります。まあ一度面倒くさがらずに、トライして見ませんか。結構面白いですよ。

Abstract Three dimensional shape input tools are introduced here. Such tools have been expensive, but now some new products are announced at low price. It is expected that these tools will become useful tools for humanities. Then three dimensional shape analyzing become popular and possible. Let's try to use these interesting and powerful tools which have maybe infinite possibility.

キーワード: 3次元形状入力、形状解析、画像計測、デジタルカメラ、やる気&元気

Keywords: Three Dimensional Input of Shape, Shape Analysis, Picture Measurement, Digital Camera, Fight&Health

1. 3次元形状計測の原理いろいろ

物体の3次元形状を求める方法は、大別して接触式と非接触式に分けられる。巻き尺で計ったり、センサーの先端を対象物の表面に当ててその位置をX, Y, Z軸のセンサーで読みとるのが接触式である。電波、光、音などを利用して対象物までの距離を測るのが非接触式である。身近なところではカメラのオートフォーカスがあるが、超音波センサー、赤外線センサー、磁気センサー、レーダーなどがある。一方、画像をベースとした距離および形状の計測技術があり、産業用ロボットの視覚やCAD形状データの入力に利用されている。

1枚の写真から3次元形状入力ができると言われると、誰でも最初は驚くが、特に三角測量の原理をよく知る人にとっては、“うっそう〜”と言いたくなるが、その手順を知ると、確かに3次元の拘束条件が満たされ、なるほど可能かも知れないという気持ちになる。しかし、以下で紹介する3次元入力装置やソフトの原理などについては、ノウハウになっており、一般に公開されておらず、推測の域を出ない。以下で述べる原理に基礎を置いているとは言え、不明点も多い。特にソフトについては、不明な点も多い。が、まあいいじゃありませんか、大事なことは3次元形状が入力できる点にあるの

だから、と割り切ってしまうえば、楽なものである。ところが、3次元形状の入力やビジョンを扱っている研究者にはそういうわけにもいかないが。まあ、余談はさておき、本題に入っていこう。予備知識として3次元計測の原理についてまとめる。しかし、原理を詳しく述べることは本稿の目的ではないので、簡単に概説する。

(1)三角測量

紀元前より三角測量法は、もっとも一般的な測距の方法として、用いられてきた。図1に示すように、2点間の距離(d)と対象物の方向(α , β)が分かれば、容易に対象物までの距離が計算できる。人間の視覚に置き換えれば、これは両眼視差と呼ばれているものに他ならない。D.MarrとT.Poggioの例によると、図2に示すように、空間上に4つの黒点が存在するとき、左右画像の対応付けには曖昧さが生じる。 $L_1 \sim L_4$, $R_1 \sim R_4$ はそれぞれ左右の網膜像を表すが、このとき16の可能な対応付けのうち4個だけが正しい(黒丸)。残りは誤対応である(白丸)。大域的な考察に基づく制約条件がなければ、この曖昧さは解決できない。しかし、我々人間はいとも簡単に立体視を実行しており、その照合条件として、D.Marrは次の3つの規則としてまとめた。

規則1: 適合性 (compatibility)

黒点は黒点とのみ整合する。

規則2: 一意性 (uniqueness)

ほとんど常に1つの画像の1つの黒点は、他方の画像の唯一の黒点と整合しうる。

規則3: 連続性 (continuity)

整合する点の視差は、画像のほとんどの全域で滑らかに変化する。

このような条件を設けることにより、2つの画像間で唯一の対応が得られることが証明されており、そのために立体視の理論は完全なものになっている。視覚センサとしてカメラを用いたものが、とりもなおさず写真測量技術であり、地形その他の3次元形状の計測に利用されている。最初に述べた三角測量がある地点までの距離を測るのが目的であったのに比べて、この場合は形状の測定が目的となる。

左右画像の対応点を見つける問題は、対応点

決定（マッチング）と呼ばれ、現在でも十分には解決されていない非常に難しい問題である。人間が対応点を指示するときには、誤対応の可能性は少ないが、それほど高い精度は期待できない。また、計算機が自動的に決定するときには、正確な対応付けが難しく、曖昧な箇所が多々生じる。この対応点決定の曖昧を避けるため、カメラを3台（あるいはそれ以上）用いた3眼視（多眼視）が提案されている。3台のカメラからの画像を用いることにより対応点に拘束が与えられ、図2の曖昧さが取り除かれる。

一方、信頼性と精度が要求される工業用には、このような受動的な3次元計測が用いられることは少なく、主には能動的な計測法が用いられる。すなわち、2台のカメラの内、1台を発光装置に置き換えたものが用いられる。投影される光のパターンの形により、次のように分類される。スポット光投影法は三角測量の原理を忠実に実行するものであるが、オクルージョン（隠蔽）に対する対策などを考慮しながら、高速化

と高精度化に向けて各種の投影法が工夫されてきた。

- (1)スポット光投影法
- (2)スリット光投影法
- (3)ステップ光投影法
- (4)空間コード化パターン投影法
- (5)マルチカラー・マルチパターン空間コード化パターン投影法
- (6)その他

(2)飛行時間測定法

飛行時間を測定することにより、2点間の距離を計測する方法である。主には、光や超音波が用いられている。

(3)モアレトポグラフィ

2つの規則的な格子状パターンが合成されたときに生じるうなり現象をモアレと呼び、この現象を利用して3次元形状を計測する方法がモアレトポグラフィであり、女性の下着の設計などに利用されている。その原理を図3に示す。

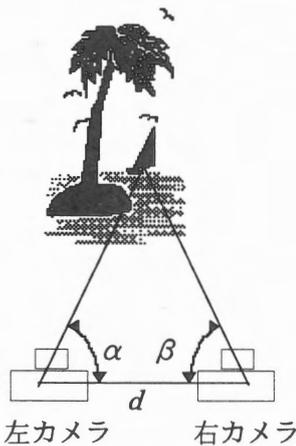


図1 三角測量による距離計測の原理

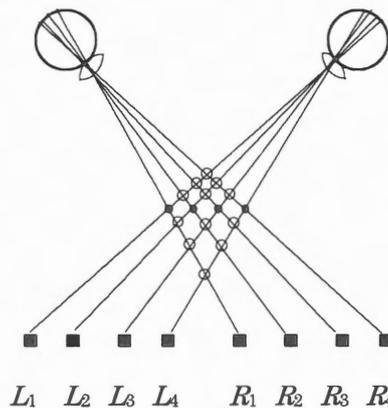


図2 2枚の網膜像間の対応における曖昧さ

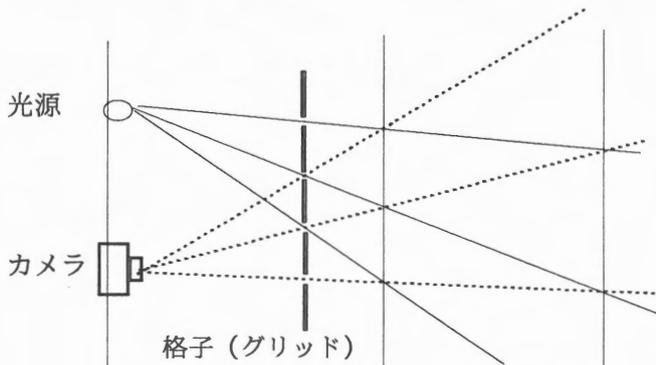


図3 モアレトポグラフィの原理

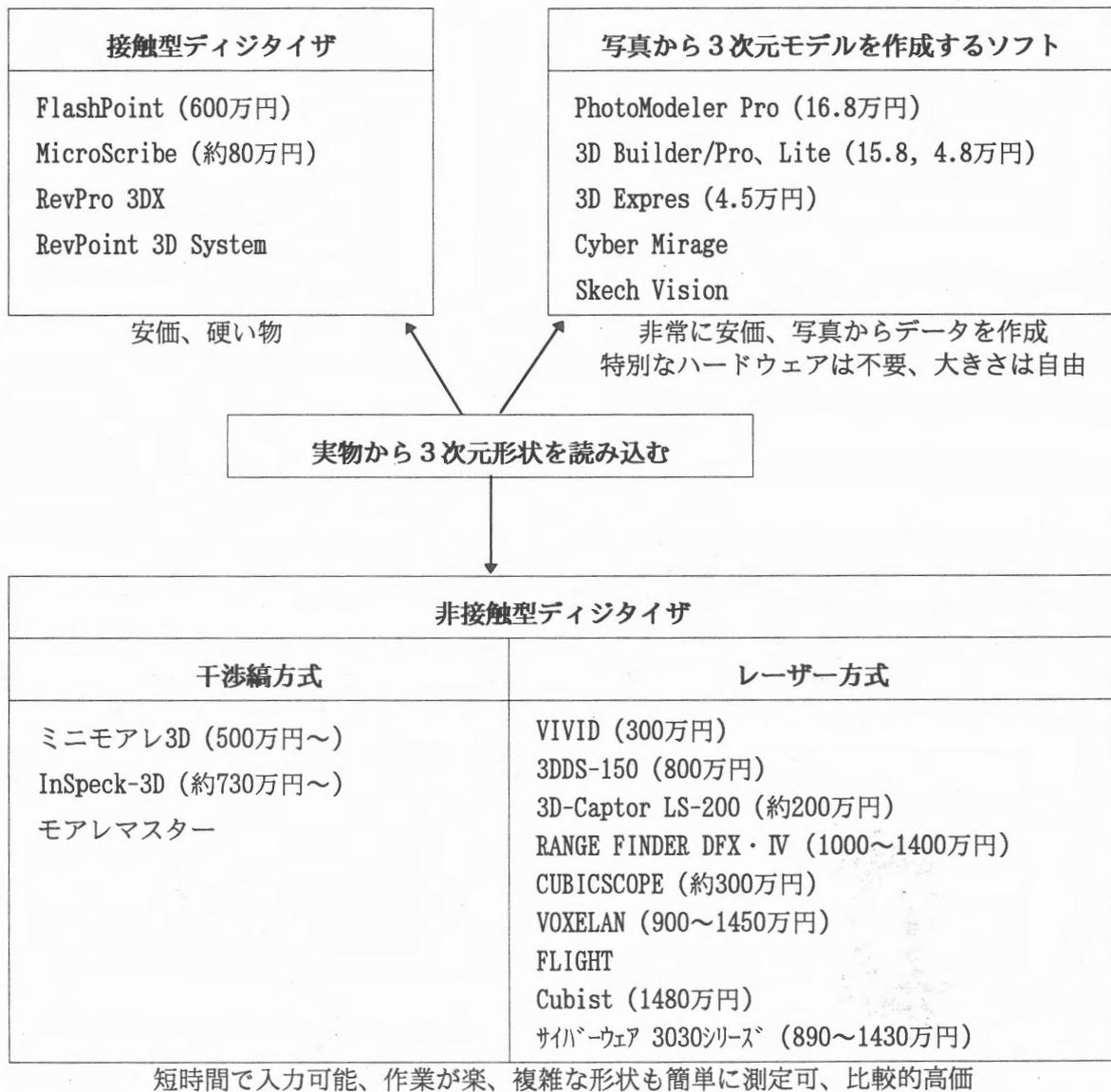


図4 3次元形状入力ツール

(4)その他

上記以外に、焦点ずれ、照度差ステレオ法、回転移動カメラ、干渉法など多くの方法が提案されている。

2. 3次元形状入力ツール

3次元立体形状読み取りツールは、製品の多様化と低価格化が進みいよいよ普及期を迎えている。3次元モデルを作るのは、慣れた人でもかなり大変な作業である。まして初めての人あるいはソフトの操作に不慣れな人にとって、3次元形状をコンピュータ上で扱うことはほとんど不可能に近かった。目の前に実物があって、スキャナのようにその3次元

形状を読み取ることができれば、ずいぶん便利になると思われる。このような装置は、3次元ディジタイザと呼ばれ、これまではシステム価格が1000万円台を超えるものが多く、誰でもが利用できるものではなかった。ところが、去年あたりからパソコンベースで動く低価格の新製品が次々に登場してきた(図4)。

3次元ディジタイザは、接触型と非接触型に大別される。接触型はペン状のセンサーを物体に押し当て、表面の空間座標を計測する。非接触型は光を対象物に照射し、表面で反射される光を画像解析して3次元データに変換する。前章で述べたように、レーザーでスキャンするタイプと干渉縞を使うタイプがある。

非接触型は、3次元ディジタイザの中で最も入力作業が、簡単である。コピー機の要領で物体をスキャンして、色付きの3次元データを作ってくれる周辺機器と考えてよい。

非接触型の良いところは、まず計測作業自体が自動化されていて、非常に楽だということだ。また、柔らかい物体や複雑な凹凸を持つ物体を計測するには持ってこいである。計測時間も短く、3次元データを効率良く作成できる。しかし、システム自体は比較的高価である。データの精度が気になるが、絶対値で0.2~0.7mm、相対値で1/200~1/700程度の製品が多い。しかし、鏡のような光沢のある面や全く光を反射しない面、髪の毛のように縞模様が判別しにくい物などの計測は不得手である。

これまでは、目の前のある実物を3次元データにするには、上述のような3次元ディジタイザを使って入力するしか方法はなかった。いくら安くなったとはいえ、数百万円台の3次元ディジタイザを買うことができるユーザはそう多くない。まして、個人ユーザーなどにはまったく無縁の製品だ。しかし、常識を覆すような新しいソフトが、世の中に現われ始めた。これらのソフトは普通の写真（2次元画像データ）から3次元データを作成するという嘘みtainなソフトである。写真データを下敷きにして、写っている被写体をなぞるようにモデリングする。しかも、写真データをテクスチャマッピングのデータとして利用することも可能である。また、特別な周辺機器は必要なく、写真を読み込むスキャナか、デジタルカメラがあればよい。精度はそれほどよいとはいえないが、VRMLや簡単な3次元モデルやCGソフトの背景に利用するモデルを簡単に作るにはちょうど良い。

3次元形状データを得るのに必要な作業は、どのソフトでもよく似ているが、例として「PhotoModeler Pro」を取りあげる。手順はいたって簡単だ。まず、同じ被写体を違った角度から撮影した写真を数枚用意する。写真は多ければ多いほど精度が上がるので、なるべく数をそろえた方がよい。それらの写真に写っている被写体のエッジ上に線を描くように、始点終点を入力する。この入力作業の緻密さが、3次元モデルの出来を左右するので、なるべく忠実にトレースする。画面を拡大することもできるので、エッジは抽出しやすいだろう。このポイント入力作業をそれぞれの写真について行う。

次に、写真を解析する。2つ以上の写真で、

確認できる同一の点（同じ屋根の同じ端など）を指示する。解析に必要な手がかりが伝わるわけだ。ここからはPhotoModeler Proの仕事である。それぞれの点の整合性を解析して複数の写真間で推測される3次元形状を自動的に表示してくれる。さらに写真のどこかに実寸が分かるものがあればそれを基にほかの3次元モデルの寸法が明らかになる。

精度は色々な要素で変化するが、開発元の資料では、約15mの直方体を35mmフィルムで撮影した写真（解像度1536×1024）を解析した結果、誤差はわずか1.3cmだったという。しかし、これはあくまでも宣伝用のキャッチフレーズで、実際に普通のユーザーがこれだけの精度で入力することは不可能に近い。慎重に時間をかければ必要な精度は得られるかも知れないが、現実には、大阪弁で言えば、「そこそこ」あるいは「まあまあ」の程度で考えておいた方が無難だろう。だからといって、使えないのではなくて、それでも十分使えるのである。

このように、写真画像をベースに、3次元モデルを自動的に作成するソフトが、96年末からバージョンアップも含めて、相次いで発売されてきた。その使いこなしにはコツが必要だが、できあがった3次元モデルは結構見栄えのするものである。もっとも各ソフトともまだ使いにくい所があって、これからの完成度が高くなることが望まれる。

また、データが適切に入力されていれば、モデリング対象までの距離や大きさなどを計測することも可能である。遺跡や重要文化財といった直接触れることが難しいものでも、あたかも実測したような3次元モデルができあがる。街並みを写真に収めれば、そこから建物や地形の3次元データを構築できるのも魅力だ。ソフトによっては、計測誤差が8000分の1という精度で3次元モデルを作成できる。オモチャのようなモデルを作るだけのものではない。作成した3次元データは、DXFやVRMLなど汎用性のあるデータ形式に出力可能で、他のソフトでも活用できる。おまけに、モデリングのベースになった写真をそのままテクスチャマッピングとして貼り付ける機能もあるので、簡単な3次元形状でも、十分な表現力のあるものとして仕上げられる。

そうかと言って、写真を取り込めば、あとは自動的に3次元データを手にできる、という期待を持ってはいけない。実際の作業は決してお手軽ではない。まず、素材の写真を、十分な条件でなるべく多くの角度から撮影し

ておくことが重要である。写真が多ければ多いほど、あとで正確な3次元データを構築するのに役立つ。ソフトの中には、被写体と一緒に「基準物」を撮影しなければならないものもある。基準物とは、3次元化解析をするときにソフト側が手がかりにする物体で、直交する線分を持ったものが望ましい。例えば、箱とか厚い雑誌のようなものだ。3次元モデルを作成しようとするれば、入念な入力作業が必要となる。これらの作業が終わって、ようやくソフト側が3次元形状の解析を始めることができるのだ。写真撮影には細かい配慮が必要だし、特徴点の入力には忍耐力が勝負である。

画像入力装置として、デジタルカメラとスキャナーが考えられるが、スキャナーは3次元形状入力の読み取り装置として使うのは不便である。また、普及型デジタルカメラでは解像度が不足する。そこで、デジタルカメラとデジタルビデオカメラのお勧め製品を紹介しておく。調査不足は承知の上で、著者の手元にある情報を、読者の参考のために載せておく。詳細は、メーカーなどに問い合わせる詳しい資料を取り寄せて下さい。

[デジタルカメラ]

- MINOLTA RD-175, 175万画素, 1眼レフ, ¥680,000.-
- FUJIFILM FUJIX DIGITAL CAMERA DS-300, ¥248,000.-, 140万画素, 35~105mmズームレンズ(35mmフィルム換算, 光学3倍ズーム, ×2モード 210mm相当デジタルファイン6倍ズーム)
- OLYMPUS CAMEDIA C-1400L ¥128,000.-, 141万画素, 36~110mmズームレンズ(35mmフィルム換算), 470g

[デジタルビデオカメラ]

- ソニー, DCR-PC7, 約 500g, 68万画素, ¥240,000.-

3. 3次元形状入力例

図5は、筆者の近所にあるお地蔵さんをデジタルカメラで撮影したものである。図6は、入力に用いた左右原画像であり、図7はそれから得られた3次元形状に、テクスチャーマッピングしたものである。図7を見ると、図6の2

枚の左右の原画像と角度が違っていることが分かる。これは、3次元形状が分かると任意の角度から見た絵が得られることを示している。大分手抜きをしているので、よく見ると歪みがあるが、大急ぎで作成したので、許されたし。それでも大変面白いと私個人は感じている。正面から見ると柔和な顔でも、角度を変えてみると意外と凛々しい感じがする。複雑な図形は、かなり時間がかかるが、建物や机などのように直線や平面を基本にできている単純な図形であると、比較的簡単である。ここでは、一番安価で3次元形状入力可能な3Dexpresを使用した。

特に、複雑な図形は精度の点で問題がある。また、滑らかな面では、対応点の指定が難しい。精度と自動化は今後の大きな問題であるが、徐々に解決されていくことを期待する。今後の改良、写真使用タイプの自動化は課題。メーカーの宣伝文句には「デジタルカメラで撮影した写真から3次元形状を超簡単に作成できます。」とあるが、これはウソ!超簡単(それほど)ではない。難しいという意味でなくて手間ひまがかかるという意味で、大変である。それに多少のこつもあり、慣れるまで、時間がかかる。しかし、一度トライしてみるだけの価値はあり、結構面白い。



図5 村のお地蔵さん



原画像（右から撮影）



原画像（左から撮影）



左右の画像

図6 入力画像



図7 出力（得られた3次元形状）

4. まとめ

3次元形状入力ツールが随分と安価に入手可能になってきた。その現状と、いくつかの代表的な製品について紹介してきた。著者の勉強不足もあり、全てを網羅しているとはいえないが、実状について多少の理解を深めてもらえたと思う。これらの製品は、精度や入力の簡単さなどの点で、まだ多くの問題点は残してはいるが、将来が楽しい製品が多い。問題点は、今後徐々にでも解決されていくであろう。

人文科学の研究にも3次元形状を取り入れてもよい時期にきていると思う。その受け皿として十分なだけのハード&ソフトの環境が整ってきており、その準備をすべき時代だと思う。また、本稿では扱えなかったが、HMD（ヘッドマウンテッドディスプレイ、立体めがね）、立体テレビやホログラムなどの開発も進んでおり、入力した3次元形状を3次元の状態で見ることができる。そして、従来はあまり扱うことが難しかった3次元形状が扱えるようになったことにより新しい事実が発見される可能性が出てきたと思われる。本稿がそのきっかけになれば、幸いである。

【参考文献】

- [1]井口征士、佐藤宏介：“三次元画像計測”、昭晃堂、1990.
- [2]デビッド・マー著、乾敏郎、安藤広志訳：“ビジョン—視覚の計算理論と脳内表現—”、産業図書、1992.
- [3]渡辺一正，“3次元データの大量生産を後押しする立体形状読みとりツール”，pp150-161，日経CG，1996年7月号.
- [4]渡辺一正，“デジタルカメラから3次元モデルを作る”，pp162-173，日経CG，1997年3月号.



太子堂の仁王像



3次元画像



近所の極楽寺の大仏