

人体の三次元計測とその精度について

高部啓子・高橋佐智子・松本朋子

生活科学部 生活環境学科

Three-Dimensional Measurement of Human Body and Its Precision

Hiroko TAKABU, Sachiko TAKAHASHI and Tomoko MATSUMOTO
Department of Human Environmental Sciences

Key words : human body (人体), three-dimensional measurement (三次元計測)
non-contact 3-D digitizer (非接触三次元デジタイザ)

1 目 的

光計測による三次元計測は、腋下やクロッチ部などの影になる部分が計測しにくい等の欠点はあるものの、短時間の撮影で個人データを収集できること、被験者に直接触れない計測のために被験者への負担が少なくすむこと、計測者の個人差が縮小されることなどの理由から、人体形態を把握する有効な手段として衣服設計の基礎的研究教育に導入されてきた。しかし装置やソフトが高価なことや使い勝手のよい解析用ソフトが十分でないこと等により、汎用的に使われるには至っていない。本研究室では科研費等の投入により、比較的安価でポータブルな非接触三次元デジタイザを導入できた。本装置による三次元計測について、撮影範囲や精度を検討しておくことが今後の研究に不可欠であると考えた。そこで本研究では、成人女性の体幹部の全周計測を行うことを前提とした撮影の最適条件や計測精度について検討した。

2 実験方法

下記の機器を使用して、次の 3 つの実験により最適条件と計測精度について検討した。

- ①カメラ 1 の高さや角度の最適条件
- ②三次元計測値の精度
- ③被写体の動揺について

2.1 使用機器

使用機器は、非接触三次元デジタイザ VIVID-910 (MINOLTA 製) 2 台である。本機器は、レーザービームによる光切断法によっている。すなわち、シリンダリカルレンズによるスリット光を対象物に照射する。その反射光を CCD カメラで受光し、三角測量することで、1 ラインの距離情報を得る。次に対象物に照射するスリット光をガルバノミラーで走査して三次元データを得る。また、スリット光を照射していない時に RGB フィルタを通して同じ CCD にスキャンすることで対象物のカラー画像を得ている。

本実験では全周を計測するために、直径 60 cm の回転台を使用した。今回回転台は電動式であり、正確に角度と高さを調節できる仕様となっている。

また、三次元計測値と比較するための手計測はマルチン式人体計測器を使用した。

2.2 機器の配置と撮影枚数

本研究において、カメラと被写体の位置関係は図 1 のように固定した。すなわち 2 台のカメラのなす角度は、撮影した 2 枚の画像の重なり部分が多くなるように 60° に設定した。カメラ 1 は被験者を上部からカメラ 2 は下部から捉えるような配置である。レンズはワイドレンズを使用した。被写体とカメラの距離は、120 cm とした。これはワイドレンズにおける対象物との距離と画面サイズとの関係から、体幹部のサイズ

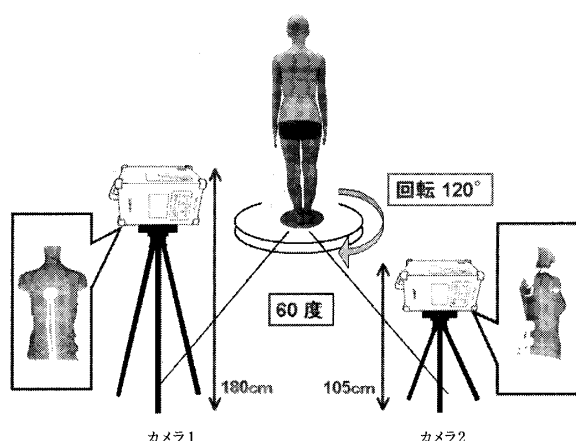


図1 カメラの配置

にあった画面サイズにするためである。

各カメラの高さは、撮影可能範囲を検討するためにカメラ1は160～180 cmとし、カメラ2は105 cmに固定した。また各カメラのレンズ角度も同様に、カメラ1は撮影可能範囲を検討するため15～30°動かし、カメラ2は-5°に固定した。

撮影枚数については、人体を斜め左前、斜め左後ろ、斜め右前、斜め右後ろの4方向から撮影した4枚の写真で三次元画像を作成することができたが、貼り合わせの精度をあげるために前後正面からの2枚を加え、計6枚を使用した。従って被写体の回転角度は120°とし、3回の撮影を行った。撮影モードはFINEモードなのでデータは2 mmピッチとなる。

2.3 撮影と画像の貼り合わせ

撮影は次の手順によった。

①被写体に印を付ける。

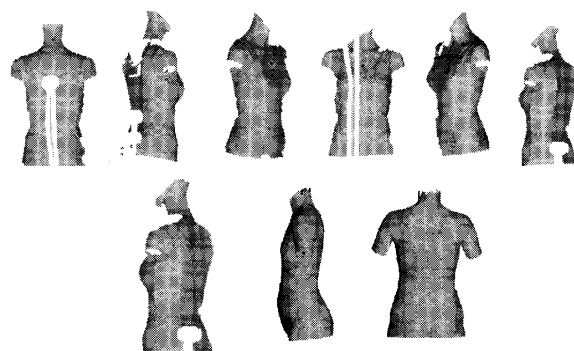
②撮影 2台のカメラにより6枚の写真を採取。

撮影1→被写体を120°回転させる→撮影2→被写体を120°回転させる→撮影3

③6画像の貼り合わせと整理

④基準画像との貼り合わせ

本デジタイザは、撮影時のカメラのレンズ部が原点となるため、基準画像（回転台の中心をx座標とz座標の0点、回転台面から90 cmの高さをy座標の0点とした画像）と貼り合わせることで、統一座標に変換した。



（図中白く抜けている部分は、基準点用ボールの影であり、最終的には除去される）

図2 6画像の貼りあわせ

⑤画像の編集・削除

2.4 実験1 カメラ1の高さと角度の最適条件

三次元カメラは可動式で、被写体との距離やレンズの高さ、角度を自由に設定することができる。そこで本実験では体幹部の全周計測を行うために、前述のようにカメラ2の高さと角度及び被写体とカメラとの距離を固定した場合のカメラ1の高さと角度の最適条件を求めることを目的とした。

①カメラ1の高さ 160 cm、170 cm、180 cmの3水準とした。

②カメラ1の角度 15°、22.5°、30°の3水準とした。

③被写体の高さ 被写体は、身長146 cm・158 cm・170 cmの12 cm間隔3段階とした。これは、20～24歳の日本人女性の平均身長が158.2 cm、パーセンタイル値が5%で149.7 cm、95%で167.0 cm¹⁾であること及び、女子大生60名のマルチン計測による平均身長158.3 cm²⁾の結果から若年女性の身長をカバーする数値として採用した。

④評価 上記条件で得られた三次元画像について5段階評価を行った。肩部が欠けることなく頸椎点から臀溝までの完全な画像を5、穴埋めで修正できる画像を4、穴埋め修正では形が異なってしまうと思われる画像を3、修正不可能な画像を2、目的部分が撮影されていない画像を1と評価した。この評価値をもとに最適条件を求めた。評価5の画像を図3に示す。

2.5 実験2 三次元計測値の精度

固定物体についての三次元計測で得られた計測値と直接計測で得られた計測値との比較から、三次元計測

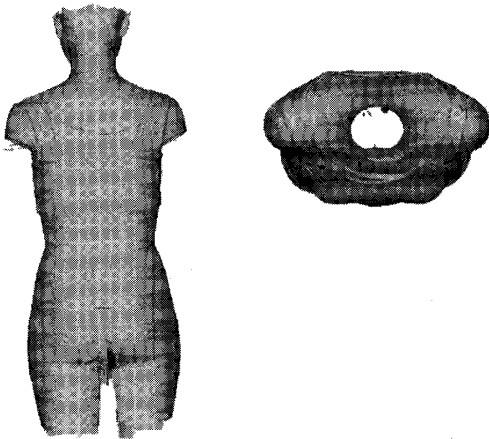


図3 評価「5」の例

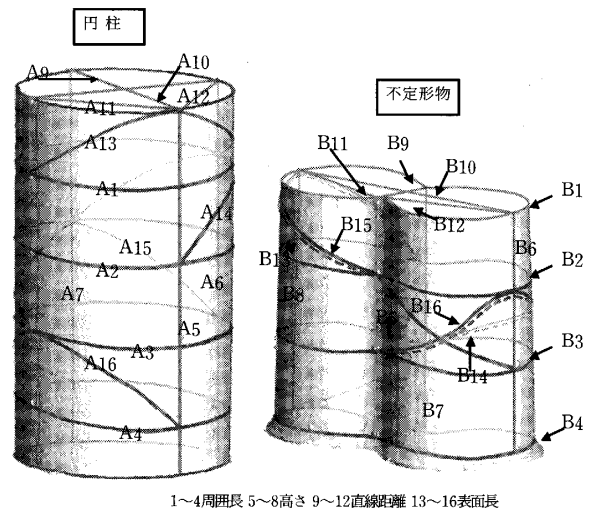


図4 計測部位

値の精度を検討した。

①被写体 三次元計測値と直接計測値とを比較するために、被写体として体幹部サイズに匹敵する円柱と不定形物を使用した(図4)。また20~24歳の日本人女性の平均頸椎高133.2 cm¹⁾及び、女子大生60名のマルチン計測による平均頸椎高133.7 cm²⁾より、被写体の最高位が133 cmとなるように設定した。

②撮影 2台のカメラのなす角度を60°とした。各カメラの高さは、カメラ1は180 cm、カメラ2は105 cm、各カメラのレンズ角度は、カメラ1は15°、カメラ2は-5°とした。レンズはワイドレンズを使用し、被写体とカメラの距離は、120 cmとした。撮影枚数は6枚で、被写体の回転角度は120°とした。FINEモードで撮影した。なお、計測基準点には厚さ約5 mm 直径10 mmのシールを貼り付けた。

③計測部位と三次元データの取得 計測部位は図4に示すように、円柱と不定形物について、周囲長・高さ・直線距離・表面長各4項目、それぞれ合計16項目を取り上げた。これらの部位について三次元計測2回と直接計測3回を行った。三次元計測値の取得には3D-Rugle(ソフトウェア)を用いた。

得られた三次元計測値の平均値と直接計測値の平均値との比較から三次元計測値の精度について検討した。

2.6 実験3 被写体の動揺について

本装置における2台のカメラの撮影時間は20秒で

ある。しかし全周計測にはこれを3回繰り返す。回転台の回転速度や撮影後のコンピュータへの記録時間を合計すると1回の撮影に約2分を要する。その間の被験者の姿勢変化による計測点の差異を明らかにすることも精度を知る上で必要と考えた。そこで下記条件による実験を行い、被写体の動揺による計測値のずれを検討した。

①計測点 計測点としては、頸窩点・右肩先点・左右前腋点・左右乳頭点・前ウエスト中心点・左右腸棘点・左右大腿中央点の11点を取り上げた。

②被験者 若年女性3名

③撮影 同じ方向から55秒間隔で3回撮影した。この55秒は、三次元計測の撮影時間、回転台の回転時間と記録のための時間の合計を想定したものである。

④測定 計測点を3D-Rugleで測定し、3回の三次元座標値の比較から身体の動揺を考察した。

3 結果及び考察

3.1 カメラ1の高さと角度の最適条件

表1に三次元画像評価結果を示した。表から明らかにカメラの高さは高い方が、角度は少ない方が良好な画像が得られることがわかる。またカメラの高さを被験者の身長より10 cm以上高く設定すれば体幹部の全周画像を採取することができた。どの身長グループからも高い評価を受けた条件は、カメラの高さが180 cm、カメラの角度が15°の組み合わせである。従ってこの組み合わせが本実験における最適条件と考

表1 カメラの高さ・角度別三次元画像の評価結果

〈身長 146 cm の場合〉

高さ 角度(度)	160 cm	170 cm	180 cm
15.0	4	5	5
22.5	3	4	4
30.0	2	3	3

〈身長 158 cm の場合〉

高さ 角度(度)	160 cm	170 cm	180 cm
15.0	4	5	5
22.5	3	5	5
30.0	2	1	3

〈身長 170 cm の場合〉

高さ 角度(度)	160 cm	170 cm	180 cm
15.0	2	3	5
22.5	1	1	4
30.0	1	1	1

えられる。

次いでカメラの高さとカメラの角度の2要因について被写体を繰り返しとした2元配置の分散分析を行ってみたところ、カメラの高さは5%水準で、カメラの角度は1%水準で有意となった。また交互作用は有意とはならなかった(表2)。これらのことから、カメラは高さより角度の方が撮影効果に影響を及ぼしており、高さと角度間には関連性がないことがわかった。本実験では肩部が欠けることなく体幹部の全周計測が可能な設定を検討したが、撮影したい部位が異なる場合は今回の結果を参考にカメラの高さや角度を調節するとよい。

3.2 三次元計測値の精度

三次元計測値と直接計測値を比較した結果を表3、

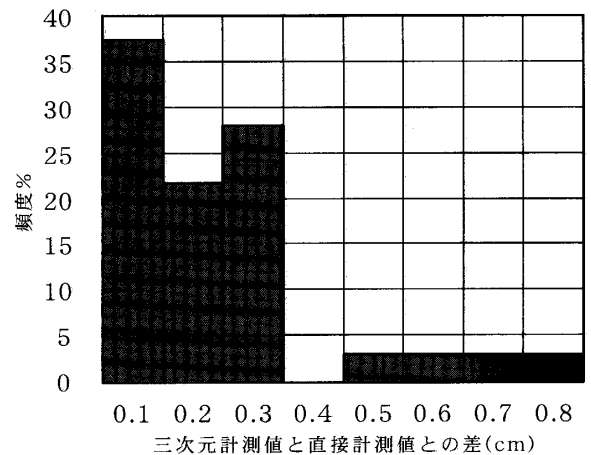


図5 三次元計測値と直接計測値との差のヒストグラム

表4に示した。三次元計測値は2回の、直接計測値は3回の平均値である。

円柱及び不定形物における各16部位の三次元計測値と直接計測値との差32項目は-0.3 cmから0.8 cmにわたっている。差の絶対値の平均値をとると0.2 cmと非常に小さい。このことから計測精度はかなり高いといえる。図5は差の絶対値32項目のヒストグラムを示している。図からも明らかのように0.1~0.3 cmに全体の87.5%が含まれており、精度の高いことが明らかである。

次に被写体別に見ていくと、それぞれの平均値と標準偏差はともに0.2、0.2(表3、表4)であり、差は認められない。

そこで被写体を一括して、周囲長・高さ・直線距離・表面長(以後、計測値の種類と総称する)別に一元配置の分散分析をしたところ、1%水準で有意となった(表5)。すなわち計測値の種類別平均値間には差が認められる。これらの差の平均値は表面長0.39 cm>周囲長0.17 cm>直線距離0.16 cm>高さ0.07 cmの順であった。各種別間の平均値の差をT検定したところ、表6の結果となった。各計測値の種類の値は円

表2 カメラの高さと角度の分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界線
カメラの高さ	4.22	2	2.11	4.38	0.028*	3.55
カメラの角度	34.67	2	17.33	36.00	0.000**	3.55
交互作用	0.44	4	0.11	0.23	0.917	2.93
繰り返し誤差	8.67	18	0.48			
合計	48	26				

表 3 円柱の計測結果

	計測 部位	三次元 計測値	直 接 計測値	差	差 の 絶対値	平均値	標準 偏差	最大値	最小値
周囲長	A 1	89.4	89.7	−0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1
	A 2	89.4	89.7	−0.2	0.2				
	A 3	89.6	89.7	−0.1	0.1				
	A 4	89.8	89.7	0.1	0.1				
高 さ	A 5	41.3	41.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0
	A 6	40.9	41.0	−0.2	0.2				
	A 7	40.9	40.9	−0.1	0.1				
	A 8	41.1	41.2	−0.1	0.1				
直線距離	A 9	28.7	29.0	−0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0
	A10	29.3	29.1	0.2	0.2				
	A11	21.0	20.9	0.1	0.1				
	A12	20.1	20.1	0.0	0.0				
表面長	A13	49.1	49.2	−0.1	0.1	0.4	0.3	0.8	0.1
	A14	49.9	49.6	0.3	0.3				
	A15	50.1	49.3	0.8	0.8				
	A16	50.4	49.9	0.5	0.5				
				平均値	0.2	(単位 cm)			
				標準偏差	0.2				

表 4 不定形物の計測結果

	計測 部位	三次元 計測値	直 接 計測値	差	差 の 絶対値	平均値	標準 偏差	最大値	最小値
周囲長	B 1	101.4	101.5	−0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.0
	B 2	103.0	103.2	−0.3	0.3				
	B 3	105.0	104.7	0.3	0.3				
	B 4	106.2	106.2	0.0	0.0				
高 さ	B 5	31.3	31.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
	B 6	31.7	31.7	0.1	0.1				
	B 7	31.2	31.3	−0.1	0.1				
	B 8	31.4	31.4	0.0	0.0				
直線距離	B 9	11.1	11.4	−0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1
	B10	39.0	39.3	−0.2	0.2				
	B11	20.4	20.5	−0.1	0.1				
	B12	20.6	20.5	0.1	0.1				
表面長	B13	55.2	54.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.6	0.1
	B14	56.0	55.5	0.5	0.5				
	B15	56.1	56.2	−0.1	0.1				
	B16	57.0	57.3	−0.3	0.3				
				平均値	0.2	(単位 cm)			
				標準偏差	0.2				

表5 計測値の種類の分散分析表

変動要因	変 動	自由度	分 散	観測された分散比	P-値	F境界値
計測値グループ間	0.445	3	0.148	7.15	0.001**	2.95
計測値グループ内	0.582	28	0.021			
合 計	1.027	31				

表6 計測値の種類平均値間のT検定結果

	周囲長		
高 さ	*	高 さ	
直線距離	n.s.	*	直線距離
表面長	*	**	*

柱、不定形物ともに周囲長>表面長>高さ>直線距離の順となっている。従って周囲長より表面長の方が、高さより直線距離の方が、差異が大きいいといえる。これは直線距離や表面長の直接計測がしにくいことも影響しているかもしれない。

以上のように三次元計測は、固定物については、各計測値の種類間に多少の差異はあるものの、全体としては非常に精度よく計測できることが明らかとなった。

3.3 被写体の動揺について

被験者3名について繰り返し3回の撮影を行い、得られた三次元画像上で11の計測点の計測を行った。各計測点について繰り返し間の三次元座標値の差をとったところ図6のようになった。すべての計測点で左右方向（x方向）と上下方向（y方向）に比べて前後方向（z方向）の差が非常に大きく、2 cm 前後の値を示す。また床面から高い位置にある計測点の方が低い位置にある計測点より差が大きいのではと予測していたが、その傾向は認められなかった。

そこで1回目と2回目の11の計測点と撮影画像座

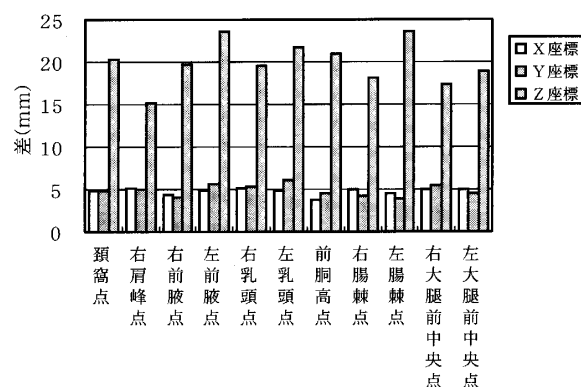


図6 三次元座標値の繰り返しによる差

標値間の差との二元配置の分散分析を行ったところ、3つの座標値では1%水準で有意差が認められたものの、11の計測点では有意差は認められなかった。

以上のことは撮影に際して、前後方向の動揺を減じる手だての必要性を示している。

4 まとめ

当研究室設置の非接触三次元計測装置の最適撮影条件を求めることと、得られた三次元計測値の精度について検討するために、3つの実験を行った結果、下記のことが明らかとなった。

- ①成人女性の肩部が欠けることなく体幹部の全周計測を行うためには、カメラ1の高さは180 cm、カメラ1の角度は15度が最適である。また、カメラの高さと角度では角度の方が撮影効果に影響を及ぼす。

表7 計測値と座標値の繰り返し間の差の分散分析表

変動要因	変 動	自由度	分 散	観測された分散比	P-値	F境界値
計 測 点 間	102.61	10	10.26	0.18	0.998	1.94
各 座 標 値 間	2514.47	3	838.16	14.38	0.000**	2.71
交 互 作 用	584.18	30	19.47	0.33	0.999	1.59
繰 り 返 し 誤 差	5128.21	88	58.28			
合 計	8329.48	131				

- ②固定物の三次元計測の精度は周囲長や高さ、直線距離、表面長で多少異なるものの、全体としては非常に精度よく計測できることが明らかとなった。
- ③被験者 3 名について繰り返し 3 回の計測を行い、身体の動揺を検討した結果、3 回の計測値間の差は左右、上下方向では非常に小さいが、前後方向で非常に大きな値を示した。また高さの異なる計測点間では計測値間の差に一定の傾向は認められなかった。従って生体の三次元計測では前後方向の動揺を減じる手だてが必要である。

引用文献

- 1) 人間生活工学研究センター (1997) : 日本人の人体計測データ、143 p、153 p、社団法人人間生活工学研究センター
- 2) 高橋佐智子 : 三次元計測値のパターン設計への応用 (平成 16 年度卒業論文)