

研究論文：論文

衣服設計のための三次元人体形状における計測点設定

頸側点および肩先点の自動設定

柳田佳子

文化女子大学

MEASURING POINT SETTING ON THREE DIMENSIONAL HUMAN BODY SHAPES FOR CLOTHING DESIGN

AUTOMATIC SETTING OF SIDE NECK POINT AND SHOULDER POINT

Yoshiko YANAGIDA

Bunka University, 3-22-1 Yoyogi, Tokyo 151-8523, Japan

Abstract: As part of the process of automating the steps of clothing pattern design, this research studied methodologies for automatically setting human body measurement points using a 3-dimensional human body measurement device. The subjects of the research were young women. From among the measurement points for the neck and shoulders -- which are crucial for clothing design but difficult to objectively set -- the research focused on the neck side points and shoulder end points. In the setting algorithm, a setting hypothesis is derived by deriving a graphical relationship between the human body form and the measurement point positions set by conducting 3-dimensional measurement and directly touching the surface of the body. Furthermore, the adopted measurement point setting theory covers issues such as necessities involved in clothing design. The adequacy of the theory was determined by verifying the following: (1) There should be a statistical match between the coordinate values of directly set measurement points and theoretically set measurement points, (2) When upper body clothing pattern development drawings are created using, respectively, the directly set and theoretically set measurement points, the shape of those patterns should match, (3) When sensory testing is performed by persons experienced in clothing design using the created patterns, they should be judged appropriate in terms of clothing form. In the results, measurement points were set with a precision approximating directly set measurement points in all verification tests, and thus it was possible to demonstrate the adequacy of the algorithm.

Keywords: 3-dimensional human body measurement, clothing design, measurement point,

1. はじめに

近年のアパレル産業分野では、消費者嗜好の多様化の影響を受け、個人対応型衣服設計・製造への流れが強まっている。特に非接触三次元人体計測装置と高機能を有する三次元 CAD を連動させ、生産性を維持しながらも個人のサイズや体型に適合し、かつデザイン情報をも組み込んだ衣服パターン設計システムの研究開発が盛んに行われている[1-3]。これらのシステムは、非接触三次元計測（以下、三次元計測と略す）により得られた人体体表面を、原型に近似した人体体表面展開パターンもしくは直接衣服パターンとして二次元平面上に抽出することを目的としている。展開パターンや衣服パターン抽出方法については、有限要素法などを用いるいくつかの研究が見られるが、いずれも実用的な衣服パターンには完全には至っていないといえる[4-7]。これは、衣服を人体に装着することにより生じる摩擦や布地の変形、人体の非静止特性や体表の非直線性等の問題の他に、工学製図に移行しやすい三角法図学だけでは説明できない、衣服設計独自の構成理論がアルゴリズムに完全に取り入れられていないためと考えられ

る。その中でも着目すべき問題点は、三次元人体計測および CAD システムによる衣服パターン自動設計の過程において、計測や設計の基点となる人体計測点（以下、計測点と略す）が、直接人体体表を触診し、体表上にマークした状態でデータ採取がなされているという点である。

計測点は、人体の体型や形状の計測および分類のための基準点としてだけでなく、衣服設計の基準点として非常に重要な要素である。現在では、計測点について各学会や各教育機関の間にはほぼ共通な定義の認識が定着してきているが、実際の計測点マーキングでは、計測者の熟練度や被計測者の生理的反応などにより、必ずしも一致した点をマークしているとは限らないのが現状である。また分野ごとに異なる計測点・計測部位の要求があるのも事実である。衣服設計においても従来の人類学・人間工学で定義されている計測点が、必ずしも衣服設計の要求を十分にカバーしているとはいえず、そのため解剖学分野で規定されていない、人体外形の形態的特徴点などを利用して設定する「殿部後突点」や「腹部前突点」などが衣服設計の分野においては既に設定・利用されている。

さらに「身長」や「ウエストライン (WL) 高」などの投影長高度項目や、「胸囲」「胴囲」等の衣服設計に有用な凸周囲長項目の計測については、衣服設計理論上の定義で設定し、三次元計測装置での自動計測が可能なシステムを作成し使用している[8]。

しかし衣服設計の場合、人体外形から捉えることができる突出点や最凹点のみならず、人間工学の定義にも共通で、かつ触診しなければ設定できない骨格の骨端・突起・切痕等を基点としている計測点も多く、したがって三次元計測での計測点自動化はまだまだ困難な状況にあり、それが適合度の高い客観的な衣服設計システムの方法論が確立されない要因の1つになっていると考えられる。

そこで本研究では、人体計測から計測点の自動設定および衣服パターン設計に至る一連の自動化を将来的な目的とし、三次元計測装置を利用して、コンピュータ上で設定可能にするために、衣服設計理論からの計測点の設定条件を分析し、人体形態を主体にした、衣服設計用の計測点自動設定システム作成のための方法論を検討し、その理論適正の検証を目的とした。

2. 研究対象計測点

本研究では、①衣服支持部を形成する重要な計測点であること、②筋肉の走行状態や皮膚の溝・窪みの他に、衣服設計上の経験的理論や美的感性を目安に設定されるため客観的な設定が困難であること、等の理由により衣服設計上重要である、頸窩点・頸側点・肩先点・頸椎点[8]を研究対象計測点とした。本報ではその中から頸側点・肩先点について報告する。

3. 研究方法

3.1. 衣服設計用計測点の基本概念の設定

以下に本研究での衣服設計用計測点設定の基本概念を示す。

①計測点は衣服設計の基準点としてだけでなく、体型分類や形状計測の基点にもなるため、その設定には生理的影響や経時の変化を受けにくい骨の突起等を利用することが望ましく、したがってある程度は人間工学や解剖学での計測点定義に準拠することを基本とする。

②上記①の概念を基本とした場合、衣服設計においては骨格的に明確な特徴はないが、衣服の構造上必要として設定されている計測点も多く、それらについては理論定義は示されているが客観的な設定が困難な計測点でもある。したがってそれらについては、二次元図形としての衣服パターン上の必然性や衣服設計の経験的習慣、衣服の機能性や美的バランスなどを考慮し、人体の三次元情報から図学的パターン設計理論の確立を目指すことを念頭に、図学的条件と感性とが反映された設定条件を想定する。

上記の基本概念を基に計測点設定理論が確立されれば、情報の再現性という観点から見ても、今後の衣服設計にとって非常に有用な研究手法として活用できると考える。

3.2. 研究方法論の設定

3.1. の概念を基に、計測点自動設定システムは以下の方法論によって製作した。

①研究資料として用いる人体計測データは、被服造形学の専門家が体型の異なる被験者の体表を直接触診して計測点を設定し、三次元計測によって得られる計測点データを検討・比較データとして用いるものとする。以下、この様に触診して設定する従来の計測点を「直接設定計測点」と仮称する。

②三次元計測を行い直接設定計測点位置と人体形状との図学的関係を導き出し、そこから設定の仮説を導き出す。

③上記②の仮説に衣服設計上の必然性等を加味して、本研究の計測点設定理論とする。このように設定される計測点を、以下「理論設定計測点」と仮称する。

④設定理論の適正については、以下の検討を行うことによってその適正を判断するものとした。

a. 直接設定計測点と理論設定計測点の座標値が統計的に一致することを持って適正を判断する。直接設定計測点位置の不安定さは前述した通りであるが、本研究においては特定の被服造形学専門家が設定した計測点を利用するため、経験的判断基準に耐え得るものであると判断し、研究データとして用いることとした。

b. 直接設定計測点と理論設定計測点を用いて、それぞれ上半身用衣服原型展開図を作成し、その原型形状から図形的適正を判断する。

c. 上記bで作成した原型衣を用いて衣服設計経験者に官能検査を行い、衣服形状としての適正を判断する。

4. 計測装置の概要および計測データ構造

三次元計測にはNEC社製1989年型三次元計測装置を用いた。この装置はレーザ光源とCCDカメラおよび回転ミラーからなる6台の一次元距離計測装置からなり、六角柱状のカプセルの中に被験者が立ち、60°のミラー回転により体表にレーザ光をスキヤニングさせ、その反射光をCCDイメージセンサで受光し、三角法で計算しデータを採取するものである。レーザ稼働高度1.0~3.75mmピッチ(任意設定可能)で、体表の各点を座標系(X, Y, Z)で得ることができる。演算装置は距離計算装置から有効データを抽出し、補間処理等を行うものである。計測時間は、上半身で約1分、下半身で約3分を要するため、呼吸による体表面の変化や同一姿勢保持が難しい人間を対象とした計測としては、やや計測時間がかかるが、被験者を前後左右斜め6方向からのレーザ光でデータ採取するため、特に複雑な立体形状を有する人体頸部・肩部計測ではデータ欠落が少ない。さらに現在までに様々な研究成果を基に被服設計におけるいくつかのシステムが追加・改良されていること等を考慮し、本研究で用いるものとした[8, 10-11]。

人体計測データとしては、人体正面・側面シルエット図、人体水平断面図および水平断面重合図、各計測点座標値等である。人体形態データ採取は、20歳代の成人女子学生17名を対象に行った。表1は被験者の基本身体寸法計測結果である。以下、各計測点ごとにその設定アルゴリズムを記す。

5. 頸側点設定のアルゴリズム

頸側点(Side Neck Point: 以下、SNPと略す)の設定は、2段階の理論展開で行った。

表 1: 被験者の基本身体寸法計測結果

	最大値	最小値	平均値	標準偏差	変動係数
身長	166.00	152.00	158.57	4.141	0.026
バスト	92.30	79.80	84.42	3.221	0.038
ウエスト	74.00	57.50	64.69	3.686	0.057
ヒップ	96.40	84.40	89.85	4.156	0.046
体重 (kg)	61.00	44.60	51.91	4.868	0.094
肩傾斜 (°)	28.50	14.00	21.44	4.283	0.200
ローレル指数*	1.45	1.14	1.30	0.083	0.064

n = 17 単位: cm
ローレル指数: (体重 / 身長³) · 10⁵ (標準値: 1.30 ~ 1.50)

第1段階は、①人体正面シルエット図の頸部から肩部にかけての曲線の曲率が最大となる点を微分係数を用いて探索する、②水平断面重合図に現れる頸付け根曲線の有り様から①の点に制限を加えて「SNP 補助点」を設定する。

第2段階は、上記「SNP 補助点」に、被服造形学の経験から導き出された理論を設定条件として追加する。この第2段階は肩先点との整合性の検討を要するため、後掲する肩先点の項(6章)で論述する。

5.1. 第1段階-(1)微分係数による設定一

図1に示すように、頸部から肩部、上肢上部にかけての人体正面シルエット(正投影図形)を形成している曲線は、アンダーバストライン位置から頸部にかけての範囲においては、すべての点で微分係数をもつ単調増加関数 $f'(x) \geq 0$ の条件を満たしている関数で表現できる(本研究では人体右半身シルエットを基本としているため)。さらに頸部シルエットの曲線(点線枠内)は、単純化させると $y = f(x)$ のような関数式で表現できる。但しこの場合の y は一般関数グラフ上の y 座標を意味しており、本研究で使用している三次元計測装置では z 座標(人体の高度)に相当する。 $y = f(x)$ が三次元計測での人体正面シルエット図のように、直交座標について曲線で表されている場合は $f'(x) = \tan \theta$ となる。SNP を「頸部と体幹部という2つの異なる立体の相貫体と考えた場合の相貫線上に位置する点」と仮定した場合、隣接する各点間の傾き

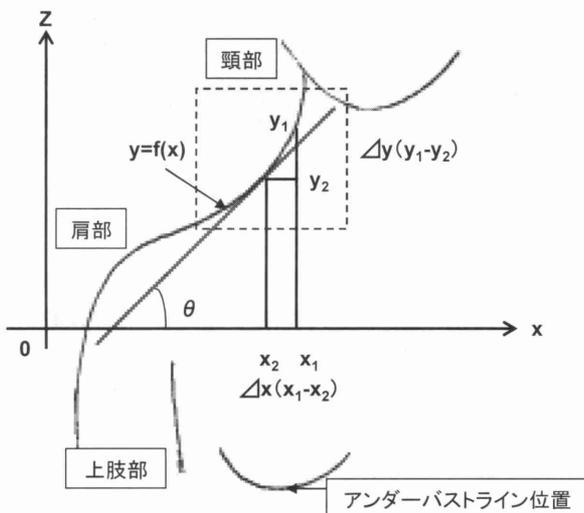


図 1: 人体肩部・頸部シルエット曲線の関数グラフ定義

の変化量 ($\Delta \theta$) が最大を示す位置がシルエット輪郭線の曲率の最大となる点であり、その位置を SNP と仮定することが妥当と考えられる。そこで、2次微分係数 $\Delta \theta$ の値が最大値を示す位置を、SNP 設定ガイドラインの1つとし、この位置を「SNP 補助点1」として仮設定する。

5.2. 第1段階-(2)頸付け根曲線形状からの設定一

衣服の適合性に大きく関与するのが衿ぐり線であり、被服造形学の定義上、「頸付け根線に沿っているもの」とされている。あらかじめ人体体表にマークした頸付け根線[12-14]は、水平断面重合図では図2(上段図)のように現れ、図2(下段図)の座標平面における楕円曲線の第3象限部分に相似した二次関数式(1式)で置き換えることができる。

$$(X/A)^P + (Y/B)^P = 1 \quad (1式)$$

上記の式によって描かれる円弧の曲率は、人体体表面上でマークした三次元座標値を持つ頸付け根線を xy 平面に射影したものであり、したがってこの曲線はすでに頸付け根線の設定条件およびその曲線形状に影響を及ぼす胸鎖乳突筋などの頸部形態要因を含めて設定された、滑らかな凸曲線であると考えられる。

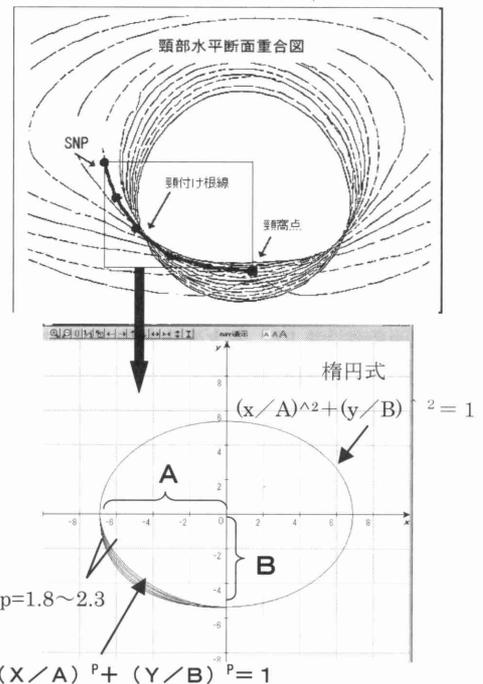


図 2: 頸部水平断面重合図と頸付け根線との関係

そこで水平断面重合図上に現れている直接設定の頸付け根線に上記の二次関数式をあてはめ、 $A \cdot B \cdot P$ 各変数の一般性を検討した。表2はその結果である。

変数 P は平均 0.481、標準偏差 0.058 とバラツキが非常に小さい値となった。これは体表面上に設定された頸付け根線を xy 平面に射影した場合の曲線は、平面図形の衣服パターンでの衿ぐり線に相当し、(1式)での A はパターン上での衿ぐり幅に、 B は衿ぐり深さに相当する。この衿ぐり幅や衿ぐり深さは、被験者の頸部形態によって、その大小関係自体が規

表 2: 頸付け根線の二次関数算出結果

	最大値	最小値	平均値	標準偏差	変動係数
A (cm)	6.51	4.32	5.718	0.647	0.113
B (cm)	6.66	4.57	5.608	0.586	0.104
P	0.58	0.39	0.481	0.058	0.120

(n=17)

則的な増減関係をとるとは限らないが、描かれる曲線は、ほぼ一定したPの値によって描くことが可能であるということを示している。

相関分析結果ではA・Pの間に相関が認められ、これによりAを説明変数、Pを目的変数とした回帰式(2式)を算出した。

$$P=0.171+0.054A \quad (2式)$$

表3はその分散分析結果であり、得られた回帰式が統計的に有意であることがわかる($r=0.61$, $t=2.951$, $P<0.01$)。

この回帰式を用いて、頸窩点(本研究では直接設定頸窩点を用いる)と、先に仮設定した「SNP補助点1」の座標値からPの値を算出し、P値が0.481になる位置を自動探索させる。自動探索の条件は以下の通りと設定した。

「SNP補助点1」は頸部正面シルエット輪郭線を関数式で置き換えた場合、接線の傾きの変化量が最大を示す点であり、この点より上方は、人体シルエット図では頸が立ち上がっている状態となり、被服造形の経験上そこに頸付け根線が設定されることはなく、必ず「SNP補助点1」もしくはそれよりも下方に設定される。逆に「SNP補助点1」から下方にSNPが設定されすぎると、被服造形上いわゆる「肩が抜けた衿付け線」となる。したがってP値が0.481になる位置を探索するときの範囲条件として、最大変化量を示す水平断面位置、もしくはその水平断面位置よりも下方(ただし、下方ガイドラインは1/2肩幅とする)となる点とすることとした。この範囲内において「SNP補助点1」を微分係数から設定し、座標値から図2のA・Bをもとめ、その値を(1式)に代入してP値を検討する。その位置でのP値が0.481ならば、その位置が「SNP補助点」として設定される。ならなかった場合は、微分係数が最大となる「SNP補助点1」から下方において、P値が0.481となる位置を自動計算しながら探索させ、「SNP補助点1」とする。

以上のように、(1)微分係数による探索と、(2)頸付け根曲線形状からの探索、を組み合わせ、SNPの第1段階「SNP補助点1」の設定理論とした。第2段階は肩先点の項で合わせて述べる。

表 3: 頸付け根曲線の回帰分析分散分析結果

	平方和	自由度	分散	分散比	検定
回帰	0.020	1	0.020	8.7056	**
残差	0.034	15	0.002		
計	0.053	16			

6. 肩先点設定のアルゴリズム

「袖」という独立した立体を用いる被服造形学において、袖立体(上肢立体)と体幹部立体がどの位置で相貫するのかということが、運動機能性および美的効果にも大きな影響を及ぼす。この相貫位置、つまり相貫線としての袖付け線の1つの基準となるのが肩先点(Shoulder Point:以下、SPと略す)である。しかし解剖学においては体表区分上いわゆる「肩部」は存在せず、「肩部」を設定している被服造形学においても「肩稜線と腕付け根線との交点」と定義されるSPは、肩峰点を通る腕付け根線自体が客観的設定の非常に困難な、かつ計測者の主観に左右されるのが現状である。文化式の計測でも[15]肩先部の計測点として「肩峰点を通る腕付け根線の最高位に位置する点をSP1」、「身頃肩線を直線で構成すると考えた場合の、人体との最外側接点をSP2とする」という2種を定義している。しかし先行研究からも「人体の肩先曲面には個人差があり、SP1とSP2の間には0.5~3cm程度のバラツキで差がある」とされている[9]。図3は本研究被験者の肩部形状の個人差が顕著な被験者例である。SP1とSP2の間に大きな差があることがわかる。

この例からも明らかなように、腕付け根線が衣服としての袖付け線として適当であるか否かの判断は定かではなく、ある程度計測者の主観に左右されているのが現状である。

そこで本研究におけるSP設定は、上記を踏まえ2段階の理論展開で行った。第1段階は、人体シルエット図における適正袖付け位置の官能検査を行い、その結果を数値データ化してSPの設定パラメータとして用いることである。

第2段階は、SP設定時の被服設計上の経験や習慣をあらためて分析し、それを感性数値データとして導き出し、先に仮設定した「SNP補助点1」との整合性も踏まえて、SP設定のためのパラメータとすることである。

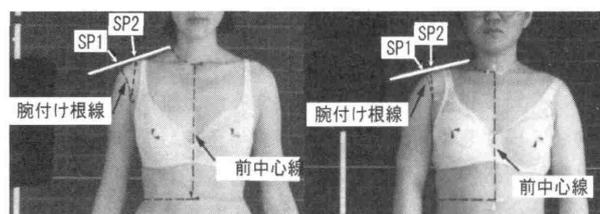


図 3: 肩部形状の個人差例

6.1. 第1段階—適正袖付け線位置官能検査からの設定—

(1)官能検査方法

官能検査は、被験者15名の三次元計測から得たシルエット図に、SP設定の目安となる前中心線および直接設定した肩峰点位置を記し、肩峰点を中心に等間隔に6点の袖付け位置を設定し、基本袖付け線(原型衣を基本とする)として最も適当と思われる袖付け線位置を図中から選択する方法とした。図4は官能検査に用いたシルエット図の1例である。アンケートパネルは被服造形学を専門とする大学教員52名、および被服学を専攻している大学院学生8名の計60名を対象と

して官能検査を行った。

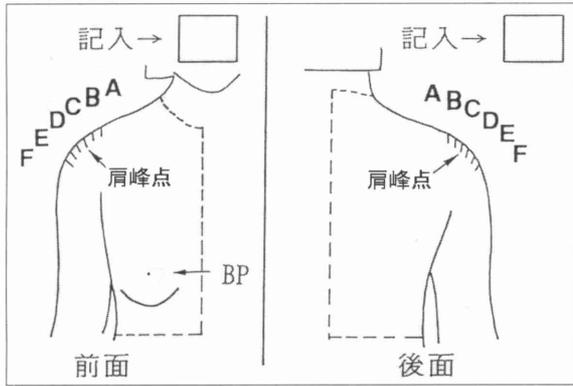


図 4: 官能検査使用図例

(2)官能検査結果

図5は肩峰点位置Dを0、それより SNP 側をマイナス、SP 側をプラスとした-3から+2の数値データとして、被験者別に平均値と標準偏差を示したものである。いずれの被験者においても、平均値は±0.5以内であり、原型衣袖付け線位置はシルエット図上においても肩峰点(D)に近い位置に設定されるのが適当であると判断された。また分散分析を行った結果、被験者間には分散比=5.66>F(15, 686, 0.01)で有意水準1%で有意差が認められたが、官能検査パネラー50名間には分散比=1.20<F(49, 686, 0.05)で有意差が認められず、パネラーの回答の一致性が確認された。この結果から前述の3.1.①の概念の重要性が確認できたと同時に、二次元シルエット図においても肩峰点位置が袖付け線位置、つまりそれを決定するSP位置の設定目安となることが確認できた。

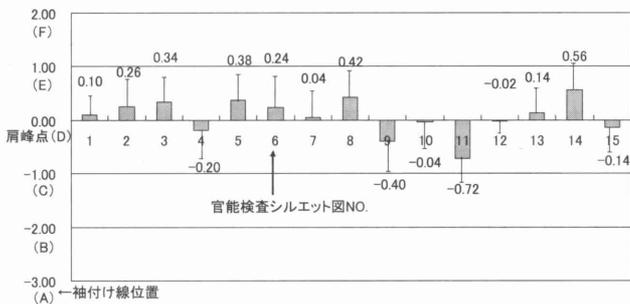


図 5: 官能検査平均値・標準偏差結果

(3)SP 補助点設定のための肩部形状計測

官能検査において、各シルエット図の適正袖付け線位置と判断された平均値位置と、頸部・肩部周辺の人体輪郭線形状および SNP 補助点・頸窩点との二次元図形上の位置関係を数値化するために、肩幅や袖付け角度、肩傾斜角度、人体輪郭線に対する水平・垂直距離等、二次元図形上での計測が可能な23項目の計測を行った。図6はその1例である。

さらに23項目間の相関分析を行い、相関の高い項目を用いて適正袖付け線位置を算出するための回帰式を多数求めた。その中から本研究では、回帰式の寄与率が高く、かつ説明変数・目的変数ともに二次元図形上で計測しやすいことを条件

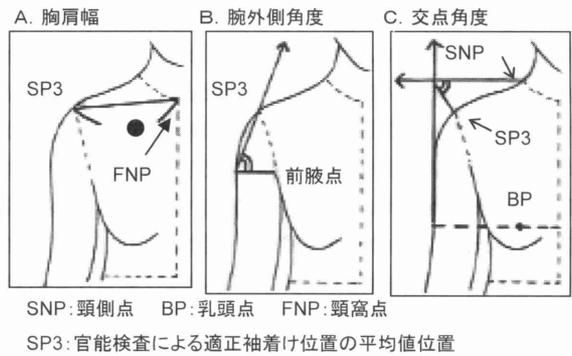


図 6: 肩部形状計測の1例(全23項目)

に、「SNP 補助点1」を基点とした肩傾斜角度を説明変数とし、図6のCに示したように、上腕外側垂直線と、「SNP 補助点1」を基点とした水平線との交点から、SPを結んだ線とのなす角度を目的変数とした回帰式(3式)を採用し、これによって設定される二次元図形上の袖付け線位置を「SP 補助点1」とした。表4は分散分析結果である。

$$Y=37.515+1.045X \quad (3式)$$

表 4: 回帰分析分散分析結果

	平方和	自由度	分散	分散比	検定
回帰	233.330	1	233.330	21.7900	**
残渣	139.230	13	10.710		
計	372.560	14			

r=0.791

6.2. 第2段階-SNP 補助点と SP 補助点の適正検証一

前述までの「SNP 補助点1」と「SP 補助点1」の設定結果と、直接設定 SNP と SP との座標値の差を検討した結果は図7に示す通りである。座標値は三次元計測装置における座標系を用いており、座標原点を中心に前頭面方向での人体右半身部がX座標軸のマイナス(-)、矢状径方向での人体前面部がY座標値のマイナス(-)となっている。

この結果から、直接設定よりも理論設定の方が、「SNP 補助点1」と「SP 補助点1」ともに人体立体上で後ろ寄り、三次

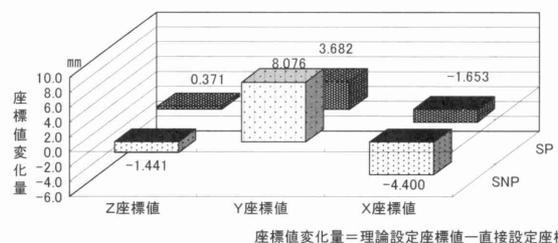


図 7: 直接設定計測点と理論設定計測点の座標値差の平均値結果 (n=17)

元計測装置座標値ではY軸プラス方向に設定され、特に「SNP補助点1」についてはSP寄り設定される傾向にあることがわかる。これは以下の理由によると考えられる。

「SNP補助点1」と「SP補助点1」の設定アルゴリズムは、いずれも従来からの計測点設定定義を基本とし、図学的な平面図・立面図の整合性が基本となっている。つまり必然的に正投影立面図としての人体輪郭線上に設定されることとなる。

SNPとSPを人体輪郭線における肩稜線上に設定するという事は、SNPの定義「外側頸三角における僧帽筋前縁が頸窩点と頸椎点を結ぶ線と交わる点で、肩稜線上に位置する点」と、SPの定義「肩稜線と腕付け根線との交点」に則していると同時に、写真やシルエットなどで採取した投影図的な図例による体型分類、体型計測に適している[16-17]。しかし衣服設計の場合、計測者が被験者の肩線を設定する際に、完全に肩稜線上に設定しているとは限らず、計測者が被験者の肩部形状を見て適宜移動させて設定しているのが一般的である。

衣服設計でのSNPやSP、肩線設定の場合、被服造形学専門家は、図8に示した三次元人体計測装置でのX軸方向、つまり人体方位での前頭面方向を主軸とした視線方向(以下、「前頭面視線方向」と仮称する)のみで決定せず、直交座標軸でのX軸に対して意識的にある角度を持った視線方向(以下、「肩線設定視線方向」と仮称する)、この場合は腕付け根面の傾き(上肢立体と体幹部立体の相貫面の傾き)や肩稜線方向等を配慮して設定している。これは衣服の肩線を考えた場合、僧帽筋の張り出しは後頭部に向かっているため、SNPを稜線上に設定すると後ろ寄りになってしまうためである。また肩部前面は、鎖骨湾曲と上腕骨頭の関節方向により凹面を形成しており、後面は肩甲骨により凸面が形成されている。したがって衣服設計の場合、肩の複曲面を二次元平面の布地で形成する方法として前肩を「伸ばし」、後ろ肩を「いせる」とい

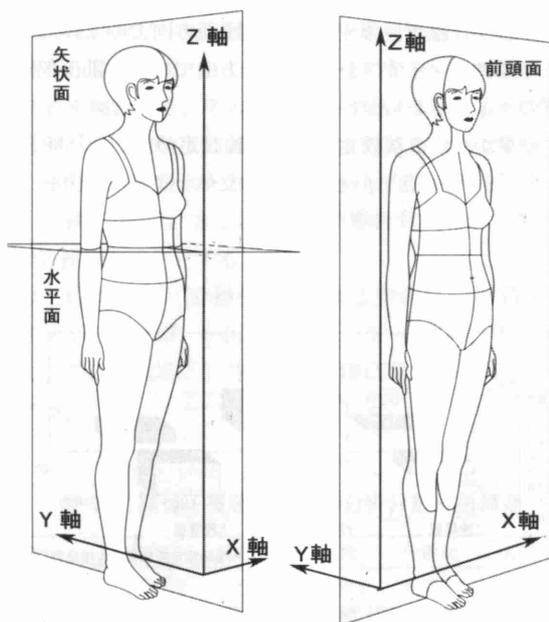


図 8： 人体の方位と三次元座標軸の関係[18]

う造形手法を行う。その際に肩線は、稜線上よりも前寄りにある方が、異なる曲面へ対応を考えた場合落ちつきやすい、等の経験に基づいた衣服設計独自の感性がそこに関与され、それが結果として衣服としての適合性を高めていると考えられる。

三次元計測装置を利用した工学的・図学的な計測点設定の場合においても、被服造形学の専門家が実際に触診でSNPやSPおよびそれに伴う肩線を設定する場合の感性をデータとして組み込む必要がある。しかし、現在各メーカー等で開発・使用されている自動設定システムによる計測点設定結果を見ると、上記で述べた衣服設計上の経験や習慣のデータを組み入れていない、三次元計測時における直交座標軸を基本とした設定アルゴリズムで作成されたと思われる結果が多く、結果として、それが直接設定との差としてあらわれていると考えられる。

しかし、上記の解決策として単純に「SNP補助点1」と「SP補助点1」を前寄りに平行移動させた場合、今度は頸に対する肩線の入りが鋭角になりすぎるといった現象が生じる。これは人体各部位の厚みの違いによるものであり、SNP寄りは人体厚径が大きく捻ぐりとしての曲率は大きい、SP寄りは曲率が小さいことに起因している。

そこで肩線を設定する際の計測者の視線方向をアルゴリズムに取り入れる方法として、座標軸の回転を取り入れた。

(1)座標軸の回転

①第1段階-SP補助点1の移動-

人体肩先部は上腕骨骨頭が肩関節で前方傾斜をもって関節している。つまり図9に示すように、人体水平断面重合図で見ると、体幹部と上肢部は三次元計測装置での直交座標軸(以下、三次元座標軸と略す)に対して傾斜角度をもって相貫している。前述したように、計測者が肩線を設定する際の視線方向は、図8の前頭面方向からのものではなく、この肩関節での前方傾斜角度(相貫角度)に合わせ、前頭面方向よりやや前方からの見た位置で設定している。この相貫傾斜角度(以下、相貫角度座標軸と仮称する)を主軸と考えると、その軸でSPを設定するという事は、衣服設計上の経験的慣習に適合する設定条件であるといえる。

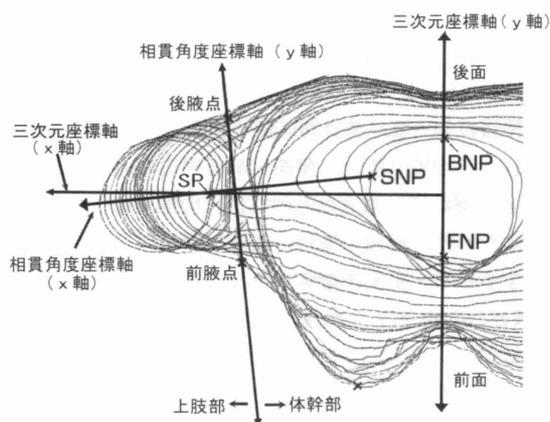


図 9: 上肢相貫傾斜角度と座標軸との関係

そこで図 10-a に示すように、「SNP 補助点 1」と「SP 補助点 1」を結んだ線を局所座標軸の X 軸とし、その「SP 補助点 1」における局所座標 Y 軸において X が最小を示す位置に「SP 補助点 1」を移動し、この点を「SP 補助点 2」とする。

②第 2 段階—SNP 補助点 1 の移動—

図 10-b に示すように、「SNP 補助点 1」と「SP 補助点 2」を結んだ線を局所座標 X 軸として、その「SNP 補助点 1」における局所座標 Y 軸において X が最小を示す位置に「SNP 補助点 1」を移動し、この点を「SNP 補助点 2」とする

(2) 衿ぐり曲線形状としての「SNP 補助点 2」の適正検証

(1)-②の移動は、人体水平断面図上での前後方向の移動であるため、それに伴う人体立体として「SNP 補助点 2」の高さ方向の適正をこの段階で確認する必要がある。

図 10-c に示すように、人体水平断面重合図上での SP と SNP を結んだ線を X 軸とし、SNP の位置を主軸の原点としたとき、頸部断面前方接線と X 軸との角度 α が 90° 以上の場合は、人体で見ると胸鎖乳頭筋の隆起が大きく、それをカバーした衿ぐり線を設定すると、衣服原型としては SNP で鋭角となり、前肩と後ろ肩を縫合する際に滑らかな曲線とならない。逆に α が小さいと、胸鎖乳頭筋の隆起からはずれた位置を通る衿ぐり線となり、いわゆる「抜けたような衿ぐり線」となる。この現象を踏まえ、「SNP 補助点 2」を原点としたときの α が $\alpha \leq 90^\circ$ になることを条件とし、 $\alpha > 90^\circ$ の場合は「SNP 補助点 2」の断面を 1 断面づつ下げて調整することとした。

以上のアルゴリズムを元に、コンピュータで自動設定される計測点を、本研究の最終的な SNP・SP（以下、「理論 SNP」・「理論 SP」とする）とした。

7. 結果—理論仮説の適正検証結果および考察—

システムの適正検証は、前述 3.2.④にしたがって行った。

7.1 「理論 SNP」・「理論 SP」座標値における適正検証

表 5 は「理論 SP」・「理論 SNP」と直接設定計測点の座標値変化量の基本統計結果である。いずれも直接設定計測点との座標値の差は小さく、変化量平均も ± 2.0 mm 程度で設定適合度は非常に高い結果であった。またいずれの座標も 4.0 mm 前後のばらつきが見られたが、三次元計測装置の計測ピッチ 3.75 mm を考慮すると、ほぼ適性範囲であると判断できる。また、被験者 17 名と 3 座標の分散分析を行った結果、SNP については、被験者間分散比 $0.777 < F(16, 32, 0.01)$ 、座標間分散比 $0.818 < F(2, 32, 0.01)$ 、SP については被験者間分散比 $2.626 < F(16, 32, 0.01)$ 、座標間分散比 $1.899 < F(2, 32, 0.01)$ で、いずれも有意差は認められなかった。したがって本研究における計測点自動設定システムは、被験者の体型に左右されず、かつある方向への設定位置差をもたらす要因のない、解剖学での計測点とほぼ一致した位置に設定できる理論が構築されていると判断できる。

表 5: 座標値変化量基本統計結果

	単位:mm n=17					
	SNP			SP		
	X	Y	Z	X	Y	Z
平均値	-0.54	1.34	0.41	-2.05	-0.95	-0.24
標準偏差	4.10	4.50	3.65	3.21	3.78	3.13

変化量 = 理論設定座標値 - 直接設定座標値

7.2 衣服原型形状からの適正検証

「理論 SNP」と「理論 SP」を用いて人体の各部体表長を計測し、人体密着型衣服原型を作成して原型各部の寸法の比較を行った。この人体密着型衣服原型は、三吉氏によってすでにその設計理論の適正が確認されている短寸式原型作図法に準じている[19]。計測部位は図 11 に示した通りである。また図中には直接設定計測点を用いて作製した原型の計測平均値と、理論設定計測点での原型計測平均値も同時に示している。全ての部位において直接設定原型との間に平均値の有意な差は認められず、理論設定計測点は、衣服設計の面から見ても適当な位置に設定されていると判断できる。

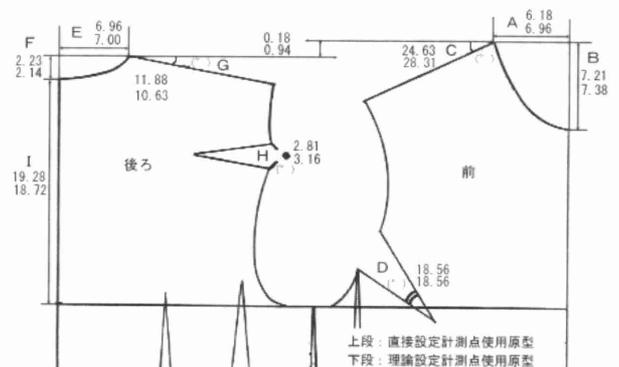


図 11: 衣服原型形状計測平均値結果 (n=17)

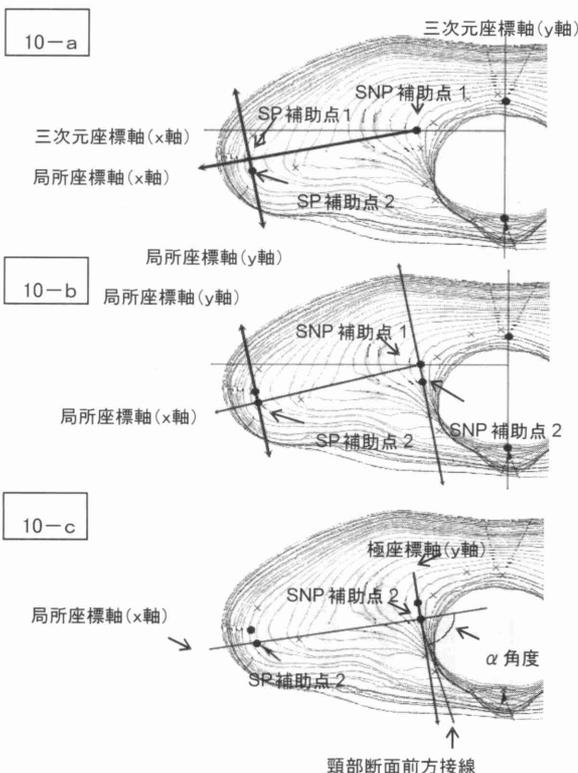


図 10: 座標軸の回転方法

7.3 官能検査からの適正検証

一般に衣服に対する評価基準としては、①衣服として構造上可能か、②縫製し易いか、構成し易いか、③見た目美しいか、という項目が挙げられる。①に関しては前述の統計処理結果から、理論計測点によって得られる衣服原型の形状と直接設定で得られる原型形状との間に有意差がなく、本研究でのアルゴリズムを基に衣服原型を設計しても、原型として不都合でないものを作成することができるということが立証された。しかし衣服設計では③の見た目の評価が重要であり、かつこの評価は必ずしも統計学的に判断した計測点位置の有意差評価と一致するとは限らない。

そこで「理論 SNP」と「理論 SP」により規定される肩線が、衣服設計の経験に裏づけされた視覚的判断基準に適合するものであるかどうかを、官能検査により検証した。

(1)官能検査方法

官能検査は、人体の非静止性による誤差を防ぐことが可能であり、かつ復元性が良いという理由から、人体から採取した石膏像8体を用いて行った。図12は使用した若年女子上半身石膏像の1例である。

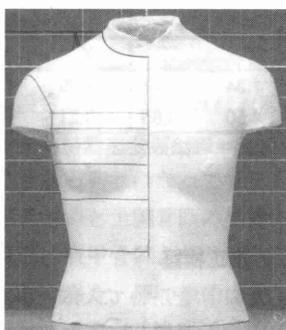


図 12: 石膏像例

表6は1996年から98年にかけて若年女子93名を計測対象とした先行研究[20]と同一定義で行った、石膏像8体の体型計測の基本統計結果である。先行研究結果との平均値の差の検定を行った結果、いずれの項目も危険率1%で有意差は認められなかった。

また、石膏像体表に、a. 直接設定計測点による肩線（以下、「a肩線」とする）、b. 座標軸回転を行う前の、正投影図としての人体輪郭線上に設定される「SNP補助点1」と「SP補助点1」による肩線（以下、「b肩線」とする）、c. 座標軸回転を行った「理論 SNP」と「理論 SP」による肩線（以下、「c肩線」とする）、の3種を設定し写真撮影を行った。撮影方向は前面・右斜前30°・右斜前45°・側面・右斜後30°・右斜後45°・後面の7方向とし、石膏像8体について、それ

表 6: 石膏像の体型計測結果

	n=8 (cm)						
	BL囲	背丈	後丈	前丈	肩幅	背肩幅	胸肩幅
平均値	84.18	35.10	37.54	38.80	11.75	18.62	17.08
標準偏差	3.76	1.27	1.41	1.13	0.49	0.51	0.56

ぞれ3種類の肩線、計168枚の写真を準備し、「衣服肩線位置として適当である」を0、前寄りを+2、後ろ寄りを-2とした5段階尺度で官能検査を行った。検査に先立ちパネラーには、衣服肩線の定義として「人体肩部を衣服で前後に分ける場合の衣服肩線位置を評価の基本とし、ジャケット類においても、その考えの基となる原型肩線を基本とする」主旨の共通認識を与えた。また「適当である」という評価以外の場合は、前後方向にどの程度寄っていると思われるかを、前方方向はその寸法を+（プラス）で、後ろ方向は-（マイナス）で実寸（cm）評価させた（以下、「前後移動寸法」とする）。パネラーは被服造形学の大学専門教員33名である。官能検査は順序効果の影響を避けるため、石膏像番号や3種の肩線記号は明記せず、写真提示の順番もランダムに行った。

(2)官能検査結果

図13はa肩線を基準とした、b・c肩線の5段階評価の結果と前後移動寸法結果を併せて示したものである。5段階尺度については前述の評価尺度を数値評点として解析した。

c肩線は評定平均値-0.413と多少後ろ寄りであると判断される傾向にあったが、衣服原型肩線としてそれ程不都合な位置ではないと判断された。b肩線は、評定平均値-1.071と衣服原型肩線としては後ろ寄りであると判断された。このb肩線は三次元計測装置で得られた投影図における人体輪郭線の肩線線上に設定される「SNP補助点1」と「SP補助点1」による肩線である。つまり、SNPとSPは、一般的な計測点定義である「人体肩線線上」を投影図としてのシルエット図形上に設定すると、実際の衣服肩線の設計においては後ろすぎて落ち着きが悪く、したがって衣服設計の場合、計測者もしくは衣服設計者がその経験等に裏付けされた感性で意識的に肩線を前に寄せて設定している現状が明確となった。

実際に肩線として前後方向にどの程度寄っていると思われるかを実寸（cm）で評価させた前後移動寸法結果については、前述の5段階評価と同様に、c肩線は前後移動寸法平均値は-0.208cmと微量であったが、b肩線は-0.685cmと後ろ寄りであると判断された。この結果からも、本研究の最終結論とした「理論 SNP」と「理論 SP」によるc肩線は、約0.2cm程度後ろ寄りであるという評定結果ではあるが、衣服設計の立場から視覚的に判断しても適当な肩線の設定が行える位置と考えることができ、本システムの計測点設定理論は有効であると判断できる。

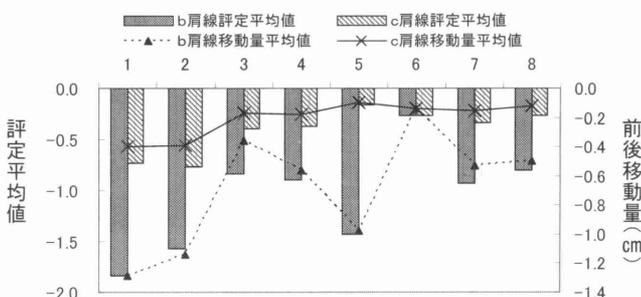


図 13: 適正肩線位置官能検査結果

図 14 は、前述までのアルゴリズムに基づき設計した計測点自動設定システムのコンピュータ画面である。本研究では SNP と SP を対象としているが、現在まで既に設計されている各計測点と同一画面上で設定可能となっており、用途に応じて設定計測点を任意に選択できるようになっている。

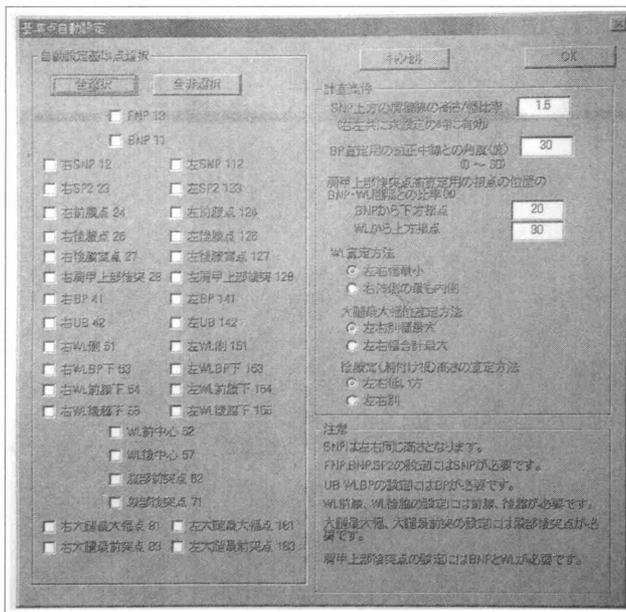


図 14: 計測点自動設定画面

8. おわりに

現在の被服造形学における人体計測は、人類学等の設定定義に可能な限り準拠して行っているものの、パターンメイキングとの関係から、各研究者が被服造形として独自に設定を行っている場合が多く、かつそれらは主観に左右されている現状が見受けられる。したがって、従来の人類学や人間工学における計測点に加えて、被服設計理論の要求を踏まえた計測点定義の検討およびその設定は急務であると考えられる。本研究は衣服設計の基本となる人体計測の三次元計測システム構築という観点から、その理論確立のための基礎研究の1つとして人体計測点の自動設定システム作成の基礎理論の検討に焦点をあてた。衣服設計の自動化を試みる場合、現在様々に行われている手法、例えば有限要素法を用いた人体体表面の平面化やパターン作成、閉曲線のフーリエ近似表現を基本とした人体立体表現のモデリングによる衣服設計の可能性などは、いずれもその第1段階である人体計測点の設定は従来通り直接人体に触診で設定している、もしくは人体計測点を設定せずに衣服形状を直接作成するという考えで行われている。しかし本研究は、人体計測は衣服設計におけるサイズ設定の基礎データを抽出する基本となる手法であるのみならず、その結果を用いて体型分類等の指標を得ることも可能であり、その意味からも客観的な人体計測点の設定理論は必要であり、そのためには自動化が最適かつ急務である、という考えを基に、設定理論のモデル化を行うと同時にその方法論の検討を中心に研究を行った。

本研究で設定した計測点自動設定方法論では、従来その定義に客観的基準のない SNP と SP について、人体形態の一定条件で客観的に設定することが可能になる他、その計測点を使用して作成した衣服原型等についても、被服造形上の経験的判断基準に耐え得るものを求めることができたと考え、方法論のモデル実験としては有効であると考えらる。

今後、さらに多くの被験者に対して図学的人体計測情報の抽出を試み、本研究での報告に取り入れていない肩部周辺の計測点も含めて検討を行うと同時に、人体計測からデザイン・パターンメイキングを組み合わせた、より現実的かつ実用的なシステムの確立が必要であると考えている。また 2005 年に新たに導入した三次元人体計測装置 (12 台のカメラでデータ採取が可能で、計測時間は全身で約 5 秒という精度) を使用し、本論文のアルゴリズムを応用した高齢者を対象とした検証研究も急務であると考え、既に実施している。

本研究に際し長年ご指導賜った三吉満智子本学名誉教授に深謝する。またソフトウェア開発作成にご協力いただきました倉野謙二氏に心より感謝する。

尚、本研究の一部は平成 11 年度～14 年度の文部科学省新技術研究開発研究費によって実施し、さらに高齢者を対象とした継続研究を平成 17 年度文部科学省新技術研究開発研究費によって実施していることも合わせて記す。

参考文献

- 1) 秋山珠美, 山川勝: デザイン画入力による自動パターンメイキングシステムの開発 (第 6 報) ブラウスの自動パターンメイキング, 繊維機械学会誌, 48, 12, 49-57, 1995
- 2) 高寺政行, 荒井久子, 鮑力民, 篠原昭: 幾何学的モデリングによるフレアスカートのパターンメイキング, 繊維機械学会誌, 51, 6, 53-60, 1998
- 3) 岡本英二, 古川貴雄, 傅傑, 上条正義, 清水義雄, 清水裕子: 三次元人体測定データからの原型作成システム (第 1 報), 繊維製品消費科学会誌, 37, 10, 50-54, 1996
- 4) 益田智恵, 今岡春樹: 予測による立体裁断敵密着衣服原型の自動作成システムの設計, 繊維製品消費科学会誌, 41, 6, 37-46, 2000
- 5) 今岡春樹, 渋谷惇夫, 相坂登: 人体表面の平面展開法の研究一(1), 繊維高分子材料研究所研究報告特集号, 169 号,
- 6) 今岡春樹, 渋谷惇夫, 相坂登: 人体表面の平面展開法の研究一(2), 繊維高分子材料研究所研究報告特集号, 169 号,
- 7) 岡部秀彦, 今岡春樹, 赤見仁: 三次元 CAD/CAM のための衣服型紙とその自動有限要素分割, 繊維学会誌, 42, 4, 101-109, 1986
- 8) 三吉満智子: 非接触三次元人体計測装置一被服構成における有効性とこれから一, 衣生活研究, 14, 7-8, 1987
- 9) 三吉満智子: 文化女子大学講座理論編 I, 文化学園教科書出版部, 67, 2000
- 10) 三吉満智子, 金金花: 三次元計測装置による人体水平断面形状の計測一断面形状の捻じれ修正と平均化の検討一, 繊維製品消費科学会誌, 40, 8, 61, 1999
- 11) 三吉満智子, 広川妙子: 衣服パターン設計のためのジャ

- ケット着用時空隙量計測方法の研究－三次元計測装置を用いて－, 42, 4, 37, 2001
- 12) 三吉満智子：文化女子大学講座理論編 I，文化学園教科書出版部，69, 2000
- 13) 日本人間工学衣服部会：新編 被服と人体，(株) 日本出版サービス，1981
- 14) 間壁治子：被服のための人間因子，(株) 日本出版サービス，1991
- 15) 三吉満智子：文化女子大学講座理論編 I，文化学園教科書出版部，70, 2000
- 16) 山名信子，岡部和代，中野慎子：シルエットから見た体型の類似性，日本家政学会誌，39, 11, 1988
- 17) 小田明美，藤井晴美：衣服原型の設定に関する基礎的研究－女子学生のシルエッター写真による－，大阪樟蔭女子大学論文集，24, 1987
- 18) 三吉満智子：文化女子大学講座理論編 I，文化学園教科書出版部，52, 2000
- 19) 三吉満智子，中本節子：成人女子用上半身原型作図法に関する研究－短寸式作図法の検討－，日本家政学会誌，41, 12, 1213, 1990
- 20) 三吉満智子：文化女子大学講座理論編 I，文化学園教科書出版部，168, 2000