

滑らかな補間関数に関する一考察(2)

——補間関数を用いた動画像の表現——

梶 谷 哲 也*

A Study of Interpolating Spline Function for Graphic Design Systems (2)

Tetsuya Kajitani

要 旨 本稿では、立体とその運動の測定データが持っている実体との差異を補間関数を用いて補正する事を試みた。差異を補正する補間関数としては“平滑化スプライン関数”を選択し、その関数に対する2つのパラメータ（補間関数の重み係数： g と測定データの重み： W_i ）を変数とした時に生成される補間曲線について検討した。この検討から、平滑化スプライン関数とそのパラメータ（ g, W_i ）は、測定データの補正に関する専門的な知見を、素人にも分かりやすく表現できる道具として利用できる可能性が見いだせた。

1. はじめに

3次元動画像は、人間との良好な視覚的インターフェースを構成するために必須である^{1),2)}。従って、これまでも、多くの研究がなされている²⁰⁾。また、近年、これまでに見られなかった着眼点からの提案もなされている⁴⁾。

そこで、本稿では、誤差が含まれていると考えられているデータを、補正する処理の手段について検討を加える。

ただし、これまでに、円筒データと逐次補間関数で仮想空間を表現しているため⁵⁾、誤差の含まれているデータも同等のデータ構造で正確に表現されることが望ましい。ところが、実際の測定機器で得られるデータは、実体と差が生じる。そこで、その誤差の内容を次のような2種類に限定した。

- a. 測定装置自体の誤差（測定方式、分解能等）
- b. 測定対象の特性と測定方式との間で発生する差異

ここで、a項のものについては、各測定方式に対して工学的な検討が各方式に対してなされている³⁾。

また、b項についても、各々、その目的に応じた対策がなされている^{6),7)}。

2. 視覚と動画像

立体や空間を動的に認知しなくてはならない場合は、

- a. 観測者（視点）が移動する時
（このとき、対象は固定）
- b. 対象が移動する時
（このとき、視点は固定）
- c. 対象物が変形する時
（このとき、視点、対象の位置は固定）

と、それぞれの場合の組み合わせが考えられる。

ここで、図1のようなデザイン環境⁵⁾のもとでは、視点と対象の移動については、3次元以上の補間関数を用いれば、基本的な表現は可能であると考え²¹⁾。ただし、対象の連続的な変形（モーフィング等）については、本稿までの手法では十分な対応を望むことが出来ない。

* 本学講師 人工知能

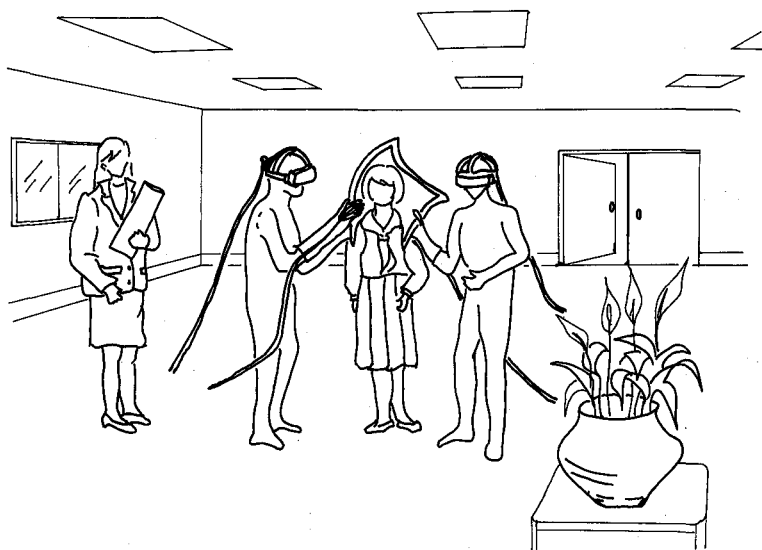


図1 デザイン環境

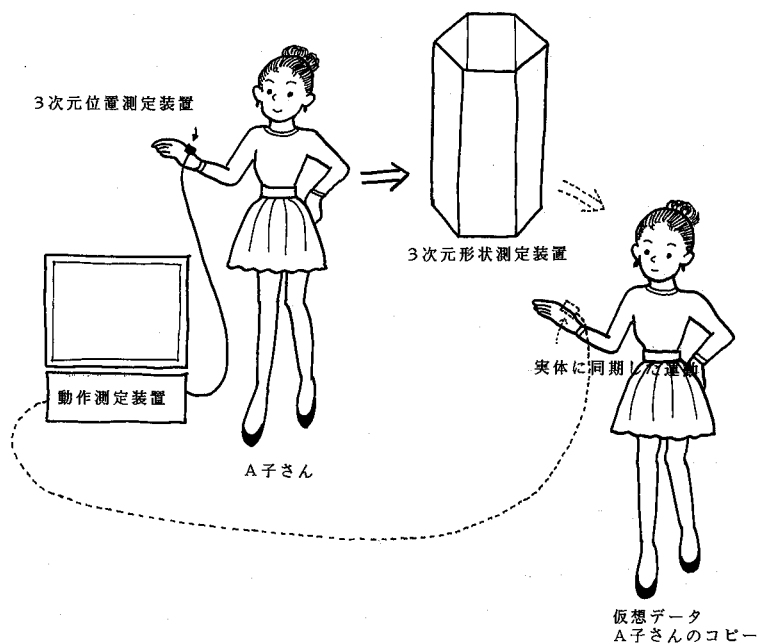
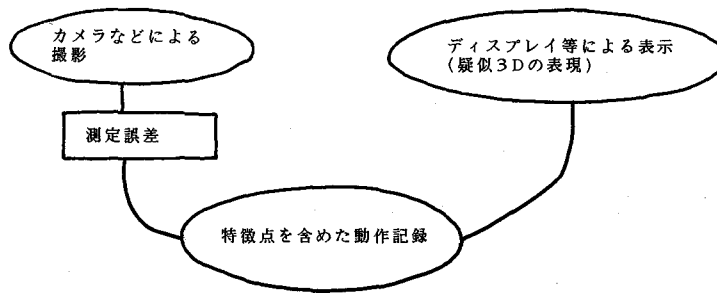


図2 仮想空間のデザイン環境と測定

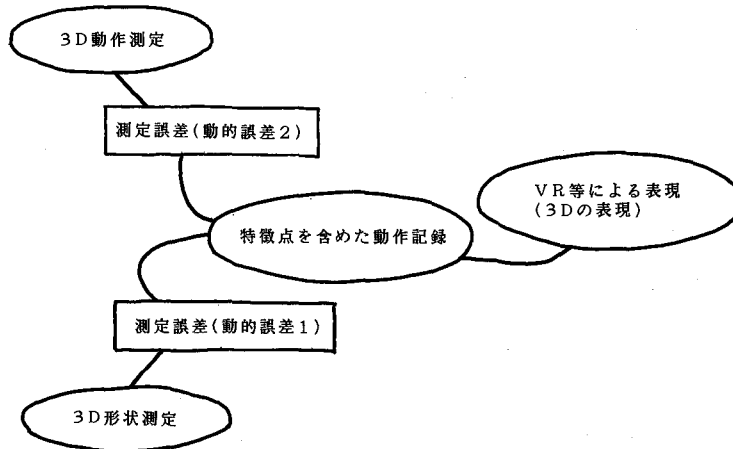
ここで、立体やその動きをデジタルデータ化する手法は、その対象の性質や内容に応じて、様々な手法が提案されている⁸⁾。そこで、本稿では、VR空間内での（スケールをもたう）被

服デザイン活動の可能性について検討を加えることを目的¹⁹⁾として、本学の3次元測定装置で得られた人間の3次元形状データ（腹部）、およびファッションモデルの足先の運動データを

滑らかな補間関数に関する一考察(2)



現在の代表的なデザイン支援環境



今後のデザイン支援環境

図3 今後のデザイン支援環境と誤差

使用して、測定データの補正（平滑化）に関する検討を行なった。

3. 動画像の定量化と誤差

情報処理装置を利用して対象を把握するためには、その特徴を何らかの方法で定量化していく作業が必要となる（図2，3）。

さらに、対象を、測定する目的に対して十分な条件や精度で観測を実施できない場合は、そのデータ間の性質や、観測対象に対する事前の知識を使用して、そのデータを補正することは

自明である。

その方法として、次のような考え方が挙げられる。まず、対象の測定の経験が豊富な人間が測定データについて、データごとに、測定条件等を総合的に加味した、独自の補正を行う方法。この方法では、自然なデータの補正が期待出来るものの、補正処理の結果の再現性を保証することは基本的に不可能となる。

他方、対象に関する測定データを、何らかの客観的な基準にもとづいて補正していく方法が考えられる。この方法によれば、人間による優れた補正は望めないものの、手法を一定化

し、パラメータなどの客観的な量にもとずいた補正が実施できる。その結果、測定対象やその方法に対する経験の少ない第3者でも、再現性の高い補正を期待できる。

ここで、重要なことは、前者の高度な補正処理を後者の簡便で客観的な方法として、実現させるための手段の提供である。そこで、その手段の1つとなり得る平滑化の手法⁹⁾のうちから、これまで検討してきた補間関数の拡張として扱える、平滑化関数を取り上げ、その効果を検討した。

4. 誤差と補正 (平滑化)

時間軸に従って、対象を測定した入力データ $j(t)$ を、

$$j(t) = f(t) \cdot e_2(t) + e_1(t) \quad (1)$$

とする。

ここで、 $f(t)$ は実像データ $e_1(t)$ は、 $f(t)$ と独立な誤差、 $e_2(t)$ は、 $f(t)$ に従属する誤差とする。

ただし、本稿で使用した測定データでは、問題とならない⁶⁾ため、 $e_2(t) = 1$ として扱った。

ただし、 $e_2(t) \neq 1$ の場合については、独自の手法で対応している¹⁰⁾。

4-1 平滑化の尺度

$j(t)$ (1式) の平滑化の尺度 σ を以下(2式)のように定義すると、補間関数では、重み g がその内容や程度を客観的に表現するための唯一のパラメータとなる¹¹⁾。

また、各データに対する重み (w_i) は、測定データに対する唯一のパラメータとなる。

$$\sigma = \sum_{i=1}^n w_i \{f(x_i) - y_i\}^2 + g \int_a^b \{f^{(m)}(x)\}^2 dx \quad (2)$$

ここで、与えられたデータ (測定データ) 点、 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ に対して、 $f(x)$ は $(2m-1)$ 次の補間曲線を表す。さらに、 σ は、2つの相異なる性質の2項から定義される。第1項は、与えられた点に対する忠実度 (2乗ノルム) を表し、第2項は、与えられた点にたいする近似曲線の滑らかさを表している。結果的

に、 σ の値を最小にする時、 $f(x)$ は重み定数 g に対して、最も滑らかな曲線となっている。また、 $w_i (> 0)$ は i 番目のデータの信要性が低いときに、その値を小さくしてその影響を抑ええる役割をもつ。つまり、 g の値が大きいことは、データ点に対して滑らかな曲線を得ることを意味し、その逆はデータ点に対して忠実な曲線を得ることを意味する。

また、ここで、重み g を一定とした時に、実際のデータに忠実で、滑らかな曲線を求めるための条件もすでに報告されている¹¹⁾。

5. 人体データの補正実験

まず、人体を計測した時に発生すると考えられるデータ (図4) を使用して、次のような補正実験を行なった。

5-1 方法

人体の呼吸運動が含まれていると考えられる、図4の波形を、著者の主観的な判断で、以下のような式で近似した、

$$j(t) = \exp(t/5) \cdot \sin(t) + \sin(10 \cdot t) \quad (3)$$

ここに、 $j(t)$ は測定値、 $\sin(10 \cdot t)$ は誤差と仮定した。

この $j(t)$ を使用して、データを $t = -1$ から 1 まで 50 個、等間隔で発生させ、次のような条件で、補正実験を行なった。

- スプラインの次数を変化させながら、データを補正。
- 3 次のスプライン関数のパラメータ g を変化させながら、データを補正。

5-2 結果

実験の結果、補間関数の次数を増加 (図 5-b, -c) させなくても、図 6-c のように、パラメータ g のみを変更することにより、滑らかな曲線を得ることができた。

5-3 考察

高次の補間関数は、データによっては振動が起りやすいため、3 次関数程度で、入力データを近似できることは望ましいと考える。

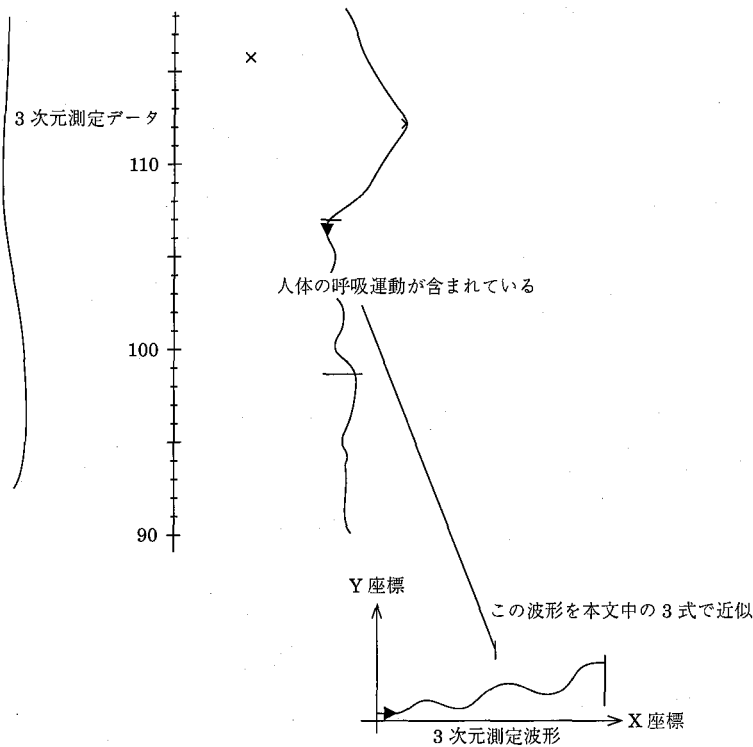


図4 人体の呼吸運動を含む測定データ⁶⁾

6. 人体歩行データの補正実験

次に、人体の歩行データをモデルのウォーキング(図7)から、足先の動きを測定したデータを用いて、次のような補正実験を試みた。

6-1 方法

モデルのウォーキングを動作解析装置で左右の足先の動きを測定した(付録1)。

ただし、測定間隔は7/30秒として、14組(x座標, y座標)のデータとして表現した。さらに、このデータをもとに、次のような条件で、補正実験を行なった。

- スプライン関数の次数を変化させながら、データを補正。
- 測定データ中、真値に近いと人間が判断した点を、他のデータ点よりも3倍の重みづけをして補間する。(ただし、補間関数

の次数, g ともに一定)

6-2 結果

実験の結果、図8-cでもわかるように、補正のために補間関数の次数を増加させすぎると、現実には在りえない、補間曲線(アンダーシュートなど)が発生してしまう。

一方、適切に補間関数の次数を選択し、適切な測定データのみに重みを与えた場合は、補間関数の1次微分曲線からも分かるように、図8-b, 図9-bともに補正曲線全体に影響を与えずに、部分的な補正が可能なが分かった。

6-3 考察

人間の歩行などの、運動と静止が繰り返されるデータは、静止した物体の測定データの補正とは異なり、測定データの重み(w_i)を変更することがのぞましいと考える。ただし、測定データをリアルタイムに利用しなければならない場合で、3次のスプライン関数を選択した場合

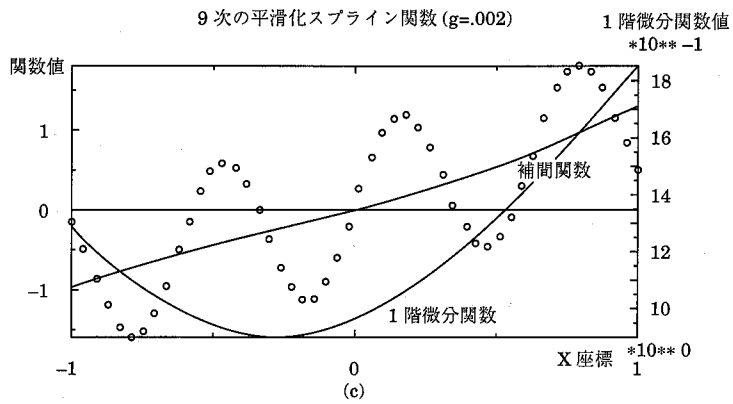
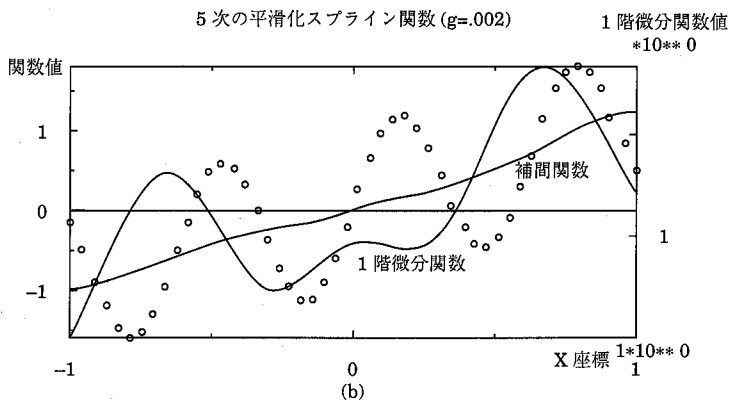
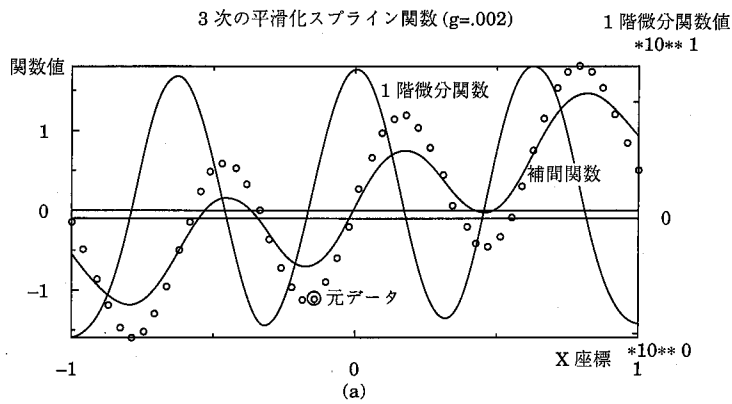


図 5 近似次数を増加させた場合 (g : 一定)

滑らかな補間関数に関する一考察(2)

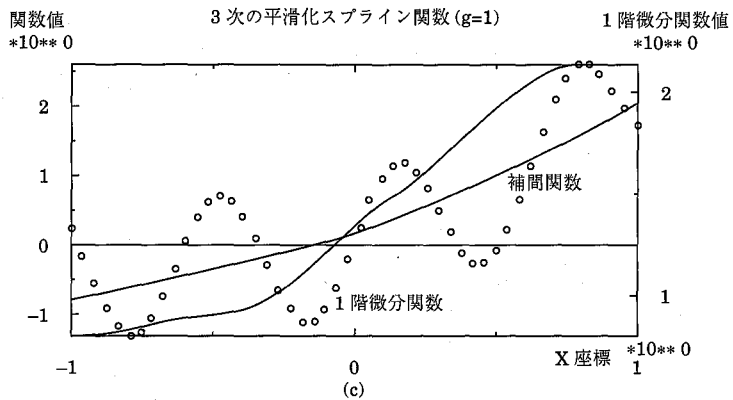
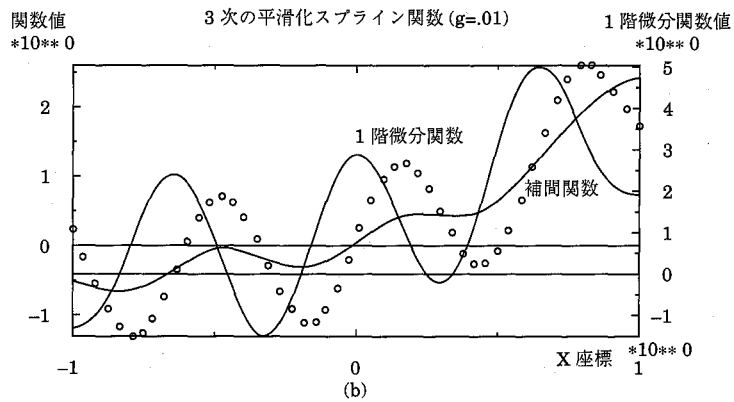
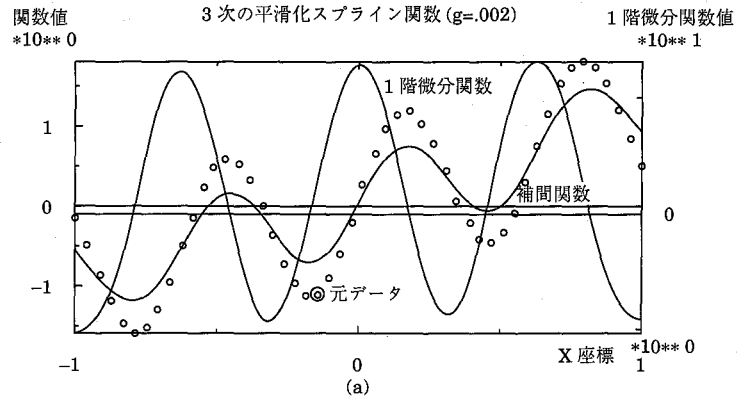


図 6 g の値を変化させた場合 (近似次数は一定)

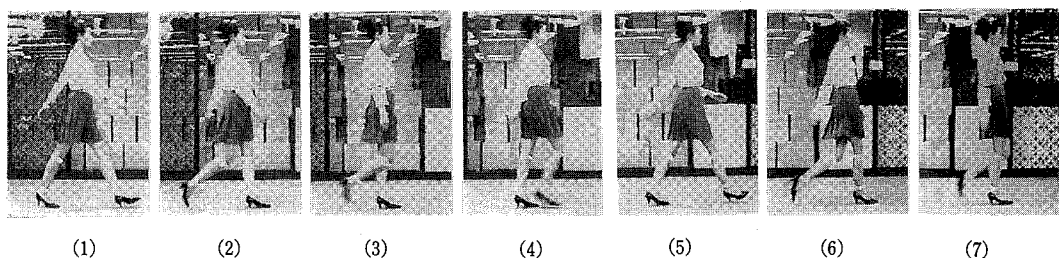


図7 モデル歩行写真

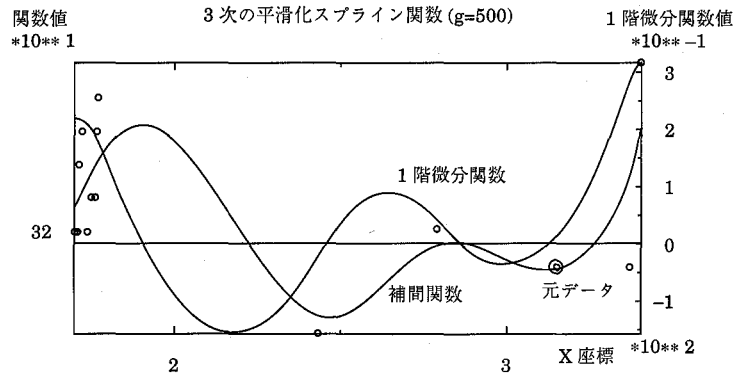
表1 歩行解析データ

歩行記録用紙		モデル		歩幅		右		左		右		左		右		左		右		左		備考	
観測時間刻み間隔		7/30時間																					
右足先		左足先		右 膝		左 膝		右 腰		左 腰													
x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標		
フレーム1	178	320	99	318	146	275	108	275	123	223	136	222											
フレーム2	177	320	98	318	151	276	127	279	136	219	148	219											
フレーム3	172	322	116	312	156	275	158	275	149	220	162	219	左足蹴り										
フレーム4	175	323	138	313	157	277	173	279	159	219	170	220											
フレーム5	179	320	179	315	163	276	195	273	165	217	176	217											
フレーム6	177	321	214	319	166	277	204	273	170	218	178	218											
フレーム7	177	321	243	315	169	276	212	274	178	219	187	218											
フレーム8	177	323	257	321	181	277	256	274	197	223	202	223	左足着地										
フレーム9	175	324	259	325	208	283	237	275	213	222	213	222	左のり, 右蹴り										
フレーム10	259	322	243	317	241	274	262	278	238	221	238	221											
フレーム11	279	320	261	323	282	274	294	276	249	220	257	219											
フレーム12	315	319	259	323	290	274	255	277	260	219	266	219											
フレーム13	336	319	258	323	300	274	258	277	275	223	282	223											
フレーム14	340	325	359	322	314	280	278	281	291	223	299	220	左けり, 右のり										

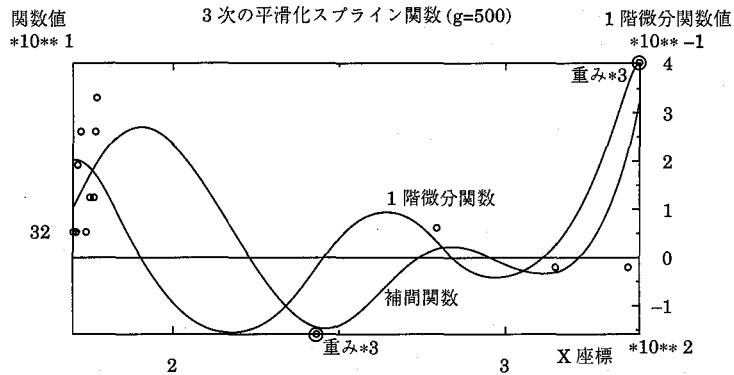
表2 歩行解析データ

歩行記録用紙		素人		歩幅		右		左		右		左		右		左		右		左		備考	
観測時間刻み間隔		7/30時間																					
右足先		左足先		右 膝		左 膝		右 腰		左 腰													
x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標	x座標	y座標		
フレーム1	143	323	82	320	316	282	85	284	92	232	105	232											
フレーム2	143	324	82	322	127	284	108	288	106	234	114	233	左足蹴り, 右のり, 膝延び										
フレーム3	143	324	96	323	126	284	129	285	112	231	123	233											
フレーム4	142	323	124	315	129	284	149	281	126	229	133	228											
フレーム5	143	324	172	322	131	285	165	279	128	230	138	231											
フレーム6	143	324	203	319	134	287	175	283	142	233	144	234											
フレーム7	140	324	208	323	142	287	186	282	154	234	160	235	左着地 (右蹴り無し)										
フレーム8	143	325	209	324	170	292	196	283	171	234	177	235	右足蹴り (膝まがり)										
フレーム9	162	321	208	324	192	289	194	284	182	230	186	231	左のり										
フレーム10	213	326	202	322	222	282	200	285	193	230	200	231											
フレーム11	259	351	207	324	235	282	204	285	206	232	212	233											
フレーム12	274	325	202	324	247	285	214	287	217	234	228	235											
フレーム13	275	326	209	327	257	284	226	288	229	233	239	232	右着地, 左半けり										
フレーム14	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし											

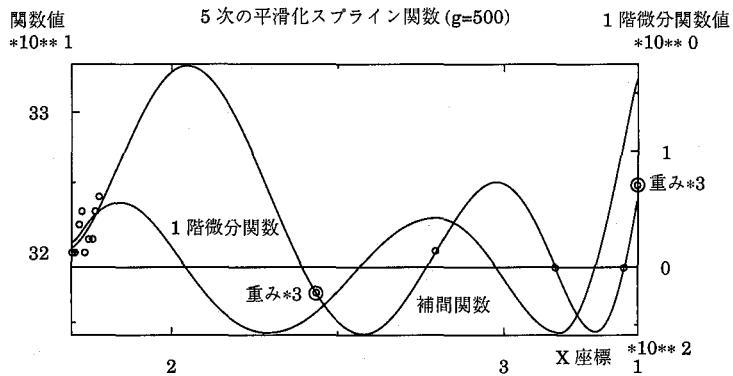
滑らかな補間関数に関する一考察(2)



(a)



(b)



(c)

図8 右足先の補正

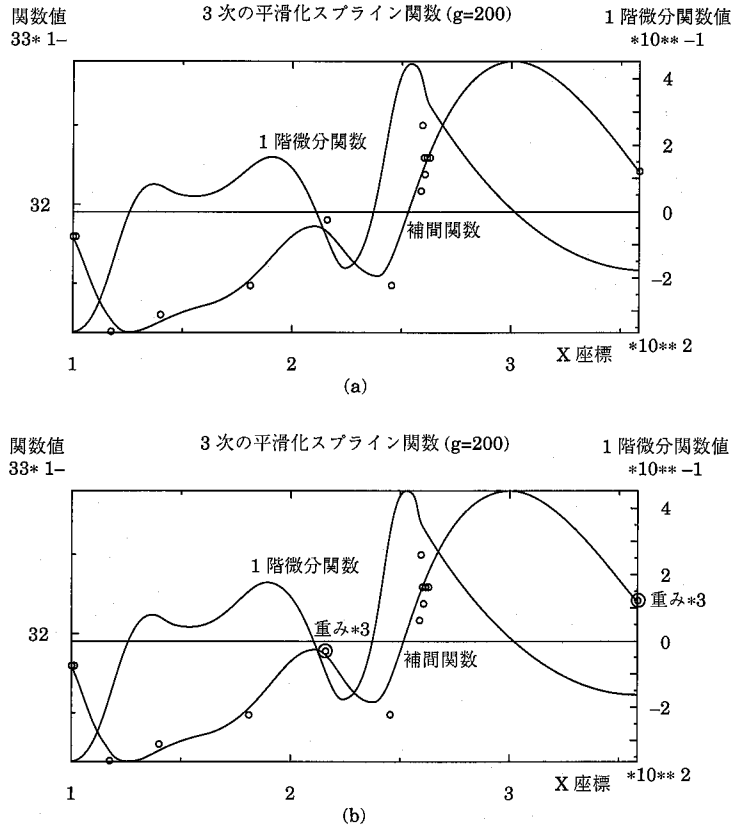


図9 左足先の補正

は、2つ前までの補間点との距離、および曲率（2階差分商）等から、各データ点に対する重みづけの方式を決定する必要がある。

一般的には、以下のように定義できると考える。

$$w(t) = \alpha \cdot L(t-2_{xy}, t-1_{xy}, t_{xy}) + \beta \cdot R(t-2_{xy}, t-1_{xy}, t_{xy}) + 1 \quad (4)$$

ただし、 $w(t)$ は、測定時間 t でのデータに対する重み ($w(t) \geq 1$)

$L(t-2_{xy}, t-1_{xy}, t_{xy})$ は距離関数

$R(t-2_{xy}, t-1_{xy}, t_{xy})$ は時間 t での曲率関数

α, β は定数とする。

また、 $t-2_{xy}$ は、現在： t よりも、2回前： $t-2$ に測定された座標の組 (x, y) を表わすものとする。ただし、データが三次元である場合は、形状の歪率も測定データの重み決定する要素とすべきである。

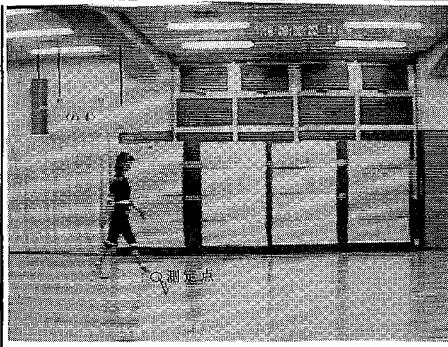
7. 今後の課題

人体のデータを用いた補正実験からも分かるように、測定データの後処理が可能な場合、測定誤差を最小にする環境で測定したデータは、それ以後はデータを再加工せずに、使用目的や用途の応じたデータを再構成することが望ましい。これは、人間による巧妙な補正よりも、測定データの再現性を保証できる事が重要であると判断するためである。

ただし、3次元の図形（とくに人体）の補正では、物理的な補正量と心理的な補正量には差があるため²¹⁾、物理、心理の両面から検証を行なう必要性がある¹⁹⁾。また、立体の動きを（2次元的に）解析、評価する試みもなされている¹⁶⁾が、やはり物理的な特徴量と心理的な

(X:0 Y:0)

(X:636 Y:0)



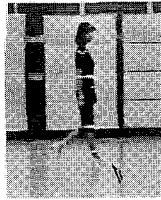
(X:0 Y:396)

動作解析装置は、ビデオ撮影されたデータをデジタルデータに変換するものです。

解析時間の最小単位は、ビデオの撮影の最小単位時間、位置データは、x座標とy座標とで表現します。

右足先の測定

左足先の測定



右足へ体重移動

右足をけりだす

右足着地

右足へ体重移動

左足の移動

図10 画動とデジタルデータ

効果量とには差があるため、同等の検証を行なう必要があると思われる。また、立体が運動している場合、その立体の特徴を表現できる最小限の点を選択して、それらの点の集まりとして運動を表現しても、元の立体を認識することも報告されている^{17),18)}。ただし、これらの研究は、2次元で検討されているため、同等の検証を3次元で行なわなくてはならない。

以上のことから、入力(測定)データの補正は、物理的には補正の域をでて造形的な加工をすることになっても構わない部分と、測定に誤差(微小な変化量)があればそのまま利用する事しかできない部分があるものとする。従って、本稿で検討した内容も、おのずと適用できる範囲とその意味が決まってくる。ただし、その領域や内容については、各々の分野の研究を待ちたい。

8. ま と め

本稿では、4次元図形(3次元動画)をデータと、補関関数との組合せとして表現する事を前提として、測定誤差を補正し、かつ、高い再現性を保つための実験的な検討を行なった。

検討用データとして、人体の3次元データとモデルの歩行運動のデータの一部を用いた。また、補関関数としては、平滑化スプライン関数を選定した。測定データの重み(w_i)と補関関数のパラメータ(g)を変化させた時の測定データと補正曲線との関係を比較検討した結果、補間すべきデータの特性を人間が主観的に判断し、補関関数の客観的なパラメータとして、それを表現(調整)することで、誤差補正に関する知見を客観化できる可能性を示唆できた。

今後は、一定の3次元測定装置¹²⁾を選定し、その測定性能を定量的に評価¹³⁾した後に、VR空間内の虚像(3次元立体)と実体とを同期させる事を試みる。

この試みから、VR空間内の人体（自分）を利用した、人体及び空間のスケールの把握¹⁴⁾が可能になると考えている。

謝 辞

東京都立大学 増山研究室のご配慮から、同研究室の動作解析装置で人体運動のデータ解析をさせていただきました。感謝致します。

いわき明星大学 高木文雄助教授には、補間関数に関して、御教示いただきました感謝いたします。

また、本稿を作成するにあたり、本学第1被服研究室 三吉満智子教授より、人体の測定データを借用いたしました。感謝致します。さらに、本稿にかかわる実験等を快く引受けてくださった、本学 長山助教授をはじめ、企画集団 Fuse の皆様にお礼申しあげます。

参 考 文 献

- 1) 広瀬通孝：“広がる人工現実感の技術”，精密工学会誌 Vol. 57, No. 8, pp. 7-12, 1991
- 2) 大津展之：“柔らかな情報処理を目指して”，AI センターだより, No. 26, pp. 5-13, (財)新世代コンピュータ技術開発機構
- 3) 井口征士：“三次元画像計測”，昭晃堂
- 4) 石井，小林，有田：“シームレスな協調メディアを目指して”，HC-92-23, pp. 25-29, NTT ヒューマンインターフェース研究所
- 5) 梶谷哲也：“滑らかな補間関数に関する一考察”，文化女子大学紀要，第24集, pp. 67-81, 1993.1
- 6) 三吉満智子，磯崎明美：“非接触三次元人体計測装置の改良とその精度について”，文化女子大学研究紀要，第23集, pp. 1-17, 1992.1
- 7) 服部数幸，佐藤幸夫：“スキャン式符号化法による小型高速レンジファインダー”，電子情報通信学会論文誌 D-2, Vol. j76-d-2, No. 8, pp. 1528-1535, 1993, 8
- 8) 三池秀敏，他：“パソコンによる動画像処理”，森北出版株式会社
- 9) 長嶋秀世：“数値計算法”，昭晃堂
- 10) 梶谷哲也，長山洋子：“教育用インタリ

CADに関する考察—広角透視図法の提案—”，日本インタリ学会，第5回全国大会，1993.11

- 11) 桜井明，他：“スプライン関数入門”，東京電機大学出版
- 12) 日商エレクトロニクス：“isotrak 2 (3次元位置測定装置)”
- 13) 広瀬，木島，佐藤，石井：“シースルー型HMDを用いた仮想空間による実空間の修飾の研究”，Human Interface, 6th Symposium, pp. 1-8, Oct. 24-26, 1990, Tokyo
- 14) 黒沢信之，若井正一：“身体を表示スケールとした室内対象物の認知寸法について”，日本インタリ学会，第4回全国大会, pp. 40-41, 1992
- 15) 岡本，ロベルト，風間，久野：“定性的運動認識を用いたヒューマンインターフェースシステム”，信学会誌, D-2, Vol. j76-d-2, No. 8, pp. 1813-1821, 1993.8
- 16) 鷗沼，武内：“コンピュータアニメーションにおける感情を伴った人間の歩行動作の生成方法”，信学会誌, D-2, Vol. j76-d-2, No. 8, pp. 1822-1831, 1993.8
- 17) Windand H Dittrich: “Action categories and the perception of biological motion”, Perception, 1993, Vol. 22, pp. 15-22
- 18) Lawrence D. Rosenblum, Helena M. Saldana, Claudia Carello: “Dynamical Constraints on Pictorial Action Lines”, Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance, 1993, Vol. 19, No. 2, pp. 381-396
- 19) 梶谷，長山：“教材としてのバーチャルリアリティの検討(2)”，日本教育工学会第9回大会, pp. 230-231, Oct. 10-11, 1993
- 20) 増田千尋：“3次元ディスプレイ”，産業図書
- 21) Robert Akka StreoGraphics Corporation: “Software Concepts for Stereoscopic 3D Graphics”, April 2, 1991

なお、本文献は、日商エレクトロニクス(株)のご配慮により入手いたしました。

付 録 1

人間の動きをデジタルデータとして表現できる装置（都立大学所有）を用いて女性の歩行データ（図7）を図10のような原理でデータ化した結果，表1（モデル），表2（素人）などのデータを得ることができた。