男子体格の平均発育曲線から導き出される速度曲線の解析

藤井勝紀¹⁾ 松浦義行²⁾

An examination regarding the velocity curve derived from mean growth distance curve in male student's physique

Katsunori Fujii¹ and Yoshiyuki Matsuura²

Abstract

This study is designed to determine Maximum Peak Velocity age (MPV) and examine the relationship between the MPV ages of height and other physique (body mass, chest girth, sitting height and leg length) in the growth velocity curve which differentiated the mean growth distance curve approximated by the Wavelet Interpolation Method (WIM) in physique. Furthermore analyzed the mid-growth spurt and the after-growth spurt. Ninety-eight longitudinal data of male students aged 6 to 17 years in physique (height, weight, chest girth, sitting height, leg length) were obtained retrospectively from health examination records in 1983. Specifically, the growth curve constructed theoretically based upon the Multiresolution phenomenon (Self-similar phenomenon in the terminology of Fractal) was abstracted as human growth phenomena, and the abstracted growth curve was approximately described as the true growth curve by the WIM.

The MPV ages of physique by identified by judging from the growth velocity curve simulated by the WIM, and the sequence in the MPV ages of physique was leg length (11.78), height (12.21), sitting height (12.57), weight (12.60), and chest girth (12.81) in early order of MPV age. Significant ($P < 0.01$) correlations were obtained between the MPV ages of height and other physical measurements. It was shown that differences between the MPV ages of height and physique except height had fixed tendency respectively. The mid-growth spurt was confirmed in the growth velocity curve of weight and chest girth, and the after-growth spurt was confirmed in those of height and leg length. Consequently, it was considered that the after-growth spurt of height was determined by that of leg length.

Key words: MPV (Maximum Peak Velocity), WIM (Wavelet Interpolation Method), Multiresolution Phenomenone, Mid-growth spurt, After-growth spurt

(Japan J. Phys. Educ. 41: 247-260 November, 1996)

キーワード: MPV (最大発育速度), WIM (ウェーブレット補間法), 多重解像現象, Mid-growth spurt, After-growth spurt

緒 言

縦断的資料による研究の歴史は, Philibert

Gueneau de Montbeillard が1759年から1777年まで自分の息子の身長について, 出生時から18歳まで計測した記録を, その友人である G. L. Buffon が *Histoire Naturelle* 誌に発表したことにその端を発したことが最も古いとされている. その後, Boas^{2,3)}, Davenport⁵⁾, Shuttleworth³⁵⁾ の研

- 1) 愛知工業大学
〒470-03 愛知県豊田市八草町八千草1247
- 2) 中京女子大学
〒474 愛知県大府市横根町名高山55

1. *Health Science, General Education Aichi Institute of Technology, 1247 Yachigusa, Yakusa-chou, Toyota-city, Aichi 470-03*
2. *Chukyo Women's University, 55 Nadakayama, Yokone-chou, Obu-city, Aichi 474*

究により、この種の研究の重要性が説かれ、近年では、Tanner 等^{41,42,43)}の多くの研究者により発育、発達研究の報告がなされている。特に、Tanner はこれらの報告の中で、縦断的資料の分析の手法として、作図法 (Graphic Method) を提唱している。この方法が提唱された基本的概念は、発育発達曲線を分かり易く表示するようにデータとデータの間を滑らかに繋ごうとしたものである (補間)。Tanner はこの方法により、臨床的研究や発育曲線の指標等に多大な成果を修めてきた。

一方、このような流れと平行して、成長曲線に数学的関数を fitting させる研究が、1937年に Jenss と Bayley¹⁶⁾、1943年に Count⁴⁾ がそれぞれ基本的にはロジスティック関数を適用して成長曲線の解析を試みている。この数学的関数を成長曲線に fitting させる概念は、Pearl と Reed^{31,32)} がマルサスの法則によって、増殖率が個体数に依存するとした次の方程式から S 字状曲線としてのロジスティック関数を導き、アメリカ合衆国の人

$$\frac{dN}{dt} = (\epsilon - \lambda N)N : N(t) \text{ は } t \text{ 世代の個体数とする。}$$

口増加のプロセスに応用したことに起因するもので、その後、この関数が微生物の増殖プロセスに適用された根拠が生物学と数学の接点となり、それが人の成長プロセスに数学的関数を fitting させる由縁になったものと考えられる。したがって、この種の研究は発育発達学において、一般的法則性を見いだす模索的な意義があると思われる。

その後、この種の研究の流れは、1957年に Deming⁷⁾ のゴンペルツ関数による fitting の報告。1971年には Marubini^{22,23)} のロジスティック関数による fitting がある。また、多項式 (Joossens¹⁷⁾、松浦^{25,26)}、スプライン関数 (Largo¹⁹⁾、Berkey¹⁾、大野³⁰⁾、田原³⁶⁾) を用いた報告も少なくない。しかしながら、根本的な問題として、今まで活用されてきた数学的関数の妥当性である。つまり、関数を発育現量値に当てはめる場合の fitting の精度はもちろんであるが、発育現象の解明のためには、その傾向分析に欠かせない速度曲線の算出

方法の問題である。初期の頃のロジスティック関数では、fitting の精度にも問題はあるが、速度曲線は元の現量値曲線 (現量値に当てはめた関数) から導くことはできない。また、近年のスプライン関数も現量値に対する fitting の精度は高いが、速度曲線の算出方法が、区分多項式であるために、現量値に当てはめた関数の差分を工夫しなければならず、正確な速度としては扱えない欠点がある。Gasser 等¹⁴⁾ の Kernel estimation ではその点を旨く工夫はしているが、正確な瞬時の速度としては問題が残る。多項式については、微分が可能のため瞬時の速度を現すことはできるが、逆に現量値に対する fitting の精度が問題となる。そして、さらに本質的な問題としては、人の成長曲線に数学的関数を当てはめる理論的根拠の構築である。

東郷^{46,47)} は、1ヶ月ごとの縦断的観測データを時系列データとして解析し、小さな時間間隔でも発育現量値の増大現象の波形曲線が描かれ、さらに、その観測現量値データから速度量を導き、速度曲線が波動現象となることを示した。つまり、測定間隔が違えば、描かれる曲線が異なる波形を生じることを意味している。さらに、小林・東郷¹⁸⁾ は、1日2回の観測データから、大きな曲線カーブの中の小さい時間間隔での波動現象を示した。

藤井・山本^{8,10)} は、この現象は自然界に存在するリアス式の海岸線や木の枝の構成に見られる自己相似 (フラクタル) 的な現象ではないかと考えた。つまり、拡大、縮小しても同じ図形が再生される現象がフラクタル現象であり、成長曲線も東郷等の考えをさらに拡張すれば、日々の単位でなく、無限に小さく分割された時間軸上においても波動を繰り返し、その現象が拡大されても同様に再現されるという構成となっている。実は、このような現象は、数学的に関数近似することは可能である。しかし、成長現象は、現時点で存在を呈している地形や物質のフラクタル構造とは異なり、時と共に変化する時系列上でのフラクタル構造を呈するため、成長現象の近似表現に対して適用される数学的関数はかなり限られた条件が課せ

られることになる。それに、従来の fitting 関数以上の有効性を備えていなければ意味がない。そこで、我々は、時系列解析としての有効性を備えたフーリエ解析に、さらに局所的現象の解析能力と自己相似性の近似能力を兼ね備えたウェーブレット解析の導入を考えた。一概にウェーブレット解析といっても、その用途により課せられる条件が異なれば、様々なウェーブレットが存在するため、成長現象を解析するための条件を課したウェーブレットを考える必要がある。それはまず、1) 曲線が滑らかでなければならないこと、2) 発育現量値の観測データ点を必ず通過するように構成すること、3) 発育速度曲線を描くために、少なくとも次数にこだわることなく微分が可能であること。この3つの条件を満たすウェーブレットを考えるために Meyer Wavelet を成長曲線に適用できるように構成したのが、藤井、山本^{8,9)}の先の研究で提唱したウェーブレット補間法(WIM: Wavelet Interpolation Method)である。

ウェーブレットに関する数学的な理論的解説は、藤井、山本の先の研究^{8,10-12)}でも説明されているが、本質的な問題として、ウェーブレットを人の成長現象に適用するための理論的根拠の構築は、以上述べたことを集約した形として、ウェーブレット補間法の基本概念である『多重解像度解析』から発展させて、成長曲線における拡大、縮小概念を『多重解像現象』と考えることにより成立できる。つまり、現在までの所、人の成長現象における真の発育曲線は不明である。しかし、与えられた観測データからウェーブレット補間法により真の発育現量値曲線を近似曲線として描くことは可能である。そして、WIM は無限回微分可能な特徴を備えているため、元の関数の微分がそのまま速度曲線として扱えることである。したがって、WIM によって描かれた近似曲線が、観測データ間の補間問題を仮想された真の発育曲線として表現できることで解決されるものと考えられる。

このように、本論文では、従来の fitting 関数の欠点を克服し、さらに、成長曲線への適用に対する理論的構築を兼ね備えた Wavelet Interpolation Method (WIM) による方法で体格5項目の

平均発育現量値を解析した。これは、仮想された真の体格の平均発育現量値曲線をウェーブレット級数で近似し、その時間微分が発育速度曲線の近似曲線になることより、コンピュータ・シミュレーションによる曲線表示から、この曲線の MPV【Maximum Peak Velocity: 最大発育速度(従来からは身長発育の場合であれば、PHV 年齢、体重発育の場合であれば、PWV 年齢として使用していた。しかし、ここでは、体格すべてに共通した表現として MPV を用いることにする。もちろん、WIM によって求められた速度曲線は、瞬時の発育速度として捉えられていることから、この MPV という表現のほうが妥当であると考えられる。)】、体格の思春期急増開始年齢および mid-growth spurt の解析も試みた。

方 法

1. 資 料

愛知県名古屋市内の某公立高校3年生、男子250名を対象に健康診断票の追跡調査を行い、1972年から1983年までの身長、体重、胸囲、座高の縦断的測定値を得た。その中から平均的な者(身長から判断して、ここでは17歳時点で164 cm から174.7 cm までの者)の完全にデータの揃っている者98名を抽出した。尚、下肢長については身長から座高を減じた数値を用いた。

2. 分析手法

2-1. 多重解像による分析

時系列解析の立場からは、個々人の身長(体重等)の記録は時間に関する連続曲線とみなされる。したがって、身長に関する成長曲線の分析は滑らかな関数の集まり(これを数学では関数空間という)を解析することと同じことになる。このような滑らかな関数を含む関数空間の中で最も基本的なものに二乗可積分関数による $L^2(R)$ -空間がある。多重解像の立場から(Meyer^{27,28)}, Mallat²⁰⁾) この $L^2(R)$ を部分空間の和に分解できる。

(2-1) $L^2(R) = \cdots + W_{-1} + W_0 + W_1 + W_2 + \cdots$
 $L^2(R)$ は互いに直交する部分空間 W_n に分解できる.

(2-2) $W_n = \{\psi(2^n t - k) : k \text{ は整数} \}$:
 $n = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$
 部分空間 W_n は 1 つの関数 (これをウェーブレットという) $\psi(t)$ の時間を移動した関数から作られる.

(2-3) $f(t) \in W_n \Leftrightarrow f(2t) \in W_{n+1}$
 各部分空間は時間を拡大縮小することにより, 他の部分空間に移ることができる.

このことより, 任意の $L^2(R)$ -関数 F は (2-4) と直交展開でき, これをウェーブレット級数という.

$$(2-4) \quad F(t) = \sum_{n,k} a_{n,k} \psi(2^n t - k) :$$

ただし, n, k は整数とする.

基本となるウェーブレットには support compact な Daubechies 関数⁶⁾ やスプライン Wavelet など数多くの関数が知られている. 本論文では滑らかなウェーブレットを必要とするため, Meyer Wavelet^{27,28)} を構成し, 利用する.

2-2. ウェーブレット補間法 (WIM)

身長などの発育曲線は滑らかな $L^2(R)$ -関数 $F(t)$ と表せることを仮定する. この発育曲線 F は多重解像によりウェーブレット級数 (2-4) として表現できる. 我々が提唱する WIM (Wavelet Interpolation Method) は, 観測データと一致し, 各データの間を補間し, その上, $F(t)$ の近似となっている関数を求め, F の時間微分である発育速度曲線の peak の性質を調べる方法である.

WIM の手順は以下の通りである.

- (1) 測定データ $\{(t_i, y_i) : i = 1, 2, \cdots, 11\}$ を得る.
 (ここでは, t_i は年齢, y_i は体格項目の現量値とする)
- (2) Meyer Wavelet $\psi(x)$ と $\psi'(t)$ を構成する.
- (3) Meyer Wavelet を次の条件を満たすように修正する.

$t < 0$ または $t > 1$ のとき, $|\psi(t)| \leq \varepsilon$
 $(\varepsilon = 0.01 \text{ にとる})$

- (4) 次の条件を満たす 11 個の整数の組 (j, k) を決定する. ただし, $j \leq 1$.

$$|\psi(2^j t_i - k)| \geq \varepsilon$$

- (5) 観測データから Wavelet function $\psi(2^j t_i - k)$ を係数とする連立方程式の解としてウェーブレット係数 $\{a_{j,k}; j, k\}$ を求める.

$$y_1 = \sum_{j,k} a_{j,k} \psi(2^j t_1 - k)$$

...

$$y_n = \sum_{j,k} a_{j,k} \psi(2^j t_n - k)$$

- (6) (5) で求めた $\{a_{j,k}; j, k\}$ を係数とする近似関数 F_n, f_n のグラフをコンピュータで描く.

$$F_n(t) = \sum_{j,k} a_{j,k} \psi(2^j t - k)$$

$$f_n(t) = \sum_{j,k} 2^j a_{j,k} \psi'(2^j t - k)$$

- (7) 近似曲線のシミュレーションから導関数 $f_n(t)$ の極値である MPV の時点 t を特定する.
- (8) MPV 以外のピーク値, すなわち mid-growth spurt, after-growth spurt の時点 t をグラフから特定する.

98 名の体格項目 (身長, 体重, 胸囲, 座高, 下肢長) について平均値を算出し, その平均値に対して WIM の手続きから MPV などの時点を特定した.

結 果

1. 体格発育における MPV 年齢の検討

以上の分析手法から, コンピュータシミュレーションによって得られたグラフが Fig. 1 から Fig. 5 である. これは身長, 体重, 胸囲, 座高, 下肢長の平均発育現量値曲線と発育速度曲線であり, このグラフにシミュレートされているように, 実線四角印で描かれてある曲線は発育曲線で, 縦軸はそのまま各項目の現量値の単位として設定してある. 波線丸印で描かれてあるのは発育速度曲線で, 縦軸をそのまま各項目の現量値の単

Fig. 1 Mean growth distance and velocity curves described by the WIM in height

位より十の位下げた単位で設定した。このように肉眼の観察レベルで明確に曲線の様子が分かり、特に、Peak となる部分ははっきりと確認できる。そして、このグラフに描かれてある近似曲線を求めたウェーブレット関数から各項目ごとに、adolescent growth spurt の開始年齢 (take off age), とその時点での速度, MPV 年齢と MPV (最大発育速度) およびその時点での体格 5 項目の現量値を算出した (Table 1)。これら算出された数値は体格の各項目における平均発育速度曲線から求めたものであり、平均的な意味を持つものである。そのような意味から判断して、体格項目の MPV 年齢をみると、身長 (12.04 歳), 座高 (12.02 歳), 下肢長 (12.03 歳) の MPV 年齢より体重 (12.50 歳), 胸囲 (12.60 歳) の MPV 年齢

は少し遅れることが示された。

そこで、ここに示された差を明確にするために、体格、各項目について、個々に MPV 年齢を算出することで、平均化したことによって生じる位相差効果 (Phase Difference Effect) を排除した。結果は Table 2 に示した通りである。そして、体格 5 項目の各平均 MPV 年齢について分散分析を試みた結果、有意差 ($P < 0.01$) が認められ、5 項目の MPV 年齢間での差は明確となった。さらに、これら MPV 年齢間について、身長を基準に相関を求め、回帰方程式を算出した結果、Table 3 に示したように、身長の MPV 年齢と体重、胸囲、座高、下肢長の MPV 年齢の間に有意な相関 ($P < 0.01$) が認められた。

Fig. 2 Mean growth distance and velocity curves described by the WIM in weight

Table 1 Analysis table of adolescent growth spurt

Items	Onset age of adolescent growth spurt (years old)	Velocities in take off age (cm/yr)	MPV age (years old)	MPV (cm/yr)	Distances in MPV age (cm)
Height	9.60	4.94	12.04	8.08	151.03
Weight	9.30	2.84	12.50	6.72	44.16
Chest Girth	10.86	2.63	12.60	4.11	74.02
Sitting Height	9.86	1.88	12.02	4.11	80.51
Leg Length	8.60	2.77	12.03	3.96	70.52

* Onset age of adolescent growth spurt (take off age)

2. 平均発育速度曲線の解析

Adolescent growth spurt の開始年齢 (take off age) を見ると, 下肢長 (8.60歳), 体重 (9.30歳), 身長 (9.60歳), 座高 (9.86歳), 胸囲

(10.86歳) の順で遅くなっていく傾向が示された. ここで, 胸囲については, mid-growth spurt のような現象が2箇所に出現していることから, 2つ目の現象の終了した後の take off age を採用

Fig. 3 Mean growth distance and velocity curves described by the WIM in chest girth

Table 2 Mean and standard deviation of individual MPV age in five items of physique

Items	Height	Weight	Chest Girth	Sitting Height	Leg Length
Mean	12.21	12.60	12.81	12.57	11.78
SD	0.87	1.12	1.58	1.03	1.15
Max	13.8	15.0	16.0	15.0	14.0
Min	10.4	9.4	9.2	10.2	9.0
Range	3.4	5.6	6.8	4.8	5.0

Table 3 Correlation coefficients between MPV ages of height and physique (weight, chest girth, sitting height and leg length), and regression equation of MPV ages of physique for that of height

Items	Regression equation	Correlation coefficients
Weight	$y=0.53x+6.19$	0.4049**
Chest girth	$y=0.81x+2.88$	0.4465**
Sitting height	$y=0.61x+5.06$	0.5185**
Leg length	$y=0.70x+3.25$	0.5288**

していることに留意してほしい。

次に、MPV 年齢時点での速度をみると、身長：8.14 cm/yr，体重：6.7 kg/yr，胸囲：4.12 cm/yr，座高：4.09 cm/yr，下肢長：3.94 cm/yr で、この数値は Wavelet 関数から求めた

平均発育速度曲線から $f(t)$ を算出したもので、従来から指摘されている位相差効果 (phase difference effect) を当然含んでいる。そこで、前項でも試みたようにこの事象を排除するため

Fig. 4 Mean growth distance and velocity curves described by the WIM in sitting height

Table 4 Mean and standard deviation of velocities in that time of individual MPV age of physique

Items	Height	Weight	Chest Girth	Sitting Height	Leg Length
Mean	10.34	8.82	7.67	6.02	6.15
SD	1.37	1.95	2.07	1.37	1.31
Max	15.20	15.04	16.15	12.74	10.57
Min	8.03	5.05	3.76	3.66	3.69
Range	7.16	9.99	12.39	9.08	6.88

cm/yr: height, chest girth, sitting height, leg length
kg/yr: weight

に、体格5項目について、それぞれ個々のMPV年齢時点での速度を算出した。結果はTable 4に

示した。この表からも明らかなように、位相差効果による平均発育速度曲線から求められる最大速度の減少が認められた。その減少の差は、身長で2.26 cm/yr、体重で2.11 kg/yr、胸囲で3.56 cm/yr、座高で1.19 cm/yr、下肢長で2.19 cm/yrであった。

発育速度曲線全般を体格の各項目ごとに概観してみると (Fig. 1-Fig. 5)、体重、胸囲、座高に mid-growth spurt が認められた。身長、下肢長では、この現象は今回のグラフからでは明確には判断できなかった。しかし、逆に、after-growth spurt と呼べる現象がこの両項目に認められた。

考 察

Wavelet Interpolation Method (WIM) によっ

Fig. 5 Mean growth distance and velocity curves described by the WIM in leg length

て体格各項目のMPVが明確に特定できた意義は大きいと考えられる。それは、従来からTanner^{42,43)}のgraphic methodによって作図的に発育速度曲線およびMPVを求めた報告³⁷⁻³⁹⁾はある。また、MPVの算出法の比較研究²⁴⁾や、MPVの出現順位を論じた報告³³⁾もあるが、しかし、身長、体重以外の胸囲、座高、下肢長に関する報告は少ない。まして、数学的関数のfittingによるこれら体格の解析は極めて少なく、松浦^{25,26)}の多項式によるfittingにその例を見いだす程度である。したがって、このような現状に加えて、発育曲線および速度曲線を記述、表現できるための明確な数学的理論的根拠を備えたWIMを体格の発育現象に適用できたことは、数少ない研究の試みと言えるからである。このように、

WIMの有効性を認識したうえで本研究における結果の考察に移りたい。

体格のMPV年齢を順序立てて見ると、Table 2に示されているように、下肢長(11.78歳)、身長(12.21歳)、座高(12.57歳)、体重(12.60歳)、胸囲(12.81歳)の順でMPVが遅くなることが認められた。各体格のMPV年齢の順序性については、平均発育の観点からTanner⁴⁴⁾は一定の順序のあることを示唆し、先ず、脚の長さが最も早くピークに達し、座高のピークの6-9カ月以前に起きる。そして、胸囲は最後にピークに達すると述べている。また、Marshall²¹⁾、蒲生¹³⁾も同様に一定の順序性を指摘している。確かに平均的観点からすれば、今回の結果は従来の知見をWIMによって裏づけることになったわけだが、

しかし、個々のデータを解析していくと、必ずしもこの結果の限りではない。つまり、佐竹等³³⁾が身長、体重の縦断的資料から個々にそのMPVを検討した結果、逆 sequence (順序性) が存在していることを指摘しており、我々の今回の結果からも体重だけでなく他の形質からも認められた。そこで、我々は今回は逆 sequence の割合を検出するより、体格5項目のMPV年齢の相関分析から検討することを試みた。結果はTable 3に示されたように、身長のMPV年齢と他の体格項目(体重、胸囲、座高、下肢長)のMPV年齢との相関はすべてについて有意性が認められ、体格のMPV年齢のsequenceは明確化されたが、さらに、身長と他の体格項目のMPV年齢との相関分析から導き出される回帰分析によると、そのMPV年齢間の差は一様でないことが認められた。このことは当然、逆 sequence の現象を客観的に示唆できるものと考えられる。

体重のMPV年齢に関しては、藤井、山本の研究¹⁰⁾で、身長のMPV年齢が早い者ほど体重のMPV年齢との差は大で、遅い者はその差は小であることを指摘した。つまり、早熟の者ほど体重のMPV年齢との差が大きいわけで、このことは体型による影響が関与している可能性があるかもしれないと考えられるが、その点については今後の課題であり、また、他の体格項目(胸囲、座高、下肢長)の個々における詳細な解析に関しては次回の課題としたい。

次に、体格項目における平均発育速度曲線を概観すると、take off ageにおいては、下肢長(8.60歳)、体重(9.30歳)、身長(9.60歳)、座高(9.86歳)、胸囲(10.86歳)の順に遅くなっていることが示された。下肢長が体格の中で最も早くなっていることは、下肢長のMPV年齢も体格の中で最も早くなっていることを考えれば他の体格項目より発育が早くなっていることは明白なことといえよう。一方、胸囲はtake off ageも最も遅く、MPV年齢も遅いことから、体格5項目の中では最も発育が遅いと考えて良いであろう。つまり、体格5項目の中で下肢長が最も発育が早く、胸囲が遅いことだけは明確化されたと考えられ

る。この事実は確かに従来からTanner⁴⁴⁾が報告していたことであるが、数学的関数を適用して、詳細な数値を基に議論した報告はほとんどなく、そのような意味でより科学的な客観性の基で証明されたと言って良いであろう。しかしながら、take off ageにおいても、個々に解析すれば逆 sequence の現象は当然考えられ、この点は今後の詳しい検討に待たなければならないであろう。

身長、体重、座高のtake off ageについては、下肢長、胸囲の中間的な年齢であり、特に、今回の平均発育速度曲線からそのsequenceについて議論することは難しい。しかし、平均的な意味として傾向的に捉えれば、take off ageにおいては身長、体重はほぼ同じであり、座高が少し遅れるが、MPV年齢では、身長が少し早く、体重と座高がほぼ同じになるということである。このことをtake off ageからMPVに達する所要期間で見ると、身長(2.61歳)、座高(2.71歳)、体重(3.3歳)の順で長くなっており、他の2つの体格項目【胸囲(1.95歳)、下肢長(3.18歳)】を含めても体重が一番長くなっている。これらの議論をWIMによってシミュレートされた速度曲線のグラフと平行して考えてみると、長育としての3体格、身長、座高、下肢長では、take off ageからMPV年齢までのグラフにおける曲線の様子が、身長と座高は比較的所要期間も含めて似ているが、下肢長とは少し異なっている。しかし、MPV年齢以後は身長と下肢長は似た曲線を描いている。特に、松浦^{25,26)}が指摘したafter-growth spurtの現象がこの身長と下肢長に現われていることが示された。このことは、平均的に捉えた場合の結果であるが、座高、下肢長を個々に概観した場合でも、after-growth spurtの出現状態は2体格間で異なっている様子が見られ、そのことが平均的な概観に作用したといえる。また、このような傾向は、身長はもともと座高と下肢長の和であり、この両体格によって決定される因子であるため、したがって身長はMPV年齢の前後で、前半は座高の発育に影響を受け、後半は下肢長の発育に影響されると考えられる。

after-growth spurtの現象に対して、Tanner⁴⁰⁾

が指摘し名付けた mid-growth spurt の現象については、今回の身長、座高、下肢長の3体格の平均発育速度曲線にはその出現は確認されなかった。mid-growth spurt は take off age 以前に現れるスパート現象で、それぞれの体格により出現の仕方が異なっていると考えられている。例えば Tanner 等⁴⁵⁾は、10000人の子供の身長、体重の横断的資料から graphic method によって、身長では男子のみに6歳から7歳にかけて、発育速度の漸次減少の中にスパートを確認し、体重については明らかなスパートが男子で7歳から8歳にかけて、女子で6.5歳から7.5にかけて確認されたと報告している。また、Berkey 等¹⁾は cubic spline function を適用して、身長について男子で67名中17名に認められ、女子には認められなかったと報告しており、同様に、Gasser 等¹⁵⁾も Kernel estimation を適用して、身長について男女共7歳から8歳にかけて認められたと報告している。藤井、山本^{8,10)}も WIM を適用して、男子の身長、体重について mid-growth spurt を検討した結果、身長で98例中75%、体重で98例中93%に確認された。しかし、現在までのところ、その存在については明確化されているといえるが、スパートの開始年齢、ピークの大きさや数についてははっきりしていない。それに、この現象の因果関係については不明な点が多い。Tanner⁴⁵⁾は副腎皮質系ホルモンの関与を指摘しているが、他の体格へも関与しているものか、出現年齢との関係については明確なのか、また、成熟度との関係も無視することはできない。この成熟度との関係については、唯一藤井、山本の研究⁹⁾があるが、成熟度の違いで mid-growth spurt の出現状態が異なることは示されたが、明確な結論は導き出せなかった。今回も長育系(身長、座高、下肢長)においてははっきりと確認されなかったのは、観測データが6歳からであるために、その前後の年齢の様子が分かっていないこと、それに平均値による発育現量値から速度曲線を求めているため、凸凹がかなり均されて現れていることに影響されていると思われる。ただ、グラフからの判断では、座高で僅かなスパートらし

きものが8,9歳頃に示されていること、身長、下肢長では6歳前後で現れているように見えるようだが、いずれにせよ明確に示されているとはいえない。このように、この現象については今後さらに検討される必要があろう。

しかしながら、今回の平均発育速度曲線において、身長と下肢長に after-growth spurt が認められたことは松浦^{25,26)}の指摘を裏付けることと共に、身長の after-growth spurt の現象は下肢長の影響によるものであることが示唆されたと考えられる。松浦^{25,26)}の多項式による fitting と今回の WIM での解析でこの現象が示されたのは、おそらく微分された関数(1次導関数)が両関数共に正確に速度を表していると考えられるのではないだろうか。特に、WIM については先にも述べたように、微分が速度を表すという明確な数学的理論的根拠が示されていることから、発育現量値曲線の正確な速度としてこのような現象が示されたものと推測される。しかし、これについては、after-growth spurt の現象が従来の文献にほとんどなく、その実態がまだ充分解明されていないのが現状である。したがって、下肢長の after-growth spurt については、今後さらに個々のデータを解析してみないことには明確な事実として指摘するわけにはいかない。

一方、体重、胸囲における平均発育速度曲線には明確に mid-growth spurt が確認された。体重では7.8歳頃にそのピークが認められており、特に、胸囲では8歳頃と10歳頃の2箇所でのピークが示され、このことが take off age を最も遅くしている要因となっている。体重の mid-growth spurt に関して、Tanner⁴⁵⁾の研究報告については先に述べた通りであるが、胸囲については Molinari 等²⁹⁾が生の観測データを作図的に簡単な統計処理を適用して mid-growth spurt の存在だけは示唆している。いずれにせよ体重、胸囲に関する発育速度曲線の解析は圧倒的に少ないのが現状であろう。

以上のことから、今回、我々の体格の発育速度曲線の解析は平均的な意味ではあるが、身長、体重については従来の報告を裏付けると共に、胸

囲, 座高, 下肢長については曲線の様子に新たな知見を得ることができ, 体格それぞれの MPV に関しても, その関係において従来に報告されていない知見を提唱することができたと考えられる。

結 語

体格(身長, 体重, 胸囲, 座高, 下肢長)の縦断的資料における平均発育現量値に基づいて, 真の発育曲線を多重解像現象によって仮説し, そして, その仮説に基づいて Wavelet Interpolation Method (WIM) により平均発育曲線を近似し, さらに, 微分して得られた平均発育速度曲線から MPV を特定し, 体格の MPV 年齢の sequence について検討した。さらに, 平均発育速度曲線を解析し, mid-growth spurt および after-growth spurt の出現状態を検討した結果, 次のように要約される。

1. 体格 5 項目の MPV 年齢は身長: 12.21 歳, 体重: 12.60 歳, 胸囲: 12.81 歳, 座高: 12.57 歳, 下肢長: 11.78 歳と特定することができた。これによって体格における MPV 年齢の sequence は下肢長の発育が一番早く, 続いて身長となり, その次が座高, 体重とはほぼ同じで, 最後に胸囲であったことが確認された。

2. 身長の MPV 年齢を基準とした体格の MPV 年齢間の相関について, すべての項目間で有意性が認められた。したがって, 身長の MPV 年齢と他の体格項目の MPV 年齢との一定の差は指摘できたと考えられる。

3. 個々の身長と体格項目の MPV 年齢との間に逆 sequence の現象が確認された。

4. Adolescent growth spurt の開始年齢(take off age)は身長: 9.60 歳, 体重: 9.30 歳, 胸囲: 10.86 歳, 座高: 9.86 歳, 下肢長: 8.60 歳であった。

5. 体格の平均発育速度曲線の特徴は, 長育(身長, 座高, 下肢長)については mid-growth spurt は明確には示されなかったが, 身長, 下肢長で after-growth spurt が確認された。このことから, 身長の発育は, MPV 年齢の前半では座高の発育に影響を受け, MPV 年齢の後半では下肢

長の発育に影響されると考えられる。そして, 身長の after-growth spurt の現象は下肢長に負っていることが示唆された。

6. 平均発育速度曲線において, 体重, 胸囲については mid-growth spurt は確認されたが, after-growth spurt は示されなかった。特に, 胸囲の mid-growth spurt においては 2 か所に出現していたことが特徴的であった。

以上要約された中で, 従来の知見を明解な理論的根拠で確認できたことの意義は大きいといえる。しかし, その中から新たな知見として, 体格の MPV 年齢間の問題が WIM によって MPV 年齢が詳細に特定できたことにより, 議論の対象となってきた点は今後の研究に委ねる必要があろう。そして, mid-growth spurt の現象もさらに解明が必要であり, after-growth spurt の現象については, 今回の結果からその存在は示されたといえるが, さらなるデータの解析が必要であり, 今後検討していかなければならない課題と考える。いずれにせよ, 縦断的資料の解析手法として, Wavelet Interpolation Method (WIM) の有効性をここに提唱するものである。

参 考 文 献

- 1) Berkey, C. S., Reed, R. B. and Valadian, I. (1983) Mid-growth spurt in height of Boston children. *Annals of Human Biology* 10: 25-30.
- 2) Boas, F. (1930) Observations on the growth of children. *Science* 72: 44-48.
- 3) Boas, F. (1932) Studies in growth. *Human Biology* 4: 307-350.
- 4) Count, E. W. (1943) Growth patterns of the human physique: an approach to kinetic anthropometry. *Human Biology* 15: 1-32.
- 5) Davenport, C. B. (1926) Human metamorphosis. *American Journal of Physical Anthropology* 9: 205-232.
- 6) Daubechies, I. (1992) Ten Lecture on Wavelets, SIAM Philadelphia. pp. 1-115.
- 7) Deming, J. (1957) Application of the Gompertz curve to the observed pattern of growth in length of 48 individual boys and girls during the adolescent cycle of growth. *Human Biology*. 29: 83-122.
- 8) 藤井勝紀・川波憲一・長谷川泰洋・山本 浩

- (1994) Wavelet 解析による身長発育の時系列分析. 発育発達研究 22: 21-28.
- 9) 藤井勝紀・山本 浩 (1995) 身長 of 成熟別発育速度曲線の解析. 体力科学 44(3): 431-438.
 - 10) 藤井勝紀・山本 浩 (1995) Wavelet Interpolation Method による男子体重発育における PHV の検討. 発育発達研究 23: 27-34.
 - 11) Fujii, K. and Yamamoto, Y. (1995) Wavelet Interpolation Method for time series analysis in the growth and development study, Nagoya Journal of Health, Physical Fitness and Sports 18: 13-17.
 - 12) Fujii, K. (1996) A comparative interpolation method of WIM and a cubic spline function to longitudinal height data during adolescence in boys, Nagoya Journal of Health, Physical Fitness and Sports 19: 9-17.
 - 13) 蒲生逸夫 (1969) 小児科学. 南山堂. 東京, pp. 1-7.
 - 14) Gasser, T., Kohler, W., Muller, H. G. and Kneip, A. (1984) Velocity and acceleration of height growth using kernel estimation. Annals of Human Biology. 11: 397-411.
 - 15) Gasser, T., Muller, H. G., Kohler, W., Prader, A., Largo, R. and Molinari, L. (1985) An analysis of the mid-growth and adolescent spurts of height on acceleration. Annals of Human Biology. 12: 129-148.
 - 16) Jenss, R. M. and Bayley, N. (1937) A mathematical method for studying the growth of a child. Human Biology. 9: 556-563.
 - 17) Joossens, J. V and Brems, Heyns. E. (1975) High power polynomial regression for the study of distance, velocity and acceleration of growth. Growth. 39: 535-551.
 - 18) Kobayashi, M. and Togo, M. (1993) Twice-daily measurements of stature and body weight in two children and one adult. American Journal of Human Biology. 5: 193-201.
 - 19) Largo, R. H., Gasser, T., Prader, A., Statzle, W. and Huber, P. J. (1978) Analysis of the adolescent growth spurt using smoothing spline functions. Annals of Human Biology. 5: 421-434.
 - 20) Mallat, S. (1989) Multiresolution Approximations and Wavelet Orthonormal Bases of $L^2(\mathbb{R})$. Trans of Amer Math Soc. 315: 69-87.
 - 21) Marshall, W. A. (1978) Postnatal growth. in Human Growth 2. Plenum Press. New York. pp. 143.
 - 22) Marubini, E., Resele, L. F. and Barghini, G. (1971) A comparative fitting of the Gompertz and Logistic functions to longitudinal height data during adolescence in girls. Human Biology. 43: 237-251.
 - 23) Marubini, E., Resele, L. F., Tanner, J. M. and Whitehouse, R. H. (1972) The fit of Gompertz and Logistic curves to longitudinal data during adolescence on height, sitting height and biacromial diameter in boys and girls of the Harpenden Growth study. Human Biology. 44: 511-523.
 - 24) 松本健治・三野 耕・小西博喜・白石龍生・吉田義昭・武田真太 (1988) 各種の最大発育年齢算出法の比較研究—Harpenden Growth Study 資料を用いて—, 日本衛生学雑誌 43(3): 749-753.
 - 25) Matsuura, Y. (1991) A study on physical growth and development through investigating the polynomial fitted their distance curves: in the term over 6 and 18 years old. Bull. J. of Health and Sports sciences, University of Tsukuba. 14: 201-210.
 - 26) Matsuura, Y. and Kim, M. (1991) Analysis of physical growth by fitting the polynomial to the longitudinal growth distance data of individual: age 6 to 17. Research Monograph issued by Growth and Development Research Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba. pp. 1-153.
 - 27) Meyer, Y. (1990) Ondelette et Operateur, Hermann. Paris. pp. 1-170.
 - 28) Meyer, Y. (1993) Ondelettes, Hermann. Paris. pp. 1-185.
 - 29) Molinari, L., Largo, R. H. and Prader, A. (1980) Analysis of the growth spurt at age seven (mid-growth spurt). Helvetica Paediatrica Acta. 35: 325-334.
 - 30) 大野優子・石島央子・村田光範 (1986) スプライン平滑化による標準身体発育曲線の作成. 統計数理 34: 222-231.
 - 31) Pearl, R. and Reed, L. J. (1925) Skew growth curves. Proc. Nat. Acad. Sci. 11: 16-22.
 - 32) Pearl, R. (1925) The Biology of population growth. New York. Alfred Knopf.
 - 33) 佐竹 隆・菊田文夫・尾崎 公 (1989) 個人発育からみた身長, 体重の最大発育年齢の出現順位について. 人類学雑誌 97(2): 189-199.
 - 34) Shohoji, T. and Sasaki, H. (1987) Individual growth of stature of Japanese, Growth. 51: 432-450.

- 35) Shuttleworth, F. K. (1939) The physical and mental growth of girls and boys age six to nineteen in relation to age at maximum growth. Monogr. Soc. Res. Child Develop. No. 3, vol. 4. National Research Council, Washington.
- 36) 田原佳子・多田羅裕子・村田光範・高石昌弘・船川幡夫 (1986) 思春期成長促進現象に関する数学的解析について：第一報，思春期学 4: 51-58.
- 37) 高石昌弘・大森世都子・江口篤寿・藤田良子 (1968) 思春期身体発育のパターンに関する研究—第一報 男子の身長発育速度および体重発育速度について—。小児保健研究 26: 57-63.
- 38) 高石昌弘・大森世都子・宮部麗子・岩本幸弓 (1969) 思春期身体発育のパターンに関する研究—第二報 女子の身長発育速度，体重発育速度および初潮年齢について—。小児保健研究 26: 280-285.
- 39) 高石昌弘・大森世都子 (1971) 思春期身体発育のパターンに関する研究—第三報身長発育速度曲線のパターン，特に，思春期急増の開始と発育終了の年齢について—。小児保健研究 29: 259-263.
- 40) Tanner, J. M. (1947) The morphological level of personality. Proceedings of the Royal Society of Medicine. 40: 301-303.
- 41) Tanner, J. M. (1962) Growth at Adolescent. Blackwell Scientific Publication. Oxford.
- 42) Tanner, J. M., Whitehouse, R. H. and Takaishi, M. (1966) Standard from birth to maturity for height, weight, height velocity and weight velocity: British children 1965. Arch. Dis. in Child. 41: 454-471.
- 43) Tanner, J. M. and Whitehouse, R. H. (1976) Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity and weight velocity and the stages of puberty, Archives of Disease in Childhood. 51: 170-179.
- 44) Tanner, J. M. (1978) Foetus into man. Open Books. London. pp. 62-63.
- 45) Tanner, J. M. and Cameron, N. (1980) Investigation of the mid-growth spurt in height, weight and limb circumferences in single-year velocity data from the London 1966-67 growth survey. Annals of Human Biology. 7: 565-577.
- 46) Togo, M. and Togo, T. (1982) Time-series analysis of stature and body weight in five siblings. Annals of Human Biology. 9: 425-440.
- 47) Togo, M. and Togo, T. (1988) Initiation time of adolescent growth spurt estimated by a certain through in time-series analysis of monthly anthropometric and urinalysis data in five siblings. Human Biology. 60: 223-235.

(平成7年11月2日受付)
(平成8年9月7日受理)