

WIMによる体格の平均発育速度曲線から導き出される MPV 年齢の順序性とその性差に関する検討

Sequence of the MPV age and its sex difference derived from mean growth velocity curve in physique by the WIM

藤 井 勝 紀*

Katsunori FUJII*

This paper is to determine the M P V age (Maximum Peak Velocity age) in mean growth velocity curve of physique (height, weight, chest girth, sitting height, leg length) in female students described by the W I M (Wavelet Interpolation Method), and examine the sequence of the growth by judging from appearance sequence of the M P V age and its sex difference. Eighty-nine female students age 6 to 17 in physique were obtained retrospectively from health examination records in 1983.

The M P V ages of height, weight, chest girth, sitting height and leg length were identified respectively as 10.4, 10.8, 11.3, 11.2 and 10.3 years in average, therefore, the sequence of them is determined inevitably. With regard to sex difference in the sequence of the M P V ages in physique, it was shown that the sequence of weight and sitting height crossed. It is inferred that the growth of sitting height differ between male and female.

緒 言

体格発育の順序性について、Tanner¹⁸⁾は原則的に男女共、下肢長が最も早くピークに達し、座高がピークに達する6～9ヶ月以前に起き、そして、胸囲は最後にピークに達すると述べている。ここで、下肢長は身長から座高を差し引いた数値を採用しているため、身長と座高のピークは下肢長と座高の間に起こる。彼のこの報告は、一般的な体格発育の順序における目安として理解されている。しかし、この目安の導き出された方法については科学的客観性に欠けていると考えられる。つまり、彼は体格発育のピークを年間発育量から作図的にそのグラフを描き、発育速度曲線と見なし、その速度のピークから判断して議論しているわけである。ここに彼の科学的客観性の欠如となる問題点が、データ収集における点を除き、データ解析上において2

点存在する。それは先ず、1) 作図という人為的な経験的作業によること、2) 年間発育量を便宜的に速度として扱っていること、この2点に集約されると考えられる。特に、2) に関しては、年間発育量を速度量とみなすことによつて、その作図的な曲線やピークから発育問題を論じた研究は少なくない。Malina, et al.¹¹⁾も、身長の年間発育量のピークをPHV (Peak Height Velocity: 最大発育速度)として、その年齢を基準に体重、座高、下肢長の最大発育速度年齢の順序性について、下肢長→身長次に体重、座高がほぼ同じ順序になることを述べている。このように、科学的客観性の議論を除けば、この種の解析手法による発育発達研究への貢献度は大きいといえる。

しかしながら、解析手法における科学的客観性の議論は、コンピューター化が加速される現代において、必然的に必要不可欠な行為と考

* 愛知工業大学 基礎教育系健康科学教室

* Health Science, General Education, Aichi Institute of Technology

られる。そこで、曲線表示の tool としてコンピュータは最適であり、1) の問題点はコンピュータを利用すれば解決される。したがって、あとは、2) の問題点に関する議論である。この問題点に関しては、観測されたデータの発育現量値に対し、適切な数学的関数を当てはめることにより、描かれる曲線の滑らかさはもちろん、元の当てはめられた曲線から適切な方法で速度曲線が得られることにより解決されると考えられる（ここで誤解のないように述べておくが、コンピュータ自身が元の曲線から速度曲線を決定して描くわけではない。速度曲線を描くためには、当然ある種の適切な関数アルゴリズムをプログラムしてやらなければならないということである）。しかし、身体的発育曲線に対する数学的関数による fitting の妥当性の問題がある。この点に関しては、筆者の先の研究^{3) 7) 8)}で従来からの研究を考慮しながら議論を展開してきた。そしてその結果、Wavelet Interpolation Method (W I M) を提唱するに至った。この W I M を提唱するに至った過程の詳細はすでに筆者の先の研究^{3) 4) 5)}で述べてあるので省くことにする。このように、発育発達研究に対する解析手法の科学的客観性は WIM の提唱で保証されたと考えられる。

そこで本研究では、WIM によって体格の MPV (Maximum Peak Velocity : 最大発育速度) 年齢を特定し、特定された MPV 年齢の順序性から体格発育の順序を再度検討するものであるが、男子については先の研究⁹⁾で報告しているので、ここでは女子について検討する。そして、特に、体格発育の順序性における性差については、従来まであまり明確な報告はない。したがって、この点についてもより詳細な検討を試みるものである。

方 法

1. 資 料

愛知県内の某女子短期大学 1 年生 300 名を対象に、健康診断票を後方視的に追跡調査を行い、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。その中から完全にデータの揃っている者、89 名を抽出した。尚、今回の研究で用いる下肢長は身長から座高を差し引いた数値を採用した。

2. 分析手法

筆者の先の研究^{3) 4) 5) 6) 7) 8)}において解析手法に関する詳細な説明はすでに述べているので、ここでは、その解析手法の核になる WIM の一連のアルゴリズムについて述べる。

Wavelet Interpolation Method (WIM) のアルゴリズム

身長などの発育曲線は滑らかな $L^2(\mathbb{R})$ 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 $\{(t_i, y_i) : i = 1, 2, \dots, 11\}$ 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 Wavelet¹⁵⁾ $\psi(\chi)$ と $\psi'(t)$ を構成する。

(3) Meyer Wavelet¹⁵⁾ 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、
 $|\psi(t)| \leq \epsilon$. ($\epsilon = 0.01$ とする)

(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、 $j \leq 1$.

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

(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。

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

...

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

(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。

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

.....

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

(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。ここでは体格項目である身長、体重、胸囲、座高、下肢長の MPV である。

以上、WIM のアルゴリズムを記述したが、本研究では、体格項目として、身長、体重、胸囲、座高、下肢長の平均発育現量値に WIM を適用し、微分した発育速度曲線を現量値曲線と共に、以上のアルゴリズムによるコンピュータシミュレーションによって描いている。そしてその結果、発育速度曲線から MPV 年齢を特定し、その順序性および速度曲線に出現する mid-growth spurt および after-growth spurt の出現状態も含めて、その概観について検討する。

結 果

以上の解析手法から、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 ~ Fig 5 である。これは女子体格（身長、体重、胸囲、座高、下肢長）の平均発育現量値と速度曲線のグラフであるが、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現量値曲線で、縦軸はそのまま体格諸属性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、縦軸をそのまま各体格の単位より十の位下げた単位で設定してある。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、ピークとなる部分ははっきりと確認できる。そこで、こ

の体格 5 項目のグラフの概観を見てみると、身長については、8.7 歳頃から adolescent growth spurt の立ち上がり (take off age : 開始年齢) が示され、10.4 歳でピーク (MPV) を迎えている。そして、15.0 歳まで漸次減少傾向を示し、最終発育付近で再び僅かな立ち上がりが示された。体重では、8.3 歳頃の adolescent growth spurt 開始年齢前に僅かな立ち上がりが示され、10.8 歳で MPV を迎え、15.0 歳まで少し緩やかに減少し、停滞した後に終末を迎える。胸囲では、8.5 歳頃の adolescent growth spurt 開始年齢前に体重と同様に僅かな立ち上がりが示され、11.3 歳で MPV を迎え、12.8 歳まで少し急激に減少し、そこから最終発育まで緩やかに減少する。座高では、MPV は一様 11.2 歳で示されているが、adolescent growth spurt 開始年齢については少し微妙な様相を呈している。しかし、ピークの大きさから判断すれば 10.3 歳頃に立ち上がりがあると考えたほうが妥当であろう。そして、13.1 歳まで急激に減少し、その最終発育まで少し緩やかに減少する。最後に下肢長では、adolescent growth spurt 開始年齢は 9.0 歳頃で、MPV 年齢は 10.3 歳で迎え、14.8 歳まで、途中 12.0 歳で多少速度の変移点があるものの漸次減少し、最終発育で再び立ち上がりを示している。以上、女子の各体格発育のグラフからその概観を見てきたが、その中から、MPV 年齢の順序を見ると、下肢長 (10.3 歳) → 身長 (10.4 歳) → 体重 (10.8 歳) → 座高 (11.2 歳) → 胸囲 (11.3 歳) の順序であった。この MPV 年齢の順序を先の研究⁹⁾で報告した男子の MPV 年齢の順序と比較してみると (Table 2 参照)、男子と女子で、体重と座高でその順序が異なっていることが示された。

考 察

WIM によって描かれた女子体格の平均発育速度曲線の概観から、adolescent growth spurt 以前に示される立ち上がりは mid-growth spurt と呼ばれ、Tanner¹⁷⁾ が特に、身長について指

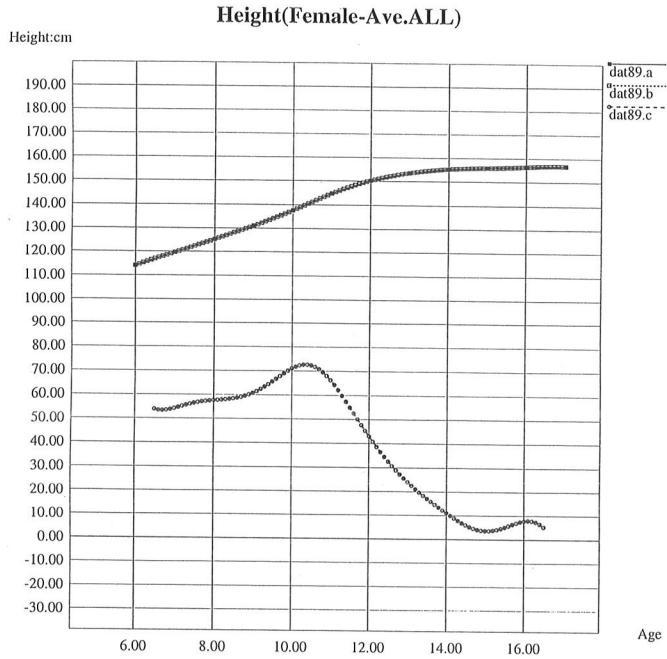


Fig 1 Mean growth distance and velocity curves described by the W I M in height

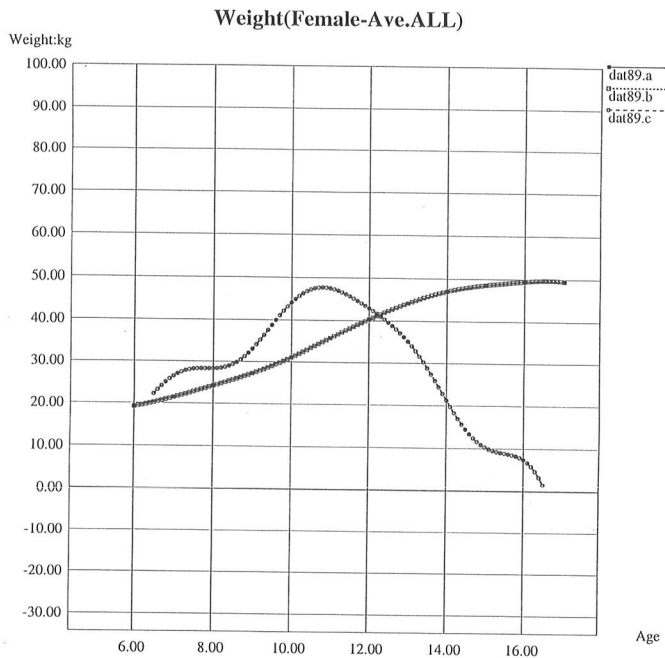


Fig 2 Mean growth distance and velocity curves described by the W I M in weight

体格の MPV 年齢の順序性とその性差

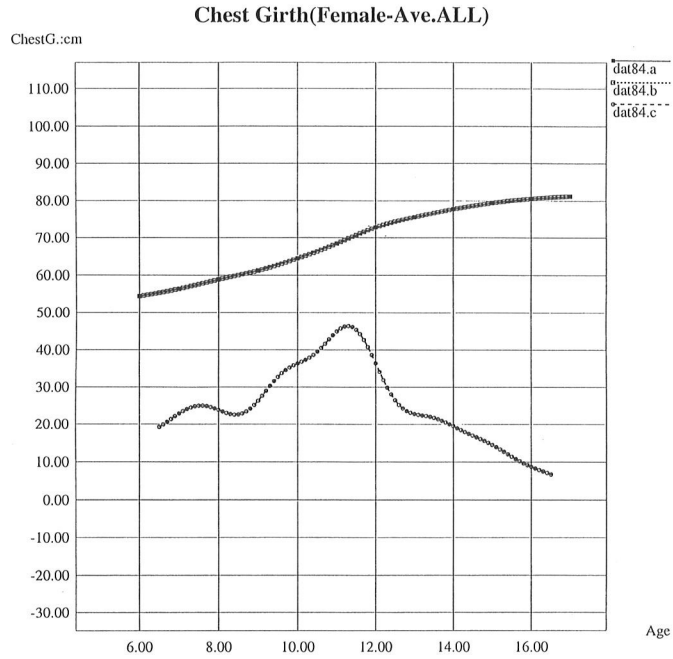


Fig 3 Mean growth distance and velocity curves described by the W I M in chest girth

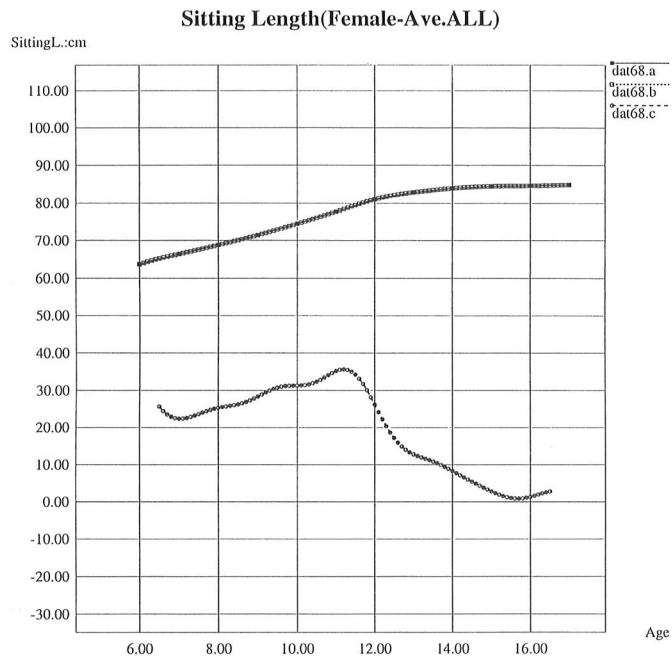


Fig 4 Mean growth distance and velocity curves described by the W I M in sitting height

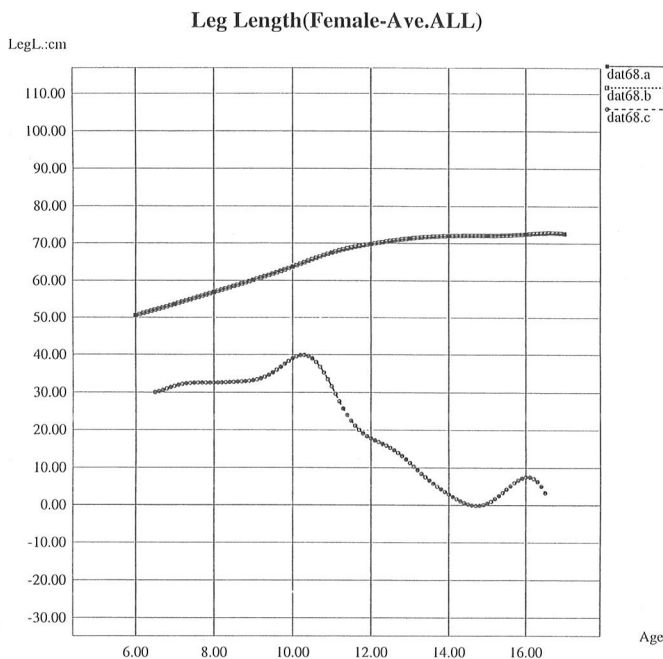


Fig 5 Mean growth distance and velocity curves described by the W I M in leg length

摘し、名付けた現象である。その後この現象について、Berkey¹⁾、Molinari¹⁶⁾、Gasser¹⁰⁾等が議論してきたが、この現象の検出方法が様々であるため明確な結論は導かれていない。最近では、Malina and Bouchard¹²⁾が、身長についてこの現象が示される場合では、男女共6.5歳から8.5歳の間で起こり、女子より男子で頻繁に生じると述べている。今回の女子体格の平均発育速度曲線からは体重と胸囲に mid-growth spurt が示された。Tanner¹⁹⁾も体重発育における mid-growth spurt は身長の場合よりも頻繁に生じることを報告している。筆者の先の研究^{5) 6)}でも、男子体格項目の中では体重、胸囲における mid-growth spurt の出現の割合が多いことを確認している。したがって、女子の体格発育について、個々のデータについては詳細な解析は施していないが、男子同様に、体重、胸囲に mid-growth spurt の出現が長育系（身長、座高、下肢長）に比べて頻繁に起こると推測される。

次に、adolescent growth spurt 以後に示され

る最終発育付近に出現する立ち上がりは、after-growth spurt と呼ばれ、松浦^{13) 14)}が指摘した現象である。彼は polynomial を体格諸属性に fitting させた結果この現象を検出している。しかし、polynomial は関数としての特質上、微分には自由度があるが、発育現量値に対する fitting の精度に問題があり、after-growth spurt の詳細についての議論はなされなかった。筆者の先の研究^{3) 4) 5) 6)}で、男子の身長、体重、胸囲にこの現象を確認しているが、平均発育に関する報告⁹⁾では、特に身長と下肢長にこの現象が確認された。今回の女子体格の平均発育速度曲線からも身長と下肢長に after-growth spurt が検出され、男子と同様に after-growth spurt の出現は身長と下肢長とに頻繁に起こると推測される。特に、女子に関しては、長育系は15、16歳頃には発育の終末を迎えることが一般論として認められており、今回の最終発育付近では身長、下肢長の発育はすでに終末を迎えていると考えられ、したがって、ここで検出された after-growth spurt の現象は男子よりも明確な

体格の MPV 年齢の順序性とその性差

Table 1 Onset age of adolescent growth spurt, M P V and M P V age derived from the growth velocity curve approximated by the W I N in female physique

Items	Onset age of adolescent growth spurt	M P V	M P V age
	Height	8.70 (years old)	7.27 (cm/yr)
Weight	8.30 (years old)	4.78 (kg/yr)	10.8 (years old)
Chest Girth	8.50 (years old)	4.64 (cm/yr)	11.3 (years old)
Sitting Height	10.30 (years old)	3.57 (cm/yr)	11.2 (years old)
Leg Length	9.0 (years old)	3.99 (cm/yr)	10.3 (years old)

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

証左と考えられる。

思春期における体格発育の順序性については、従来までの研究から一応、統一的な見解は得られている。つまり、下肢長の発育が一番早く、続いて身長、その次に体重と座高があまり変わらずに経過し、最後に胸囲という順序で発育の経過を示す。しかし、この見解は男女における性差は考慮されずに論じられている。そこで、今回の結果において、女子の思春期のピーク (MPV) 年齢の出現順序を平均的に捉えれば、下肢長 (MPV 年齢 = 10.3 歳)、身長 (10.4 歳)、体重 (10.8 歳)、座高 (11.2 歳)、胸囲 (11.3 歳) という順序となった。この女子体格の

Table 2 Comparison of sequence in M P V age of male and female physique

Items	Male	Female
	M P V age	M P V age
Height	12.0 (years old)	10.4 (years old)
Weight	12.5 (years old)	10.8 (years old)
Chest Girth	12.6 (years old)	11.3 (years old)
Sitting Height	12.0 (years old)	11.2 (years old)
Leg Length	12.0 (years old)	10.3 (years old)

MPV 年齢順序と表 2 に示されている男子の MPV 年齢を比較すると、順序性だけを問題にすれば、男子の場合は座高の次に体重となるのに対し、女子ではそれが逆で体重の次に座高となっている。この解釈について、2つの体格項目の順序だけから議論することは早計すぎるため、体格項目の MPV 年齢全般の概観から検討してみると、男子では身長、座高、下肢長の MPV 年齢がほとんど同じで、体重、胸囲が遅れて示されている。女子では身長と下肢長がほ

ほ同じで、続いて体重が位置し、最後に座高、胸囲が示されている。このことから平均的に捉えた場合、男女の性差の特徴は座高の発育に大きな違いが認められたことである。従来までの知見では、単に、長育系の順序として下肢長→身長→座高という構図は描かれていた。例えば、Malina, et al.¹¹⁾は身長の間年発育量から思春期の最大年間発育量、すなわち最大発育速度 (PHV: Peak Height Velocity) を求め、その時点の年齢から男女共、下肢長のピークは PHV より以前に出現し、座高のピークは以後に出現すると報告している。しかし、今回のようにこの構図について、科学的、厳密に特定されたピーク年齢 (最大発育速度年齢) から解析されて報告されたものではない。それに、性差については特に述べられていない。また、Beunen and Malina²⁾は体重の最大発育速度年齢 (PWV: Peak Weight Velocity) 以前、以後に出現する身体諸属性をベルギー人男子について整理した中で、座高も含めほとんどの身体諸属性が PWV 以前に出現することを報告している。しかしながら、この報告でも性差については述べられていない。したがって、今回の結果は新たな知見として提唱するものであるが、その解釈についての議論は女子体格の個々のデータを解析するまでは明確なことは差し控えたい。

結 語

89名の女子の体格(身長、体重、胸囲、座高、下肢長)について、その6歳から17歳までの縦断的資料の平均値に対しWIMを適用した結果、女子の体格諸属性における順序性に関して、従来の報告とは若干異なる見解が得られた。それは体重と座高の順序が逆転していることで、このことは新たな知見として、そのまま男女の性差としても置き換えられる。この性差は男女における座高の発育の違いによって生じると考えられる。しかし、この解釈については女子体格の個々のデータを詳細に解析するまでは明確な結論は差し控えたい。いずれにしても、今回の結果は、従来からの年間発育量を工夫した解

析手法とは異なり、発育現量値から瞬時の速度として発育速度を求めるといふ、科学的(数論的な理論的背景としての有効性を備えているという点)に信頼性が非常に高い解析手法(WIM: Wavelet Interpolation Method)によって導かれたことに、その意義があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Berkey, C. S., Reed, R. B. and Valadian, I.: Mid-growth spurt in height of Boston children, *Annals of Human Biology*, 10: 25-30, 1983.
- 2) Beunen, G. and Malina, R. M.: Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt, *Exercise and Sports Sciences Reviews* 16: 503-540, 1988.
- 3) 藤井勝紀、川波憲一、長谷川泰洋、山本浩: 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, 1994.
- 4) 藤井勝紀、山本浩: 身長成熟別発育速度曲線の解析、*体力科学*, 44: 431-438, 1995.
- 5) 藤井勝紀、山本浩: 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, 1995.
- 6) 藤井勝紀、川波憲一: Wavelet 補間法による男子胸囲の発育曲線から導き出される速度曲線および PCV 年齢の検討、*学校保健研究*, 37: 450-459, 1995.
- 7) Fujii, K. and Yamamoto, Y.: Wavelet Interpolation Method for time series analysis in the growth and development study, *Nagoya Journal of Health, Physical Fitness and Sports*, 18: 13-17, 1995.
- 8) Fujii, K.: A comparative interpolation method of W I M and a cubic spline function to longitudinal height data during adolescence in boys, *Nagoya Journal of Health, Physical Fitness and Sports*, 19: 9-17, 1996.
- 9) 藤井勝紀、松浦義行: 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、*体育学研究*, 41: 248-260, 1996.
- 10) Gasser, T., Muller, H. G., Kohler, W., Prader, A., Largo, R. and Molinari, L.: An analysis of the mid-growth and adolescent spurts of height on acceleration, *Annals of Human Biology*, 12: 129-148, 1985.
- 11) Malina, R. M., Bouchard, C., and Beunen, G.: Human growth: Selected aspects of current research on well-nourished children, *Annual Review of Anthropology*, 17: 187-219, 1988.
- 12) Malina, R. M. and Bouchard, C.: Growth, maturation, and physical activity, *Human Kinetics Books*, Illinois, pp 52-54, 1991.
- 13) Matsuura, Y.: A study on physical growth and de-

体格の MPV 年齢の順序性とその性差

- velopment 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, 1991.
- 14) Matsuura, Y. and Kim, M.: 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, 1991.
 - 15) Meyer, Y.: *Wavelets and operators*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 66-129, 1992.
 - 16) Molinari, L., Largo, R. H. and Prader, A.: Analysis of the growth spurt at age seven (mid-growth spurt), *Helvetica Paediatrica Acta*. 35: 325-334, 1980.
 - 17) Tanner, J. M.: The morphological level of personality. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*. 40: 301-303, 1947.
 - 18) Tanner, J. M.: *Foetus into man; physical growth from conception to maturity*, Harvard University Press Cambridge, Massachusetts, pp65-70, 1978.
 - 19) Tanner, J. M. and Cameron, N. 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*, (1980), 7, 565-577.

(1996年12月6日受付)

