

生物学的パラメーターとしての身長の思春期 ピーク年齢に関する発育学的検証論議

Auxologic Confirmation Regarding Age at Adolescent Peak of Height for Biological Parameter

藤井 勝 紀
Katsunori Fujii

ABSTRACT Historical details regarding age at adolescent peak of height (age at MPV of height or peak height velocity) have not been verified. Accordingly, previous studies regarding age at MPV of height and PHV were confirmed. Especially, methods based on graphic and mathematical function are discussed, establishment based on mathematical function was needed. Therefore, significance of age at MPV of height (age at PHV) as biological parameter is tried to be discussed.

緒 言

身体発育における思春期急増 (adolescent growth spurt)期は、人であれば必ず生起する現象であり、特に身長の思春期ピークおよびその時点での年齢は生物学的パラメーターとして成熟度の指標とされている。生物学的パラメーターとして位置づけされた理由は、Tanner¹⁾が男児の恥毛発現年齢と身長の思春期ピーク年齢との間に非常に高い相関を示したことにある。また、女子のこれまでの成熟度の指標とされてきた初経年齢との相関も $r=0.7$ 程度であることを示し、成熟度との密接な関係を指摘した。身長の思春期ピーク年齢はこのような経緯で成熟度との密接な関係が示されたが、ピークという明確な発現年齢の数値で示される成熟度に対して、恥毛発現年齢は観察という非常にバラツキの多い数値で示され、指標としては扱われにくいと考えられる。

一方、初経年齢は比較的特定しやすい数値であり、信頼性もそれほど低いとはいえない。しかし、初経のメカニズム自体に栄養や環境という後天的外的要因の影響に問題があり、指標としての位置づけが難しい。このような事情に加えて身長の思春期ピーク年齢は、Malina²⁾によれば外的要因による

愛知工業大学基礎教育センター
総合教育教室健康科学

影響は報告されておらず、その安定性を指摘している。したがって、身長の思春期ピーク年齢が成熟度の指標として生物学的パラメーターに成り得たといえよう。

ここで指標として位置づけられるためには厳密な数値を導く必要がある。しかしながら、Tannerら³⁾、高石ら⁴⁾の提唱した作図法(graphic method)等では客観的で厳密なピーク年齢を導くことはできない。そこで、数学関数で身長の発育曲線を記述し、その微分を速度曲線として描くことにより速度の最大値(ピーク)を特定することが試みられてきた。

身長の思春期ピーク年齢の名称化

身長の思春期ピーク年齢は思春期の最大発育速度を示す年齢の意味で、古くから PHV (Peak Height Velocity) 年齢として使用されてきた。同じような名称として、体重発育においては PWV (Peak Weight Velocity) 年齢として名称化されている。しかし、PHV、PWV年齢は年間発育量の最大値から導かれており、1年の幅を持つpeakである。また、PHV、PWVのように体格属性ごとに名称が変わる欠点がある。例えば胸囲や下肢長の場合に適用すれば、PCV(Peak Chest girth Velocity)、PSV(Peak Sitting height Velocity)年齢のように名称化されよう。従来の報告にはPHV、PWV年齢の

記述はあるが、PCV、PSV年齢の記述はほとんどない。

Fujii and Matsuura⁵⁾ はこのような欠点を解消するのに、身長と思春期ピーク年齢をMPV (Maximum Peak Velocity)年齢として名称化した。MPVはウェーブレット補間法によって体格の発育速度曲線から導かれた思春期の最大発育速度の名称であり、身長MPV、体重MPV、胸囲MPVのように体格属性ごとには変わらない。もちろんMPV年齢は理論的根拠によって保証されている厳密な数値として示されており、成熟度の指標として基準化されることができる。

身長と思春期ピーク年齢（身長MPV年齢、PHV年齢）の歴史的検証論議

Tanner³⁾ は、男女の身長と体重の標準的な発育指標を導くために、横断的データから発育現量値を求め、また、速度量が思春期に限定されて縦断的データから年間発育量が算出され、その数値を基に作図法 (graphic method) によって発育現量値と速度のチャートを作成した。この研究でチャートを作成する過程において、思春期急増期の発育速度に関する事象が検討された。先ず、個々の発育と平均発育との間に生起する位相差効果 (phase difference effect) の実態が示され議論された。次に、思春期急増期における個々の身長と体重の発育速度曲線が作図法によって描かれ、PHV年齢とPWV年齢が導かれ、またその時点での速度が導かれた。PHV年齢は、男子では14.1±0.13歳(N=49)、女子では12.1±0.14歳(N=41)、PHVは男子では10.3±0.22cm/yr(N=49)、女子では9.0±0.16cm/yr(N=41)であった。PWV年齢は、男子では14.3±0.13歳(N=46)、女子では12.9±0.18歳(N=33)、PWVは男子では9.8±0.3kg/yr(N=46)、女子では8.8±0.25kg/yr(N=33)となった。

PHV年齢とPHVの関係が相関係数から判断され、男子の相関係数 $r=-0.47(P<0.01)$ 、女子の相関係数 $r=-0.40(P<0.01)$ と有意な相関が示され、身長の最大発育速度年齢が遅くなるとともに最大発育速度は減少する傾向を報告した。このような思春期急増期における解析を踏まえて、基本的には1959年にLondon County Councilの調査で得られた横断的データを基に、男女の身長、体重における個人追跡用の標準発育曲線のチャートを作成、提唱した。

次に、高石等⁴⁾ は、1948年から1951年までに小学校に入学した男子の身長と体重を高校まで継続測定した134例について、思春期における発育パターンを検討するために、Tannerの提唱した作図法を適用して身長と体重の発育現量値曲線を描き、描かれた現量値曲線から3ヶ月毎の増加量を読みとり、さらにそれを4倍して年間増加量に換算し速度曲線を描いた。その結果、PHV年齢は13.36(SD=0.85)歳、PHVは10.85(SD=1.45)cm/yrであった。PWV年齢は13.60(SD=0.88)歳、PWVは8.40(SD=2.04)kg/yrであった。また、位相差(phase difference effect)についても検討し、横断的に処理された場合と比較してPHVで3cm/yr、PWVで

2kg/yr、大であることを示した。さらに、最終身長についての検討の結果、PHV年齢時点での身長の発育現量値と終末身長との相関は、 $r=0.90(P<0.01)$ であることを示した。

さらに、高石ら⁴⁾ は、1952年から1956年までに小学校に入学した女子の身長と体重について高校まで縦断的に測定された記録、身長295例、体重273例を、思春期における発育パターンと初経年齢との関係を検討した。その結果、PHV年齢は11.45(SD=0.94)歳、PHVは8.77(SD=1.25)cm/yrであり、PWV年齢は12.02(SD=0.94)歳、PWVは6.85(SD=1.59)kg/yrとなった。また、初経年齢との関係について、初経年齢の平均は12.67(SD=0.93)歳、PHV年齢より平均で1.24年、PWV年齢より0.63年遅れることが報告された。さらに、最終身長との関係について、PHV年齢時点での身長の発育現量値と終末身長との相関は、 $r=0.79(P<0.01)$ 、初経年齢時での身長の発育現量値との相関は、 $r=0.83(P<0.01)$ であることが示された。

これら一連の研究から、PHV年齢が作図法から導かれ、PHV年齢の具体的な統計値、初経年齢、PWV年齢、さらには最終身長との関係が明らかにされ、成熟度の指標として生物学的パラメーターの確立が位置づけられた。

Lindgren⁷⁾ は、スウェーデン都市部の1954、55年生まれの男児373名、女児357名の10歳から18歳までの身長と体重の縦断的測定値を使用して、成熟別にみた思春期急増期の発育諸相を検討した。ここで成熟別分類基準としてPHV年齢が求められ、PHV年齢を基準に早熟、普通、晩熟の3グループを設定した。男子における成熟別基準は、PHV年齢が13歳までを早熟グループ、13.5歳から15歳までを普通グループ、15.5歳以上を晩熟グループと設定し、女子における基準は、PHV年齢11歳までを早熟グループ、11.5歳から12.5歳までを普通グループ、13歳以上を晩熟グループと設定した。

以上設定された成熟別グループごとの身長と体重の平均発育現量値のプロセスが、男子は10歳から18歳、女子は10歳から16歳まで示された。そのプロセスの中で早熟グループの者は、身長に対する体重の割合は重い傾向が示された。次に、身長と体重における発育の時間差を観るために、PHV年齢とPWV年齢の差を求めたところ、男子の早熟グループで0.6歳、普通グループで0.3歳、晩熟グループで-0.1歳の時間差が示され、女子では早熟グループで0.9歳、普通グループで0.5歳、晩熟グループで0.2歳の時間差が示された。さらに、初経年齢とPHV年齢の差は早熟グループで1.6歳、普通グループで1.2歳、晩熟グループで0.7歳、成熟別グループ間で有意差が認められた。また、PWV年齢との差は成熟別グループの間では有意差は認められず、全体的な差の平均としては0.6±0.05(SD=0.9)歳の差が示された。以上のような思春期急増期の発育諸相における知見が得られた。この研究ではPHV年齢が成熟度の基準として適用されており、すでに生物学的パラメーターとして確立されている。

観測データによる作図法から導かれたPHV年齢の比較論議

作図法を採用して生の観測データそのものから導かれた思春期ピーク年齢について比較してみると、Tannerら³⁾、Lindgren⁷⁾、高石ら⁴⁰⁾のサンプルから導かれたPHV年齢は、Fujii and Matsuura⁵⁾が示した身長MPV年齢より全般的に遅い傾向が示されている。もちろんTannerら³⁾やLindgren⁷⁾のサンプルとの間には明らかな民族による差が考えられる。このことはTannerら³⁾、Lindgren⁷⁾の両サンプルと高石ら⁴⁰⁾のサンプルとを比べれば明白な知見である。しかし、今回の身長MPV年齢と高石ら⁴⁰⁾のPHV年齢との差については、恐らく年次差の影響が考えられる。このことは思春期ピーク年齢の低年齢化、つまり、早熟化を意味するものと推察される。

いずれにせよ、手法上の違いによる解析から導き出された知見をこれ以上比較議論しても無意味と考えられる。特に、適用された手法から導かれた思春期ピーク年齢におけるサンプルの正規性については、どの知見を見てもほとんど検討されていないため、本質的な比較の議論ができない。しかしながら、このことは逆に考えれば、サンプルの正規性を導くことにより適用された手法上の妥当性を示すことになると云えよう。

数学関数による思春期ピーク年齢(身長MPV年齢)導出の検証論議

Table 1はPreece and Baines⁸⁾、Gasserら⁹⁾による数学関数のフィッティング(fitting)によって導かれた身長MPV年齢と、その時点における速度(MPV)の統計値(平均と標準偏差)である。Table 2は同じくKanefuji and Shohoji¹⁰⁾による数学関数当てはめによって導かれた身長MPV年齢とMPVの統計値であるが、特に、ここに示されている統計値は日本人女子365名の発育縦断的資料に対し、彼らが提唱したfitting数学関数で適用した場合、Preece and Bainesモデル⁸⁾およびJPSSモデル¹¹⁾において適用した場合の身長MPV年齢とMPVが示されている。

ここで示された身長MPV年齢について、前項で示した身長MPV年齢と同一次元で比較議論をすることはできない。それは数学関数と生の観測データから導かれる場合とでは、比較する意味において思春期ピーク年齢を導く手法上の問題があるからである。つまり、真の思春期ピーク年齢が不明である限り、比較における客観的基準が設定されない欠点と考えられる。それに、ここでは民族の相違やサンプル数も異なるために比較論議は困難といえよう。

そこで、数学関数による場合について、Preece and Baines⁸⁾とGasserら⁹⁾については男女とも身長MPV年齢は遅くなっているが、ピーク時の速度値は男女とも少なくなっている。

ピーク年齢については民族による差と考えられるが、ピーク時の速度は恐らく関数の本質上の問題により少なくなったものと推測されよう。また、Kanefuji and Shohoji¹⁰⁾の場合について、女子における身長MPV年齢はFujii and Matsuura⁵⁾が示した女子身長MPV年齢とそれほど違いはない。しかし、ピーク時の速度値は若干少ない傾向がある。いずれにせよ、手法上の統一性とサンプル数の問題があり、これ以上の議論は関数の本質上の問題に触れることになり、思春期ピーク年齢の比較論議は無意味なものとなる。

ウェーブレット補間法による身長MPV年齢導出の検証論議

男子297名、女子170名の身長縦断的発育資料が得られ、その発育現量値に対してウェーブレット補間法が適用された。現量値曲線が描かれ、その微分である速度曲線が導かれることにより、その速度曲線から個々にMPV年齢が特定された。男女における身長MPV年齢の統計値について、男子のMPV年齢では12.92(SD=1.09)歳、女子では10.94(1.04)歳であった。ウェーブレット補間法による身長MPV年齢の算出による妥当性を検討するために、その出現頻度分布を導き正規性を検討する。正規性検定に関しては、正規分布関数への適合が妥当であるかを検討する。理論度数算出のための正規分布関数はそれぞれ以下のように示される。以下の式は一般的な正規分布関数式である。

$$f(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{X})^2}{2\sigma^2}}$$

今、男女の身長MPV年齢の度数分布から導かれた係数を正規分布関数に代入すると、以下のように示される。

$$f(x_i) = \frac{0.5 \times 253}{\sqrt{2\pi} \times 1.096} e^{-\frac{(x_i - 12.92)^2}{2(1.096)^2}}$$

$$f(x_i) = \frac{0.5 \times 154}{\sqrt{2\pi} \times 1.016} e^{-\frac{(x_i - 10.94)^2}{2(1.016)^2}}$$

以上の式より χ^2 値を求めると、男子では14.6、女子では9.9となり、男女とも正規分布に良く適合していると推測され、ウェーブレット補間によって導かれたMPV年齢の度数分布の状態は男女ともその正規性が認められた。

そこで男女とも正規性が認められたことで、度数分布の状態が男子と女子で異なるかどうかを検討した。その結果、性差については明らかに有意差(P<0.01)が認められ、女子が男子より成熟が早く、従来からの定説を確認し、その差が今回はMPV年齢から判断して約2歳と示されたことは男女における成熟差の基準となるであろう。さらに、成熟度の指標を

Table 1 従来までに数学的関数当てはめによって導かれたPHV年齢とPHVの統計値(平均および標準偏差)

Preece and Bains(1978)					
男子(N=35)			女子(N=23)		
	PHV年齢	PHV	PHV年齢	PHV	
	years	cm/yr	years	cm/yr	
Mean	13.7	7	8.69	11.80	7.58
SD	0.32		1.21	0.77	0.84

Grasser et al(1985)					
男子(N=45)			女子(N=45)		
	PHV年齢	PHV	PHV年齢	PHV	
	years	cm/yr	years	cm/yr	
Mean	13.9	0	8.30	12.20	7.00
SD	0.95		0.82	0.81	0.95

Table 2 Kanefuji and Shohoji(1990)による365名の女子の身長発育に当てはめたPreece and Bains (1978)、JPPS(1988)、K and S (1990)モデルから導かれたPHV年齢とPHVの統計値

女子(N=365)				
		PHV年齢	PHV	
		years	cm/yr	
Kanafuji and Shohoji モデル	Mean	10.88		8.20
	SD	1.33		1.69
Preece and Bains モデル	Mean	11.28		8.30
	SD	0.95		1.39
JPPS モデル	Mean	10.9	9	8.09
	SD	1.33		1.46

構築することが可能になろう。すでにFujii et al¹²⁾は運動選手のトレーニングの最適時期について、ウェーブレット補間法によって導かれた成熟度の指標を適用して新たな知見を示している。

結 語

身長 of 思春期ピーク年齢について、古典的な研究としては Shuttleworth¹³⁾ の示したMG (Maximum Growth)によって集約したグループから発育パターンを解析した報告はあるが、成熟度として明確に扱われてはいない。その後、Tanner¹⁾によって生物学的パラメーターとしてのPHV(Peak Height Velocity)年齢の確立をみるわけである。これによってPHV年

年齢の算出方法が議論されてきた経緯がある。特に、Preece and Baines⁸⁾と Gasserら⁹⁾の数学関数によるPHV年齢の算出は意味があるといえる。これを期に数学関数によるPHV年齢の導出論議が重要視されてきた。しかしながら、JPPSモデル¹¹⁾やKanefuji and Shohoji¹⁰⁾の試みはあるが、最適な数学関数を導くには至っていないのが現状であった。そのような中で藤井が提唱してきたウェーブレット補間法が有用な位置づけとして確立をみたといえよう。

参考文献

- 1) Tanner, J. M. : *Growth at Adolescent*. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1962.
- 2) Malina, R. M. : *Physical activity and training : effects on stature and the adolescent growth spurt*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 759-766, 1994.
- 3) Tanner, J. M., Whitehouse, R. H. and Takaishi, M. : *Standard from birth to maturity for height, weight, height velocity and weight velocity — British children 1965*. *Archives of Disease in Childhood*, 41, 454—471, 1966.
- 4) 高石昌弘、大森世都子、江口篤寿、藤田良子：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, 1968.
- 5) Fujii, K. and Matsuura, Y. : *Analysis of the Growth Velocity Curve for Height by the Wavelet Interpolation Method in Children Classified by Maturity Rate*. *American Journal of Human Biology*. 11:13-30, 1999.
- 6) Takaishi, M., Ohmori, S., Miyabe, R. and Iwamoto, S. : *Studies on Patterns of Physical Growth at Adolescence— part 2 height velocity and weight velocity in girls and their relation to menarcheal age—*. *Japanese Journal of Child Health*, 6, 280—285, 1969.
- 7) Lindgren, G. : *Growth of schoolchildren with early, average and late ages of of peak height velocity*. *Annals of Human Biology*, 5, 253-267, 1978.
- 8) Preece, M. A. and Baines, M. J. : *A new family of mathematical models describing the human growth curve*. *Annals of Human Biology*, 5, 1-24, 1978.
- 9) Gasser, T., Kohler, W., Muller, H. G. and Kneip, A. : *Velocity and acceleration of height growth using kernel estimation*. *Annals of Human Biology*, 11, 397-411, 1984.
- 10) Kanefuji, K. and Shohoji, T. : *On a growth model of human height*. *Growth, Development & Aging*, 54, 155-165, 1990.
- 11) Jolicoeur, P., Pontier, J., Pernin, M. O. and Sempe, M. : *A lifetime asymptotic growth curve for human height*. *Biometrics*, 44, 995-1003, 1988.
- 12) Fujii, K., Demura, S. and Matsuzawa, J. : *Optimum Onset Period for Training based on Maximum Peak Velocity of Height by Wavelet Interpolation Method in Japanese High School Athletes*, *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 24, 15-22, 2005.
- 13) Shuttleworth, F. K. : *The physical and mental growth of girls and boys age six to nineteen in relation to age at maximum growth*. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 3(4), National Research Council, Washington, 1939.

(受理 平成17年3月17日)