

骨成熟が早熟な子の成人身長は小さいか？

高井 省 三

Does early skeletal maturer tend to be a smaller adult?

TAKAI Shozo

This report firstly examined a hypothesis that the child who matures quickly would be a smaller adult, and secondary described the relationship of adult height to the tempos for the skeletal maturation and height growth for Japanese children. Subjects consisted of 1,230 schoolchildren (6.5-17.5 years of age) from 1979-1993 Ogi Growth Study. I analyzed the distance and annual incremental values for height growth and full RUS (TW 2) skeletal maturation graphically without any smoothing of the curves. The results rejected the hypothesis, since no significant correlation was found between the adult height and the age at full RUS maturity ($r=0.02$ for 167 boys; $r=-0.01$ for 326 girls). On the other hand, the age at full RUS maturity correlated strongly with the age at PHV ($r=0.832$ for 127 boys, and $r=0.616$ for 189 girls). Other pairwise correlation coefficients were low or null. Again, velocities for skeletal maturation during growth period had no significant correlation to adult height exclusive of age when PHV occurred. A weak but significant negative correlation ($r=-0.20$) was showed at relevant timing of PHV (11 years of age for girls, and 13 years of age for boys). The correlations of the height velocity to the maturity velocity switched from positive to negative when they crossed the border of the age at PHV. This seemed to correspond to the alternative effect of the growth- and gonadal hormones to proliferative and maturational phase of the epiphyses and the growth cartilages.

Key words : Age determination by skeleton, body height, adult, adolescence, Japanese

はじめに

身長は97～98パーセントは骨の要素が占める⁹⁾。したがって身長は成長は長管状骨の伸びによるところが大きい。管状骨の長さの成長は骨端軟骨での軟骨細胞から骨細胞への変化—骨成熟—によっている。そして骨成熟と骨成長は同時に開始して同時に終了する。したがって、身長は構成に大きく貢献する下肢の管状骨に骨端軟骨が残っている限りは身長は伸び続け、軟骨が完全に骨に置き換えるときに身長は伸びは止まる。この事実は、骨成熟が早熟な子どもは小さな成人身長(最終身長)を示す、という仮説を導く¹⁾。日本児童の骨成熟は米国人や欧州人に比べて早熟であ

る¹⁷⁾ことから、この思春期の骨成熟のテンポが早いことが日本人成人の身長を小さくしている原因の一つだろうという仮説もある¹²⁾。同様に、女兒は男子よりも骨成熟の完了が早いので¹⁷⁾、この仮説が正しければ女子の成人身長が男子に比べて低いこともうまく説明できる。インド児童についての研究¹⁴⁾は骨端軟骨の早期癒合でなく骨成熟テンポが速いことが低い成人身長をもたらしていると論じている。さらに思春期の米国児童でも、ゆっくり成熟する子どもにくらべて骨成熟が早熟な子どもは最終的に低い身長にとどまる、という結果がある²⁾。

骨成熟を説明変数に取り込んだ成人身長の予測

式のかたちは早熟児と低い成人身長の関係を示唆している。骨成熟と身長の高い相関関係を利用し、骨成熟・身長・暦年齢を変数として成人身長を予測する TW 2 (Tanner-Whitehouse 2) 方式²¹⁾の成人身長推定式の RUS (Radius, Ulna, Short bones) 骨年齢の係数はすべてマイナス符号となっている。たとえば、10.00~10.49歳の男子に適用する予測式は、成人身長=79+1.12×身長-4.4×暦年齢-1.27×RUS 骨年齢、である。したがって、身長、暦年齢が同じような場合、予測式は骨成熟が進んでいる子どもを骨成熟が遅れている子どもに比べて成人身長を低く見積もることになる。

この研究ははじめに骨成熟と身長の間を骨成熟が早熟な子どもの最終身長が低いかどうかという切り口から明らかにしようとしている。ついで骨成熟は身長の成長のどの事象(最大増加量、最大増加年齢など)と関係しているかを縦断的成長資料に基づいて検討している。その結果、骨成熟の遅速と最終身長は関連がないことが明らかになったので、詳細をここで紹介する。

被験者と方法

被験者は1979~1993年の「小城成長研究」から成る。小城成長研究とは1979年から1995年にかけて佐賀医科大学解剖学講座が実施してきた成長研究である。調査は1979年に佐賀県小城町の1校区の小・中学校に在籍した児童生徒計測することにより始まった。そして1980~1984年の小学校新入生を加えを彼らを12年間にわたり追跡した縦断的成長調査である。被験者の延べ数は1万人を越えている。調査項目は身長、体重をはじめとする31の身体計測項目、手骨 X 線撮影、初潮年齢アンケートである。さらに240家族で両親について11項目の身体計測を実施している。小城町は1985年には人口14,595人を数え、国勢調査の結果から見ると被験者は中流以上の社会経済状態の家庭に育っていることが分かっている¹⁹⁾。

本研究の第一次の被験者は1979~1994年の調査に参加した6.1~17.9歳の男児881名、女児903名からなる。彼らから、1) 成人身長およびその時の年齢、2) RUS 完熟年齢およびその時の身長、3) 身長最大増加量 (peak height velocity, PHV) および PHV 年齢、4) PHV 年齢時の骨成熟速度の規準を満たすものを選んだ。被験者は毎年4月

に身長を始めとする生体計測調査および手骨 X 線撮影を受けていた。小城成長研究は縦断的方法であるので、彼らがすべての調査に参加すれば12の連続データを持つことになる。しかし、高校進学時に少なからぬ被験者の追跡が不可能になり純縦断的資料の歩留まりは悪くなっている。被験者の平均 X 線撮影回数は男子で6.6±3.3回、女子で8.4±1.5回であった。

第一次被験者から成人身長を示すものを選んだ。成人身長は身長の年間最大増加量が1cm未満になったときの値をあてた。同時にこの成人身長の値を示した年齢を求めた。この成人身長の規準を満たす被験者は男児258名、女児546名であった。本研究の定義による成人身長を示す年齢は必ずしも実際に身長が成長が停止する年齢を意味しない。PHV 年齢から28歳までの米国児童の縦断的研究によれば年間増加量が1cm未満になる年齢の中央値は男子17.5歳、女子15.5歳である。いっぽう身長が成長が停止する年齢の中央値は男子21.2歳、女子17.3歳であった¹⁵⁾。この間に男子では1.0cm、女子では1.5cm成長している。

手骨の骨成熟が完了した時点が判明している被験者を第一次被験者から選んだ。骨成熟は TW 2 法²¹⁾で判定し、RUS スコアを採用した。TW 2 法とは物理学的時間(暦年齢)の対極にある生物学的時間の表現方法の一つである。その方法は手と手首の20個の骨の成熟(骨化)の特徴を7~8段階の一連の基準と対比させ適合するものを選び出すことが基本となっている。それぞれの骨について適合する基準を選び出したら、それぞれの基準に設けられた個別のスコアを読み、0~1,000の全骨の合計スコアで生物学的年齢(骨年齢)を決める方法である。TW 2 法では、橈骨、尺骨、指骨といった13の管状骨の成熟をみる RUS スコア、7つの手根骨の成熟をみる Carpal スコア、そして両者をあわせた20-bone スコアの3つの骨成熟スコアがある。そのなかから RUS スコアを選んだ理由は、RUS (橈骨、尺骨、指骨) 骨成熟評価基準は Carpal (手根骨) のそれにくらべて適用年齢範囲が広い¹⁷⁾ので本研究に好都合であったからである。RUS スコアが1,000点に達した年齢を RUS 完熟年齢とした。RUS 完熟の後に手骨のすべての軟骨が骨化して解剖学的に骨成熟が完成する。連続する2年の間に RUS スコアが1,000点未満のスコアから1,000点を通り過ぎて解剖学的

な骨成熟完了を迎える被験者が少なくなかった。このような場合のRUS完熟年齢は両時点の平均をとった。このRUS完熟年齢の規準を示した被験者は男児256名、女児394名であった。

身長の間年増加量とRUS骨成熟の間年成熟量を第一次資料から計算した。個々の被験者について平滑化をしないで身長の成長速度曲線を描き、この曲線がピークを示すかどうかを調べた。その結果406名の男児と359名の女児がピークを示し、身長最大増加量 (PHV) と PHV 年齢を求めることができた。この PHV データと RUS 骨成熟速度データをとともに備えている被験者は男児368名、女児336名であった。

最終的にはこれらの項目の組み合わせの2次元散布図を描き、95%確率楕円からの外れを示す値をもつ被験者を除外した。こうして、男児532名、女児666名がそれぞれ分析の対象となった (Table 1)。

結果と考察

身長、骨成熟に関する基本統計量 (Table 1) は本研究の被験者が平均的な日本人を代表していることを示している。成人身長は1979年度の20歳日本人の身長 (男子: 167.3 ± 5.74cm; 女子: 155.3 ± 4.85cm) および1993年度の20歳日本人の身長 (男子: 171.3 ± 5.81cm; 女子: 158.6 ±

Table. 1 Basic statistics for the subjects.

	Boys			Girls		
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
Adult height (cm)	253	169.5	5.63	531	157.3	5.15
Height at RUS maturity (cm)	167	168.5	5.71	326	156.4	5.04
PHV (cm)	389	9.8	1.27	342	8.2	1.06
RUS velocity at PHV (score/year)	354	119	50.2	321	113	48.8
Age at adult height (years)	252	17.2	0.78	525	16.0	1.15
Age at RUS maturity (years)	246	16.4	0.87	379	15.0	1.04
Age at PHV (years)	389	13.0	0.96	342	11.1	1.04

Table. 2 Pairwise correlations for boys (upper triangle) and girls (lower triangle) with count and significant level of 5% (*) and 1% (**).

	Adult height	Age at RUS maturity	Age at PHV	PHV	RUS velocity at PHV	Age at adult height
Adult height		0.019 (167)	-0.006 (150)	0.193* (150)	-0.067 (147)	-0.010 (252)
Age at RUS maturity	-0.013 (326)		0.832** (127)	-0.292** (127)	-0.260** (126)	0.151 (166)
Age at PHV	0.115 (241)	0.616** (189)		-0.375** (389)	-0.216** (354)	0.305** (150)
PHV	0.157* (241)	-0.250** (189)	-0.169** (342)		0.305** (354)	-0.095 (150)
RUS velocity at PHV	-0.242** (226)	-0.155* (177)	-0.260** (321)	0.281** (321)		-0.083 (147)
Age at adult height	0.043 (525)	0.360** (323)	0.335** (238)	-0.135* (238)	-0.152* (223)	

5.37cm)と比較しても正常範囲内であった^{10,11)}。身長最大増加量 (PHV) と PHV 年齢もまたいくつかの日本人に関する報告の範囲内におさまっていた¹⁸⁾。RUS 骨成熟の完了年齢も同様に関東地方児童の報告 (男児:16.1歳; 女児:14.7歳) と比べても違いはなかった¹³⁾。

Table 1 からは身長最大増加 (PHV), 骨成熟完了, 成人身長のそれぞれの段階に到達するのに要する時間が分かる。PHV から骨成熟完了までに男子では3.4年, 女子では3.9年を要している。骨成熟完了から成人身長に到達するには男子で0.8年かかりこの間に1.0cm伸びている; 女子では1.0年かかって0.9cm伸びている。手骨の管状骨 (RUS) の最終骨年齢は平均的には下肢の脛骨の近位骨端軟骨の癒合が起こる時期に相当する⁵⁾から骨成熟完了後の身長の成長は座高の増大によるものであろう。いっぽう, PHV から骨成熟完了までには成長ホルモンと性ホルモンの作用の切り替わりが関わり合っている^{8,11)}。PHV の前後の時期に成長ホルモンと IGF-I (インシュリン様成長因子-I) のレベルは低下し骨端軟骨での軟骨増殖は進行しなくなる。このようにして骨の長さの成長は停滞しやがて止まる。しかし実際には骨端軟骨の癒合閉鎖は性ホルモン (テストステロン, エストロゲン) が働き始めるまで起こらない。

成人身長と身長の思春期スパートの諸項目は独立あるいは弱い相関関係しか示さなかった。小城児童は男女共に成人身長は PHV と弱い正の相関を示した (Table 2)。この関係はイギリス, スイス, インド, アメリカ, ベルギー, イタリア児童の結果と一致している⁷⁾。ヨーロッパ系児童の成人身長と PHV の間には $r = -0.07 \sim 0.36$ の無相関または有意な相関がある。小城児童では PHV 年齢と PHV は有意な負の相関を示した。すなわち, 身長の思春期スパートのタイミングが早い早熟な児童は大きなスパート量を示した。また逆に晩熟な児童のスパート量は小さいという関係を見せた。これはヨーロッパ系児童での結果, 相関 $r = -0.06 \sim 0.75$, の範囲に含まれる。しかしながら小城児童の PHV 年齢を指標とすると, 身体成長に関しての早熟・晩熟は成人身長の大きさから独立であった。ヨーロッパ系児童でもこの成人身長と PHV 年齢は $r = -0.19 \sim 0.25$ の無相関であったことが示すようにこの関係は環境要因にも影響されない。それゆえに, Bielicki と Hauspie⁴⁾はこの

結果は思春期スパートのタイミングと成人身長は異なった遺伝子で制御されていることを推測させるとしている。PHV 年齢は成人身長の大きさと無関係で, 成人身長到達年齢と弱い相関関係があった。PHV 年齢から見て早熟な子どもは身長成長の止まる時期も早いことが明らかになった。

Table 2 は成人身長が骨成熟の遅速と関連していないことを示している。骨成熟完了のタイミングの遅速という切り口からみると, 骨成熟が早熟 (晩熟) な子どもは小さな (大きな) 成人身長を示すという仮説を支持できない。この現象を Harpenden Growth Study のイギリス児童の個人追跡資料²⁰⁾でも確認した。英国児童での成人身長と RUS 骨成熟完了年齢の相関を計算したところ, 男児 (26名) で $r = 0.185$, 女児 (16名) で $r = -0.345$ であった。この相関係数はいずれも有意でなかった。いっぽう思春期スパートに関連した項目をみると, 身長の最大増加の時期に骨成熟速度が大きい (小さい) 女子は成人身長が小さい (大きい) という弱い負の相関関係があった。男子での両者の関係は独立であった。骨成熟完了年齢と最も強い関係を示した項目は, 男女共に, PHV 年齢であった (Table 2)。成長期の子どもの身長は現量値と骨成熟は強く相関している^{3,16)}ことがすでに分っている。本研究はさらに身長成長と骨成熟のテンポも互いに強く関係していることを明らかにした。この結果はつぎのような Hauspie ら⁸⁾の見解によって説明できる。思春期スパートは骨成熟が活発になり, ある閾値に達すると開始する。骨成熟の進行を支えているのは性ホルモンのテストステロンまたはエストロゲンであり, この時期にはそれらの作用の様式が軟骨細胞の増殖から骨端癒合へと切り替わることによる。ところで, この骨成熟完了年齢と PHV 年齢の強い関係から, 骨成熟のテンポは身長の最大成長のタイミングを予測する時の有力な指標になるだろうか? Table 1 でみるように PHV は骨成熟完了の 3 ~ 3.5年前に出現しているもので, 現実には身長の成長テンポから骨成熟完了のタイミングを予測することしかできない。

骨成熟完了年齢はまた身長最大増加量 (PHV) および PHV 時の骨成熟速度と負の相関を示した。すなわち思春期に身長が大きく伸びた子どもはより早い時期に骨成熟の完了を迎えるのである。さらに, 身長が最大に伸びているときに骨成熟の速

度が速かった子どもはより早く骨成熟の完了の時期を迎えることを意味する。この成熟完了年齢とPHV時の骨成熟速度の相関係数は男子よりも女子で小さい。このことは骨成熟速度の年齢変化のパターンが男女で異なることから説明できる。男子の骨成熟速度曲線は15.6歳でピークを迎える単峰性の曲線である。一方、女子のそれは10.9歳と13.9歳の2つの時点でピークを迎える双峰性の曲線である¹⁹⁾。女子の初めの骨成熟速度のピークはPHVと同じタイミングである。そしてPHVが終わって再び骨成熟の速度が増加する。このために骨成熟の完了年齢は女子の方が男子よりもばらつきが大きくなり (Table 1) 相関が低くなる。

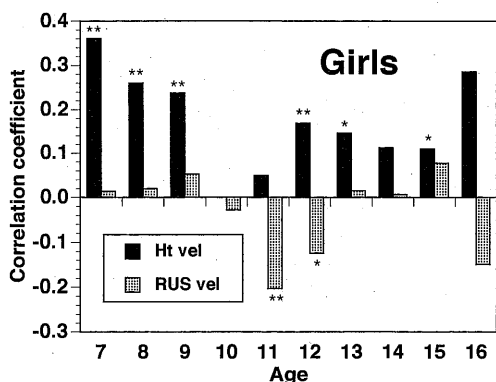


Fig. 1 Correlation of adult height to height velocity (Ht vel) and to velocity of skeletal maturation (RUS vel) for girls by age. Asterisks** and * denote significant level at 1% and 5%, respectively.

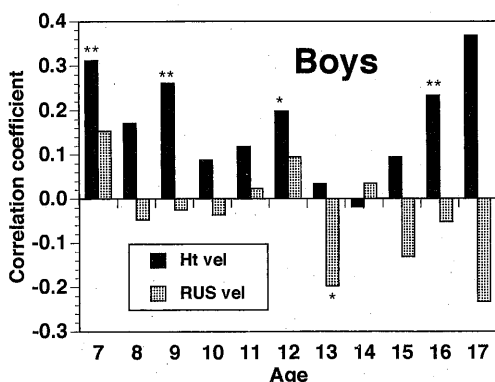


Fig. 2 Correlation of adult height to height velocity (Ht vel) and to velocity of skeletal maturation (RUS vel) for boys by age. Asterisks** and * denote significant level at 1% and 5%, respectively.

これまでの骨成熟と成人身長の関係は成長期間の特定の時点を取り上げて解析してきた。その結果、骨成熟過程の最終段階のタイミングは身長成長の最終段階の成人身長と関係がないことが明らかになった。しかし途中経過の骨成熟は成人身長と関係があるかもしれない。そこで骨成熟速度(年間骨成熟量)と成人身長との関係が加齢によってどのように変化するかを解析した。同時に身長の成長速度と成人身長との関係の年齢変化をも調べた (Figs. 1, 2)。女子では11~12歳の年齢群で年間骨成熟量が大きい子どもは成人身長が低いという非常に弱いけれども統計的に有意な関係が見えた (11歳: $r = -0.20$; 12歳: $r = -0.12$)。男子では13歳で $r = -0.20$ という弱いけれども有意な相関があった。一般に、この身長最大増加の時期 (Table 1) を除くと、骨成熟の途中経過での骨成熟の速度と成人身長との関係は独立であるといえる。いっぽう、身長の成長速度と成人身長との関係はいくつかの年齢群で弱い正の相関を示した。男女共に思春期前の7~9歳で身長成長速度は成人身長と $r = 0.24 \sim 0.36$ の相関関係を示した。しかし身長最大増加の平均的年齢 (Table 1) にあたる11歳女子, 13歳男子で両者は独立であることが明らかになった。この思春期前の両者の関係はGasserらの報告⁶⁾と一致した。スイス人の男児では4歳から思春期スタート開始までの期間の成長速度が大きいと成人身長も大きくなる関係がある ($r = 0.43 \sim 0.55$) がスイス人の女児でこの関係はより弱い ($r = 0.30 \sim 0.40$)。

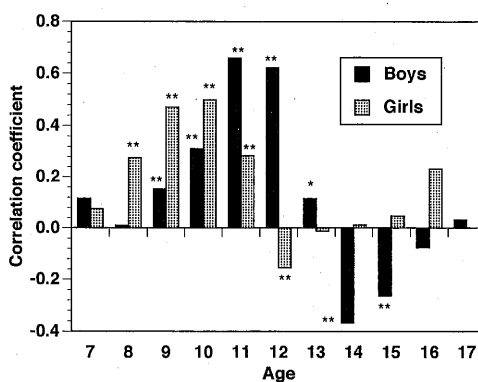


Fig. 3 Correlation between height velocity and velocity of skeletal maturation for the sexes by age. Asterisks** and * denote significant level at 1% and 5%, respectively.

成長期間にわたる骨成熟速度と身長成長速度の関係を調べた。各年齢群での例数は最低60人、最高464人である。両者は身長と思春期成長期までは正の相関関係がある。しかしそれ以後、男子は負の相関関係を示しそして女子では独立な関係となっている (Fig. 3)。男女共に加齢ともなって相関は強くなり、身長の最大増加の時期には弱くなる。そして、その直後に両者の相関は正から負に切り替わっている。身長の最大増加年齢までの TW 2 骨成熟の過程は橈骨は F まで、尺骨は D まで、そのほかの管状骨は E までの段階である²¹⁾。この段階の骨成熟は骨端の骨幹に対する相対的なサイズが増大していく時期である。身長の最大増加時期以降の年齢に相当する骨成熟過程は骨端軟骨の癒合の前兆の G 段階そして骨幹、骨端の癒合の時期である H 段階である。したがって骨端が活発に成熟している F 段階までの間は骨端軟骨での軟骨細胞の増殖、肥大が活発な時期である。そして次の G 段階からは骨端軟骨の活動が休止する時期であると考え、この相関係数の変化のパターンを説明できる。この相関係数の正から負への切り替わりは骨成熟に働きかける成長ホルモン・IGF-I から性ホルモンへの切り替わりに対応している⁸⁾。骨成熟速度と身長成長速度が正の相関関係から負の相関関係へ切り替わることにはつぎのように推測できる。すなわち、脳での体液性調節機構が身長成長にネガティブ・フィードバックをかけて骨成熟度に応じて個人の最終的なターゲットである成人身長をコントロールしているのである。

本研究は成熟過程あるいは最終段階の骨成熟の情報だけからでは最終身長を予測することの難しさを示唆した。思春期前の時期では成人身長は身長成長速度と関係があり、同じ時期には身長成長速度は骨成熟速度と相関していることから、TW 2 法での成人身長予測式は RUS 骨年齢に加えて暦年齢、身長現量値、身長成長速度、骨年齢増加量を採用している²¹⁾。このように量的な情報に骨成熟のような質的な情報を加えることによって成人身長の予測精度は上がっている。骨成熟がどれくらいの重みをこれらの情報のなかでもっているかを検討することによって、骨成熟と成人身長の新たな関係が浮かび上がるかも知れない。

まとめ

この研究では1,230人の児童生徒(6.5~17.5歳)の縦断的成長資料から身長成長と骨成熟を分析した。まずはじめに成人身長と骨成熟完了に焦点をあてた。従来からの、骨成熟が早熟な子どもは小さな成人身長にとどまる、という仮説を検討した。結果的に成人身長は骨成熟完了年齢との間に男子で $r=0.02$ 、女子で $r=-0.01$ という相関係数しか示さなかった。すなわち仮説を受け入れることはできなかった。しかし、骨成熟完了年齢と身長最大増加 (PHV) 年齢および PHV 時の骨成熟速度とのから次のことが分かった: 思春期に身長が大きく伸びた子ども、さらに身長が最大に伸びているときの骨成熟の速度が速い子どもはより早い骨成熟の完了を迎える。つぎに身長成長と骨成熟経過の関係をみた。

身長最大増加の時期だけに、弱いながらも、骨成熟速度が早い子どもは低い成人身長にとどまるという関係が見えた。身長の成長速度と骨成熟速度の関係を年齢で追ってみると次のことが明らかになった: 両者の関係は思春期までは次第に正の相関関係が強くなっていくのが PHV 期に向っては弱まり、PHV 期以後は負の相関関係になっていく。このような PHV 期前後での骨成熟と身長成長の逆転現象は成長・成熟に関係したホルモンの分泌機序に対応している。すなわち成長ホルモン・インシュリン様成長因子から性ホルモンへの切り替わりである。そして体液性調節機構が身長成長にネガティブ・フィードバックをかけて骨成熟度に応じて個人の最終ターゲットである成人身長をコントロールしていると考えた。

文献

- 1) Acheson RM, and Hewitt D (1954) : Oxford child health survey. Stature and skeletal maturation in the pre-school child. Brit J prev soc Med 8 : 59-65.
- 2) Bayley N, and Pinneau SR (1952) : Tables for predicting adult height from skeletal age : revised for use with the Greulich-Pyle hand standards. J Pediat 40 : 423-441.
- 3) Beunen G, Ostyn M, Simons J, Renson R, Van-Gerven D (1981) : Chronological and biological age as related to physical fitness in boys 12 to 19 years. Ann Hum Biol 8 :

- 321-333.
- 4) Bielicki T, and Hauspie RC (1994) : On the independence of adult stature from the timing of the adolescent growth spurt. *Am J Hum Biol* 6 : 245-247.
 - 5) Garn SM, Rohmann CG, Apfelbaum B (1961) : Complete epiphyseal union of the hand. *Am J Phys Anthropol* 19 : 365-372.
 - 6) Gasser T, Köhler W, Müller HG, Largo R, Molinari L, Prader A (1985) : Human height growth : correlational and multivariate structure of velocity and acceleration. *Ann Hum Biol* 12 : 501-515.
 - 7) Hauspie RC (1980) : Adolescent growth. (Ed.) Johnston FE, Roche AF and Susanne C (In) *Human Physical Growth and Maturation: Methodologies and Factors*, Plenum Press, New York, pp. 161-175.
 - 8) Hauspie R, Bielicki T, Koniarek J (1991) : Skeletal maturity at onset of the adolescent growth spurt and at peak velocity for growth in height : a threshold effect? *Ann Hum Biol* 18 : 23-29.
 - 9) Malina RM, and Bouchard C (1991) : *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Human Kinetic Books, Champaign, p. 101.
 - 10) 文部省体育局 (1981) : 昭和54・55年度体力・運動能力調査報告書。文部省体育局, 東京。
 - 11) 文部省体育局 (1994) : 平成5年度体力・運動能力調査報告書。文部省体育局, 東京。
 - 12) Murata M (1992) : Characteristics of pubertal growth in Japanese children from the standpoint of skeletal growth. *Acta Paediatr Jpn* 34 : 236-242.
 - 13) 村田光範ほか (1993) : 日本人標準骨成熟アトラス—TW2に基づく—。金原出版, 東京。
 - 14) Prakash S, and Pathmanathan G (1992) : Differences in adult height between well-off North-west Indians and Britains as a product of lower height gain per unit bone maturity advance during the adolescent years. *Ann Hum Biol* 19 : 125-132.
 - 15) Roche AF, and Davila GH (1972) : Late adolescent growth in stature. *Pediatrics* 50 : 874-880.
 - 16) Takai S (1981) : Sexual dimorphism in somatic growth viewed from the skeletal maturation. *医学研究* 51 : 225-237.
 - 17) 高井省三 (1990) : Tanner-Whitehouse 2 (TW2) 法による平滑化骨成熟曲線とその応用。解剖学雑誌65 : 436-447.
 - 18) 高井省三, 篠田謙一 (1991) : スプライン平滑化成長速度曲線による小児期・思春期スパートの解析。筑波大学体育科学系紀要14 : 119-130。
 - 19) Takai S (1993) : Velocities for the Tanner-Whitehouse 2 skeletal maturity in northwest Japanese children. *Okajimas Flolia Anat Jpn* 70 : 119-126.
 - 20) Tanner JM, and Whitehouse RH (1982) : *Atlas of Children's Growth : Normal Variation and Growth Disorders*. Academic Press, London.
 - 21) Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy MJR, and Goldstein H (1983) : Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method). 2nd ed. Academic Press, London.