

〔総 説〕

Scammon から Fujimmon の発育曲線へのアプローチ

藤井 勝紀

(愛知工業大学大学院経営情報科学研究科)

An Approach to Fujimmon's Growth Curve from Scammon

Katsunori Fujii ¹⁾

【Abstract】

Why do the proportions of the human body change with age? The essential meaning of that question cannot be understood without unraveling the process of human evolution. Moreover, even if the mechanisms of evolution were to be elucidated, the reasons why proportions must be changed or why we must evolve in that way and how far humans will continue evolving are likely to remain mysteries. However, the mechanisms for the changes in human body proportions can be explained. This review explains not only the mechanisms for changes in body proportion but also, to construct a standard growth system for humans, confirms the reverification process of the growth curves proposed by Scammon almost 90 years ago and seeks to solve problems by offering the Fujimmon growth curves proposed by the author. In addition, the Fujimmon and Scammon growth curves are described on the same scale and the two are compared. The results indicate the basic ambiguity of curves described freehand and the clarity from the exactness provided by the mathematical functions described by the wavelet interpolation model. The validity and efficacy of the Fujimmon growth curves are then shown.

Keyword : Fujimmon's growth curve, Scammon's growth curve, Wavelet Interpolation Method

キーワード : Fujimmonの発育曲線, Scammonの発育曲線, ウェーブレット補間モデル

1) *Aichi Institute of Technology*

I. 緒 言

野生動物の馬やキリンの赤ちゃんは出生後すぐに動き回ることができる。これは外敵への防御として野生動物に備わってきた進化の結果と解釈されてきた。しかし、高等動物になればその進化は異なり、霊長類であるサル（霊長目、人科：ゴリラ、チンパンジー、オランウータン）は出生後は何もできない「能なし状態」である。ヒトもこれと同じで生後約1年経ないと歩くことはできないのである。このような状況を見て、Portmann (1961) は、人間は生まれた時は全く能なしであり、生理的早産であると述べていることはあまりにも有名である。人間は約20年ほどで成体になるが、霊長類では最も遅い。つまり、ヒトの進化過程から判断すれば、出生時の「能なし」状態に意味があるのである。藤井 (2013b) は、四足動物でも大型の場合、体重は2年程度で成体となり、その体重発育曲線はヒトの発育曲線とは異なり、神経型のような発育曲線を示すと述べている。つまり、ヒトで言う思春期がないのである。実は、藤井 (2006a) はヒトの身長発育曲線から思春期ピーク（思春期最大発育速度：Maximum Peak Velocity）年齢、いわゆる MPV 年齢を特定することで思春期を明確にしてきた。これによってヒトには必ず明確な思春期ピークが出現することを示した。そこで、藤井 (2013b) (2016) は霊長類であるニホンザルの身長発育に対してウェーブレット補間モデル (1999) (2006a) を適用して記述した結果 (図1)、ヒトほど長くはないが僅かな思春期ピークを認めた。ゴリラやチンパンジー等の場合は寿命もニホンザルよりも長く、ヒトに近いことから思春期ピークは明確と推測できるが、発育データがないので分からない。

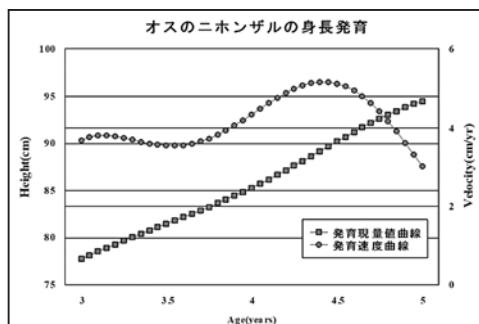


図1 ウェーブレット補間モデルによるニホンザルの身長発育 (藤井)

ところで、藤井 (2013b) が動物の発育について調べた内容では、哺乳類における四足動物の発育は身体部位による発育パターンの違いはなく、画一的に発育することを明確にした。要するに、プロポーションの変化がないのである。例えば四足動物では生まれた時のプロポーションと成体でのプロポーションに大きな変化はない。しかし、ヒトは出生時と成体でのプロポーション（頭身変化）は大きく違う。ヒトの場合成体で7～8頭身が多いが、出生直後は4頭身程度である。このような身体のプロポーションの変化はヒト特有かもしれない。それでは、ヒトは何故成長における身体のプロポーションに変化が生起するのであろうか。ヒトの発育は明らかなように、頭の大きさは四足動物のように発育の前半で成体に近くなるが、身体の大きさはそれ以後も発育を継続することで、相対的にプロポーションの変化が生起するのであろう。ニホンザルからゴリラ、ヒトへの進化過程の中で、完全な直立二足歩行というヒト独特の行為がプロポーションの変化を可能にしたと言えよう。つまり、ヒトにとって脳の発育は重要な位置づけであり、脳を保護し、充実した成長を成就するためには思春期と言う時期が必要であり、この時期にヒトとしての脳の活性化を図る必要があると推測できる。したがって、今日のヒトのプロポーションの変化が定着化したわけである。

霊長類以前の哺乳類、特に四足動物等はその成長パターンは1パターンである。プロポーション変化も認められないので、藤井 (2013b) によれば、Scammon の発育曲線 (1930) を引用すると神経型と一般型の混合型のような成長パターンを示している (図2)。つまり、ヒトと異なり成体への成就期間が短く、脳と身体が画一的に成長するためと考えられる。しかし、どちらかと言えば神経型に近い発育パターンと言える。それは速度曲線を観察すると分かるように、早い時期に速度のピークを検出していることで理解される。Scammon (1930) がヒトの発育を4つのパターンに分類してグラフ化したのは、このようなヒトの発育が画一的でなく、プロポーションの変化が生起するべく各部位で発育のパターンが異なっていることが起因となっている。画して、Scammon (1930)

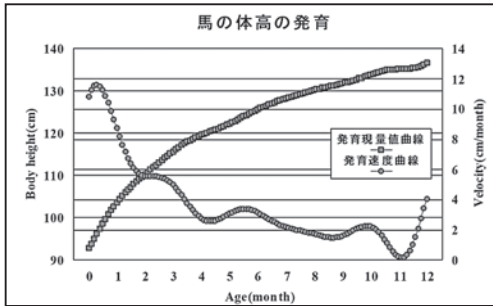


図2 ウェブレット補間モデルによる
馬の体高の発育 (藤井)

はヒトの身体発育を大きく4つに分類したが、客観的な根拠があって4つに分類したわけではない。つまり、大雑把に身体の大きさに含まれる一般型の諸属性、神経系の諸属性、リンパ系の諸属性、そして生殖系の諸属性を思いついたのである。記述された曲線はフリーハンドで描かれたものである。Scammonの発育曲線についての詳細は藤井(2015a)(2016)、Fujii(2017)が説明しているのでここでは割愛する。いずれにせよ、Scammonの発育曲線が提唱されて90年近く経緯している。コンピューターの存在しない時代に構築された理論である。科学万能の現代において、90年近く経過した理論がはたして有効なのか当然検証されるべきである。しかし、今まで明確に検証された報告はない。その理由は検証すべき方法論が確立されてこなかったことが挙げられる。

その方法論とは、縦断的、横断的を問わず、発育曲線を科学的に解析できる手法である。この論議は次項に委ねるが、要するに、発育現量値曲線から微分としての速度曲線を記述できる手法が確立できることである。このような背景から、先ずヒトの発育システムの標準化を検討するためにScammonが提唱した理論を再度検証することが可能となった。そして、数学関数による発育曲線の記述が可能となったことで、発育パターン間での類似性と相違性を検証することができる。このような科学的な方法論が確立することで、ScammonからFujimmonの発育曲線への道筋が明らかにされてきた。本総説はこの一連の経緯を論述するものである。

II. Scammonの発育曲線の利便性

Scammon(1930)が提唱した発育曲線については、藤井(2013a)がすでにその内容を述べているので詳細は割愛するが、Scammonの発育曲線の利便性を論じる前に簡潔に触れておくことにする。Scammonは、脳重量(脳全体の重さ)を基本に、小脳、眼球等の発育をグラフ化し、出生後急激に発育し、幼少期にはほぼ停滞を示す発育パターンを提案し、神経型と名付けている。また、リンパ様組織の発育について、特に胸腺重量の発育をグラフ化し、神経型と同様に出生後急激に増大し、思春期に現量値のピークを示し、成人になると相対的には減少しているが、成人値を100%とすれば、思春期ではほぼ200%近くなる発育パターンを示すことを提案し、リンパ型と名付けている。そして、生殖組織に関する内臓の発育について、睾丸、卵巣、前立腺等の発育をグラフ化し、幼少期にはほとんど増大しないが、思春期になると急激な増大を示すパターンを提案し、生殖型と名付けた。残るは身体大きさや、それに含まれる臓器、骨格筋等の発育は乳幼児期までは神経系型と同じように急激に発育し、その後定常状態になり、再び思春期といわれる12、13歳頃から急増するS字状のシグモイド曲線を示すことを提案し、一般型と名付けた。しかしながら、Scammon(1930)は当初からすでにリンパ型に属する甲状腺、下垂体、胸腺の発育パターンが少し異なることを述べている。胸腺に関しては彼が描いたリンパ型のモデル曲線と似ているようであるが、他の甲状腺、下垂体重量の発育は全く異なった曲線を示している。このようにScammonはすでにリンパ型の発育パターンがすべてのリンパ様組織に当てはまらないことを示しており、彼が提唱した発育曲線はあくまでもある一定の事実による推定から導かれた仮説のモデル曲線であり、科学的な検証は成されていないといえよう。

要するに、Scammonの発育曲線は仮説のモデルなのであり、何故、このような仮説の理論である発育曲線が90年近くも都合よく利用されてきたのであろうか。先ずは、ヒトの発育の概観を説明するには非常に都合よく便利であることがある。実はこれまで、Tanner(1962)(1978)をはじめ

として、木村 (1966)、高石ら (1981) の著書にも Scammon の発育曲線が活用されている。

近年では Malina and Bouchard (1991)、松尾 (1988)、浅井 (2001)、彼末と能勢 (2011)、松浦 (2005) の著書の中にも引用され活用されてきた経緯がある。筆者が関係した著書 (1982) (1990) (2006a) (2008) にも必ず Scammon の発育曲線を引用した。このように都合よく活用されてきた Scammon の発育曲線であるが、もし仮に Scammon がヒトの発育曲線を提唱していなければ、それぞれヒトの諸属性の発育を解析しなければならず、この作業は膨大でラボリアスな労作を我々研究者に課すことになろう。しかし、Scammon がすでにヒトの発育の概観を述べているので、コンピューターが出現するまではそれで十分であった。例えば、神経型の発育パターンを引用すれば、良く俗にいう「三つ子の魂百まで」という諺があるが、その意味するところは、「生まれ持った性格、つまり乳幼児期に躰けられた性格は年をとっても変わらない」ということなのだが、この事象は神経型パターンで非常に都合よく説明できるわけである。脳の神経細胞の活発化がこの時期であれば、乳幼児期にヒトとしての基本的な人間形成を完了しないと成人になってからでは身につかない例として挙げられている。Gesell A (生月雅子; 訳, 1967) の著、「狼にそだてられた子」は正にそのことを如実に物語っているといえる。この Gesell の著書についての顛末は後段で述べるとして、このような諺の都合の良い説明は正に教育的な効果は十分であるといえる。

つまり、コンピューターの出現していない世界では、遺伝か環境の重要性のどちらかを判断できないわけである。したがって、生まれ持った性格とは遺伝的な意味なのか、乳幼児期の躰で身につく人間性なのか曖昧なのである。このような曖昧さに Scammon の発育曲線は都合よく適用できたのではないだろうか。

神経型パターンの引用だけでなく、リンパ型パターンにおいても思春期に生起するニキビの説明も胸腺活動のピークによるリンパ様組織の活発化が招く現象として非常に説明しやすい。八木 (2003) によれば、児童期にほぼ免疫機能は成就

することから、胸腺の発育は出生時では他の臓器と比べて不釣り合いに大きい、その後急激に増大し、思春期以後はその任を終え、減少局面に入ると説明している。つまり、このような機能は胎内環境から出て直ちに外界の細菌や異物に対して反応しなければならず、このような免疫の役割に対応した人の進化システムと考えられるのである。生殖型パターンであれば、思春期に急に乳房の増大や恥毛発現、陰茎の増大等は正に説明しやすいといえる。身体の大きさなどは一般型パターンで説明しやすいように、思春期スパート現象を容易に説明してきたわけである。このような便宜的都合の良さの説明の中でも、最も利便性が強い説明はヒトのプロポーション変化の解釈であろう。

もし Scammon の発育曲線の理論がなければプロポーション変化を検証することは極めて困難であったと考えられる。それは、縦断的な身体発育のデータの必要性と頭高 (顔高) の縦断的発育も必要である。そして、これら縦断的データを解析する方法論が必要となる。縦断的データを取ることは不可能ではないが、縦断的データ解析の手法の確立が極めて困難であったことは事実であろう。しかし、このような労作を経ずに Scammon の発育曲線がすでにプロポーション変化を説明しているのである。便宜的に説明できたからと言って、ヒトのプロポーション変化を科学的に検証したわけではない。やはり、縦断的データの解析手法の確立が重要課題となる。

もちろん、縦断的発育データの解析手法の確立は今日のコンピューター出現の現代科学においては必須事項である。しかし、Scammon の発育曲線が公表された当時は人体における多くの諸属性データが取得できたメリットがあったが、現在は人体解剖における腑分けが禁止されるようになり、人体の内臓を含めた諸属性データの取得が不可能になった影響は大きい。このような事情によって、Scammon の発育曲線が今日まで都合よく利用されてきた背景がある。その延長上に Scammon の発育曲線の再検証が困難であった事実はある。さらには、Gesell (生月雅子; 訳, 1967) の「狼にそだてられた子」が近年まで事実として信じられてきた背景もある。前項でも述べたように、

Gesell (生月雅子; 訳, 1967) の著と神経型パターンが非常にマッチしているために、教育的な生産性が高いことで再検証が遅れてきた経緯があると推察できる。しかしながら、狼にそだてられた子の話は鈴木 (2008) によってその事実が覆された。これは現代科学によって狼の母乳と人間の母乳の質的成分が異なることで判明した知見であり、さらに、狼の生態が研究されてきて、狼の子どもは親と長い期間一緒に暮らすことはないことが分かった。そして、その結果、狼にそだてられた子の話は事実ではないことが明確化されたのである。このように、現代科学によって新たな進展がある以上、人体諸属性データが取得できないからといって、仮説である Scammon の発育曲線が検証できないはずがないのである。事実、藤井 (2015b) はその試みとして、ウェーブレット補間モデルを適用し、身長発育の解析と同時に、頭囲の発育を解析してプロポーションの変化を検証した経緯があるが、残念ながら横断的データであるために、個々人に対して適用できる可能性を示した知見ではあったが、解析手法上の問題は解決できたように考える。この手法上の課題については次節で論じていくことにする。

Ⅲ. 発育曲線解析の方法論

Tanner (1962), Tanner et al (1966) は自ら縦断的資料に対して graphic method を提唱し、発育学に多大な貢献を果たしてきた事実がある。また、アロメトリー方式も考えられているが、しかしながら、発育・発達学の科学的基盤成就のために普遍的法則性を導くための手法理論は未だに確立されているとはいえず、その模索として発育曲線に対して数学的関数を当てはめる試みは graphic method と共に存在してきた。今日の現代科学において発育学の現象解明において、普遍的法則性へのアプローチを探る鍵として数学関数の適用議論は現代のコンピューター社会において重要な意味を持つと考えられる。そして、このような議論の延長上に本総説の意義が示されることになる。

これまで発育現象を記述するための数学関数に関しては、古くはロジスティック関数、ゴンベル

ツ関数、複合ロジスティック関数、カーネル関数等が試みられてきた経緯がある。この経緯については Fujii (2006a) がその詳細を提供している。

しかし、いくら数学関数適用による発育曲線の記述を試みようとも、発育現象の真の姿が見えていないために、適用された数学関数が何を示しているのか、その点が明確にされないことではないだろうか。つまり、現在までのところ真の人の発育曲線は不明である。したがって、従来まで試みられてきた数学関数の適用研究は、観測されたデータ点を繋ぐ生の曲線に対して全く当てはまっているか (どの程度 fitting の精度がいいか) を検討してきたわけである。そして、そこには観測データ点を繋いだ曲線が、発育現象のマクロ的な実態であることを前提とした理論的背景を構築している。例えば、logistic モデルの適用に関しては、Scammon の発育モデルにあるように、生の観測データによる曲線が S 字状のシグモイド曲線であることがその適用背景にある。しかし、Scammon の発育モデルの中には、S 字曲線を示さない曲線モデルもあり、このモデルに関しては関数の適用例はあまり示されていない。また、別の角度から、標準発育モデルの作成にあたって、曲線の滑らかさを求めるために適用された polynomial 系の関数もある。いずれにしても、数学関数適用の理論的背景は、観測データによる生の曲線の概観から判断されているわけである。

そこで、もう一度発育現象に対して数学関数を適用する場合の仮定を考えてみると、発育現象は本質的には細胞の増殖によるものであり、本来は不連続な数値となるが、それを連続な数値を取るものと仮定するところから数学関数適用の条件が構築されるわけである。そして、発育は生まれてから常に増殖し続け、経験的には 20 歳前後で停滞することになる。もちろん、形質によっては異なるが、そのプロセスが sigmoid と呼ばれる S 字状曲線を形成することに、関数 (特に、logistic モデル) 適用の理論的根拠が見いだされるわけである。また、グラフィック的に発育曲線の滑らかさを求めようとした根拠に対しては、polynomial 系の関数適用が考えられた。しかしながら、これら数学的関数の発育曲線に対する fitting の精度や、

適用に対する理論的根拠の問題等、十分に検討されているとは言えない。

Togo and Togo (1982) (1988), Kobayashi and Togo (1993) は、身長を月 1 回測定、1 日 1 回測定というように、測定間隔を狭めていった研究を行った。通常は 1 年に 1 回か 2 回程度の測定値を関数適用に使っている。Togo and Togo (1982) (1988), Kobayashi and Togo (1993) のように測定間隔を狭めていくと、発育曲線の概観が全く異なった様子を示すようになる。つまり、波動現象を示すわけである。このように、測定間隔を狭めるという、発育現象を異なった角度からアプローチすることにより、全く別の現象が生起することになる。しかし、測定間隔が異なることにより、発育現象が本質的に異なるとは考えられない。そこで、筆者は東郷のアイデアをさらに発展させ、時間軸に沿って無限に分割していく測定点というものを考えた。その測定点に対し時間軸を拡大、縮小することにより、その測定点を結ぶ曲線は自己相似的な曲線を形成するのではないだろうか。このように考えると、測定間隔の違いによる発育の概観が理論的に説明がつく。ところが、逆にこのような事情を説明できる数学関数を構築することは難題である。このような発育現象に従来までの数学関数を適用することはすでに無意味といえる。このように、新たな発育現象に対する理論的背景の構築を検討することが今後の課題といえるのではないだろうか。筆者はすでにこの理論的背景に対して独自のアイデアを展開して、この理論的背景を満足するための手法としてウェーブレット補間モデルを提唱してきた。

発育現象適用へのアイデアとして、筆者がウェーブレット補間モデルを提唱した背景には近年における数学系、工学系での活用が影響されているが、その理論的背景が実は以前から知られているものであり、特に、現在話題を提供しているカオス、フラクタルと非常に密接に関係している点にある。筆者 (1994) (1995a) (1995b) (1996a) (1996b) (1998a) (1998b) (1999) (2006a) はウェーブレット補間モデルを導入することにより、身長をはじめとして体格の発育パターンを解析したり、身長の思春期ピーク年齢を MPV (Maximum

Peak Velocity) 年齢として特定することにより、成熟度の指標を導くことに成功した。また、筆者は身長の MPV 年齢を生物学的パラメーターとして位置づけ、女子スポーツ選手の初経遅延において、この生物学的パラメーターを基準として初経年齢とのズレから遅延を明確に判定し、初経後の月経痛症、月経困難症、無月経への繋がりを確立した (2003a) (2003b) (2005a) (2005b)。さらには、現在様々な発育現象への適用が試みられている (2006c) (2007) (2010) (2011) (2012a) (2012b) (2012c)。このように、ここでは発育現象適用への数学関数における歴史的経緯とその理論的背景の妥当性について議論し (2006b)、その延長線上に筆者が提唱したウェーブレット補間モデルを示唆したものである。このウェーブレット補間モデルによって、Scammon の発育曲線の信憑性 (2013a) (2015a) が論じられ、再検証が試みられてきた。この延長上に Fujimmon の発育曲線が提示されることになる。

IV. ヒトの発育システム標準化のパターン論議

発育とは、出生後から成人までの形態の量的時間的変異であると定義したのは、筆者 (2006) が木村 (1966) の成長の定義を改定し、提示した内容である。つまり、発育とはヒトの形態を扱い、時間的増大を意味する言葉である。したがって、形態に限ってその発育システムの標準化を構築しようとすれば、古典的な Scammon の発育曲線の発想が思いつくのである。しかし、緒言から述べてきているように 90 年ほど古い理論であり、発育システムとして標準化される客観性が備わっているか、その点は大きな問題と言える。実は、前項でも述べたように、ヒトの諸属性のデータが確保できないのはこの問題を解決する大きな障壁となっていることは事実である。現に、小林 (2003) は臓器の発育を扱った研究が如何に少ないかを述べており、馬場ら (1967) が出版した「成長の形態学」の中で、満川らが報告した臓器重量発育値が貴重な資料となっているが、それ以後、本来の目的以外の遺体解剖が禁止されたことにより臓器別の発育が研究され難くなったことを要因としている。小林 (2003) は満川と吉村が東京都監察医務

院において解剖した検体 868 例を用いて報告された月齢別、年齢別の各臓器重量の平均値に基づいてグラフ化しているが、結局は発育現量値曲線のみに依存しており、速度曲線という客観的な評価ができないのである。一方、保志（1988）は Scammon の発育曲線の改訂版を作成したが、客観的な検証がなされたわけではない。

Fujii（2017）は、Scammon の発育曲線を再検証するために、自ら提唱したウェーブレット補間モデルを適用し、各臓器の発育速度曲線を導くことによってその信憑性を客観的に検証した。また、Scammon は 4 つの諸属性の発育パターンを提唱したが、その 4 パターンが類似しているのか、相違性なのか全く検証された経緯はない。このことは発育システムを標準化するために極めて重要な視点になると考えられる。発育パターンとして類似しているのであればパターンを分ける必要はないのである。そこで、藤井（2016）、Fujii（2017）はパターンのモデルタイプについて、類似性と相違性を検証した。図 3、4 は一般型と生殖型のモデルタイプの発育現量値と速度曲線であり、このグラフ間の相互相関関数を示したグラフは図 5 である。一般型と生殖型のモデルタイプ曲線の相互相関係数は $r=0.94$ で、明らかな類似性を示した。この事実は神経型、リンパ型、一般型の 3 パターン、もしくは神経型、リンパ型、生殖型の 3 パターンなら成立できるが、一般型と生殖型を同次元には設定できないのである。

そうならば、一般型に生殖型を含めることで、一般型として扱うことが提案される。つまり、神経型、リンパ型、一般型の 3 パターンの分類を考え、生殖型は一般型の中の生殖タイプとして含めることで発育システムを標準化できないであろうか。もともと Scammon は一般型を構成するときに、神経型、リンパ型、生殖型以外の諸属性を一般型として扱ってきた形跡がある。それは、一般型として分類される臓器の中には、甲状腺、副腎や睪臓のようにホルモン分泌に関わる臓器もあれば、体表面積や身体の高さを示す身長、体重のような属性もあり、これらの諸属性をすべて同じ分類として扱うことに無理があるのである。例えば、下垂体のようなホルモン分泌に携わる臓器な

どは、脳内に位置しているにも拘わらず、神経型のパターンを示しているわけではない。すでに、Scammon はヒトの標準的発育曲線を提唱した当初からこのような問題を示唆していた。したがって、非常にあいまいな基準によって提唱されたヒトの標準的発育曲線であるので、藤井（2015a）（2016）、Fujii（2017）は、このような点を科学的

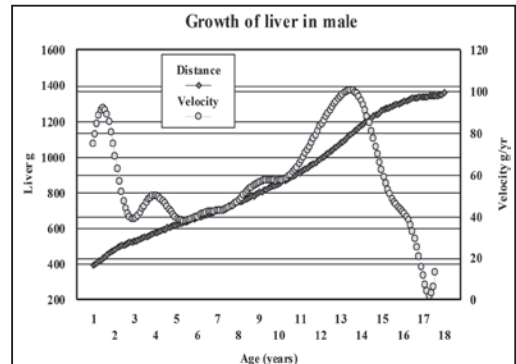


図3 ウェーブレット補間モデルによる肝臓の発育曲線（藤井）

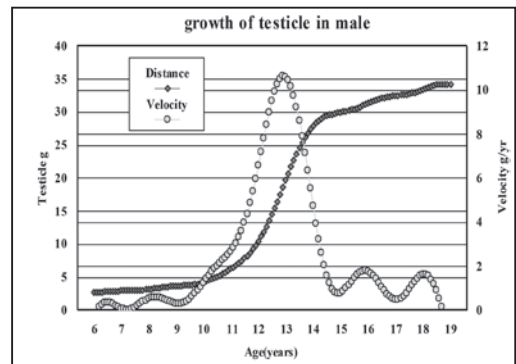


図4 ウェーブレット補間モデルによる睾丸の発育曲線（藤井）

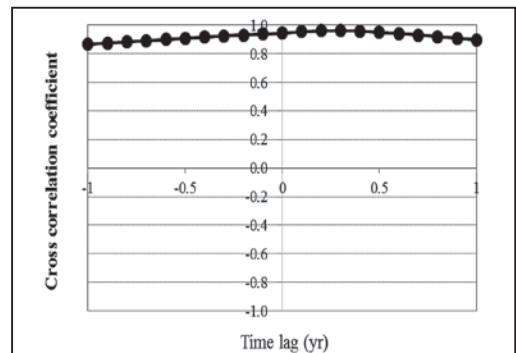


図5 肝臓と睾丸の相互相関関数による相関係数（藤井）

に検証し、神経型、リンパ型、一般型の3パターンを提唱し、一般型の中に生殖タイプ、内臓タイプ、形態タイプを分けることを提案した。

この提案の根拠は、図6、7に示された臓器の下垂体および形態としての体表面積の発育グラフであるが、下垂体の発育は確かに神経型パターンではなく、一般型でもないことが明確に示されている。さらに、心臓や肝臓と脾臓や図8に示された甲状腺の発育速度の挙動が同じようなパターンを示すわけではない。そこで、表1は男女における各臓器のMPV (Maximum Peak Velocity) 年齢を示している。この表によると、MPV 年齢は各臓器で異なり、大雑把に判断すれば、女子のほうが早くなっているようである。しかし、形態のMPV 年齢、身長、体重は明確に女子が早くなっており、身長のMPV 年齢(生物学的パラメーター)のように成熟度の指標として位置づけられている属性を基準とすれば、形態の諸属性は身長発育に非常に近い発育を示しており、形態タイプという範疇が提案される。そして、各臓器のMPV

年齢から判断すれば、MPV 年齢のバラツキが明らかであり、これは発育速度の挙動のバラツキであり、バラツキを含めた臓器タイプという範疇で括れると考えられる。さらに、図9は臓器としての甲状腺と睾丸発育曲線の相互相関関数を示したものであるが、 $r=0.47$ 程度を導いており、決して高い類似性を示しているわけではなく、生殖型パターンであった睾丸と各臓器間の相互相関係数において $r=0.94 \sim 0.47$ のバラツキを考慮すれば、生殖型パターンを独立した範疇にする必要はないと考えられる。画して、Fujii (2017) は図10に示されるように Fujimmon の発育曲線を発育システムの標準化として提唱したのである。

図10は Fujimmon の発育曲線として提唱された神経型、リンパ型、一般型発育パターンの曲線である。これら3パターンの曲線記述は、筆者(2006a) が提唱したウェーブレット補間モデルによって描かれていることに留意されたい。従来の Scammon の発育曲線と比較すると、神経型パターンは幼児期でほぼ成人値近くにまで発育が完

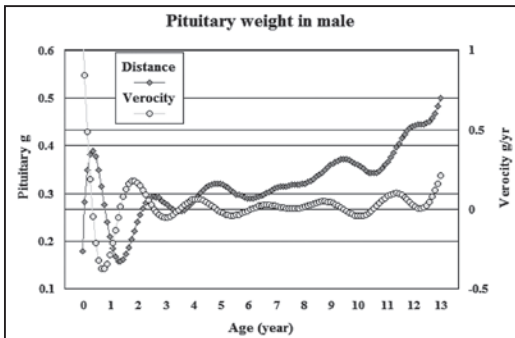


図6 ウェーブレット補間モデルによる下垂体の発育曲線(藤井)

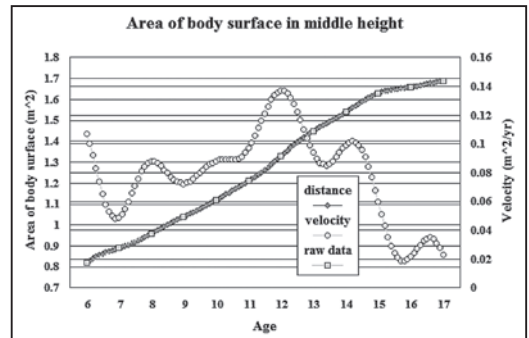


図7 ウェーブレット補間モデルによる体表面積の発育曲線(藤井)

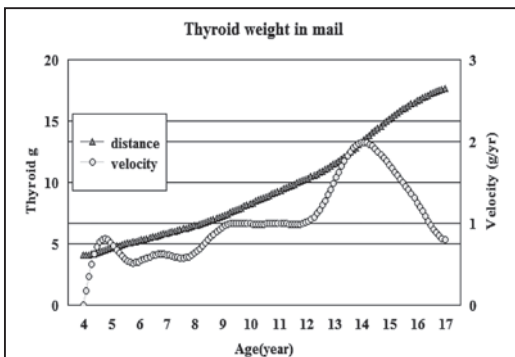


図8 ウェーブレット補間モデルによる甲状腺の発育曲線(藤井)

	MPV 年齢(歳)	
	男子	女子
脾臓	12.8	13.5
甲状腺	14.1	11.7
副腎	12.0	12.6
脾臓	12.5	12.8
睾丸	12.9	
心臓	12.6	12.2
肺臓	12.8	12.6
腎臓	13.2	11.5
肝臓	13.5	12.8
身長	14.3	11.5
体重	14.3	12.0

表1 男女における各臓器のMPV 年齢(最大発育速度年齢)

睾丸		
	発育現量値曲線	発育速度曲線
甲状腺	0.936	0.596
腎臓	0.941	0.923
体表面積	0.917	0.594
脾臓	0.953	0.915
脾臓	0.917	0.778
副腎	0.931	0.555

表2 睾丸と各諸属性との相互相関係数

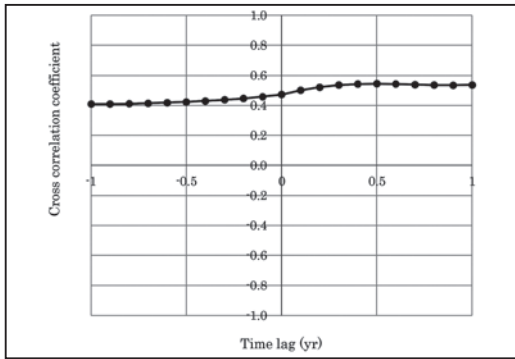


図9 睾丸と甲状腺の相互相関関数による
相関係数(藤井)

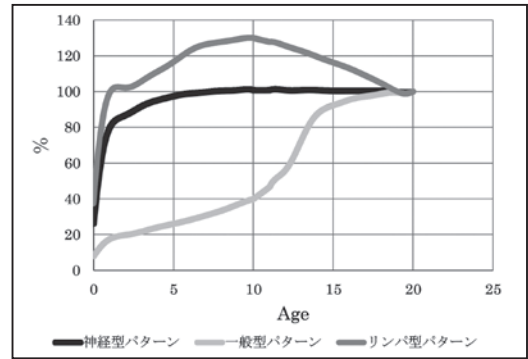


図10 ウェーブレット補間モデルによって記述された
Fujimmonの发育曲線

了している点である。リンパ型パターンは思春期に200%まで发育をするわけではなく、130%程度までが发育のピークと考える方が妥当であろう。一般型パターンは従来の Scammon の发育曲線における一般型パターンとそれほど大きく異なっているわけではない。しかし、シグモイド状が Scammon の一般型发育パターンほど極端に形成されてはいない。この点はフリーハンドとウェーブレット関数で描かれた曲線との違いといえる。ところで、図11はFujimmonの发育曲線における一般型パターンを形態型タイプと生殖型タイプに分けてグラフ化したものだが、現量値曲線だけを見れば一見タイプが異なっているように見えるかもしれないが、実は、これら両タイプの平均的な曲線のタイプが一般型タイプとなっており、内臓型タイプでもある。したがって、一般型タイプの特徴的な現象は思春期ピークが出現することであり、この代表的な特徴が示される以上、生殖型タイプを一般型パターンと区別する必要はないと考える。

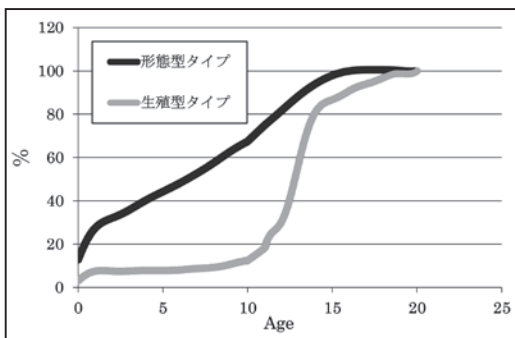


図11 新たに提唱されたFujimmonの发育曲線の
一般型の中で形態と生殖型タイプ

V. Fujimmon と Scammon の比較发育曲線

図12はFujimmonとScammonの发育曲線を同じスケールで記述したグラフである。Fujimmonの发育曲線を単独で判断しても良く分からないが、同じスケール上で両发育曲線モデルを比較するとその違いが良く分かる。前項でも述べたように、神経型パターンはFujimmonの方が早く成人値に達しているのに対して、Scammonでは緩やかに成人値に達していることが明確である。このFujimmonとScammon比較发育曲線で特筆できることはリンパ型パターンである。リンパ型パターンについては従来から議論はあった。しかし、その議論についての客観性が保証できないために曖昧な議論で終始していたことは否めない。今回の比較发育曲線の提示によって、明らかにリンパ型パターンは成人値の130%程度が妥当と判断される。恐らく、Scammonはリンパ様組織の機能的な内容を含んで曲線を描いたのではないだろうか。もちろん、この点は推測であるが、彼自身、发育と発達の区別を明確にしていたわけではなく、彼

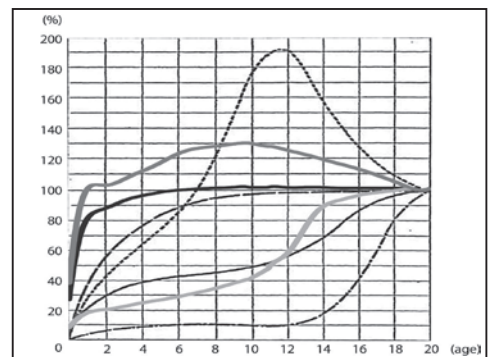


図12 FujimmonとScammonの比較发育曲線

が提唱したヒトの標準発育曲線は形態だけをイメージせずに、機能的な発達も視野に入れてイメージした感がある。そうでなければリンパ様組織の形態部分の発育が成人値の200%を示すことなどあり得ないと考えられるからである。さらに、神経型パターンについても成人値まで緩やかな曲線を描いているが、この点は当時の脳科学の分野が発展途上であり、脳のメカニズムは最近になって新たな知見が導かれたことを考えれば、1930年当時では神経系の発育については未知の部分が多く、フリーハンドで曖昧に描いたほうが無難であったかもしれない。

それでは、一般型パターンについてはどうなのだろうか。Scammonはフリーハンドで曲線を記述しているので、一般型と生殖型パターンは相違性があるようにグラフを調整することは可能である。現に、両パターンは相違性があるとして扱われてきたわけであり、形態のような身体の高さや内臓とは一線を画して異なるパターンを示すと見なされてきた。しかし、本総説で示したように、内臓の発育速度曲線の挙動にもバラツキがあり、形態要素の発育とも一線を画すべき知見が示されたのではないだろうか。そのような意味で一般型パターンについて、FujimmonとScammonの比較発育曲線を概観すると、Fujimmonの一般型パターンは生殖型パターンと非常に類似しているのである。この点は、再度検討する必要があるが、S-字状カーブとかシグモイド曲線というイメージが作られたために、そのイメージが先行した感がある。したがって、Fujimmonの発育曲線はウェーブレット補間モデルで記述していることを考えれば、一般型パターンの標準的な発育モデルを提供していると考えられよう。

Ⅵ. Fujimmonの発育曲線の妥当性

90年近く経過した現在でもScammonの発育曲線が都合よく活用されてきた背景には、ヒトの発育プロセスを説明するためには非常に都合の良い知見なのである。つまり、新たな提唱をしても、その提唱の理論が発育現象を説明するために都合が悪ければ、従来のScammonの発育曲線で十分である。本総説では、発育システムの標準化とし

てFujimmonの発育曲線を提唱した。そのためには、相互相関関数を適用した結果として、Scammonが示す一般型と生殖型を同一標準型パターンとしたほうが科学的な根拠を保障できると考えた。それは、神経型、リンパ型は思春期急増現象を示さないパターンであり、神経型が成人で最大値を示すのに対し、リンパ型は思春期で最大値を示すことは発育現象からも明白である。しかし、一般型と生殖型は共に思春期急増現象を示すタイプであり、標準型パターンとしての発育現象と考えれば、両属性を分類する明確な根拠に欠ける。Scammonの判断によれば、生殖型は出生から幼少期では一般型の属性よりも増大傾向が少なく、特に、思春期に一般型より急増を示すことが生殖型としての特徴として標準型パターンを設定した。この根拠は科学的には希薄である。一般型に属する諸属性も生殖型に属する諸属性もその発育変化率から判断されたわけではなく、現量値曲線の変化から判断したにすぎない。これでは生のデータを肉眼で観察したに過ぎず、全く客観性に欠けた見解である。実は、これら形態・内臓タイプと生殖型タイプの曲線はロジスティック曲線と近似する。ロジスティック方程式は微生物の増殖傾向に適用されてきた背景があり、今でも使用されている数学関数である。微生物の増殖傾向をロジスティック方程式の分母の係数が反映しており、この係数の変化によって曲線の様子が変化するのである。この両タイプの曲線もその変化の様子がロジスティック曲線の変化と類似している。したがって、ロジスティック曲線という数学関数の枠でこれら両形態・内臓タイプと生殖型タイプは同じ一般型タイプとして考えられるのである。

したがって、一般型の内臓発育と生殖型の睾丸発育における速度曲線の類似性が非常に高いと判断できた研究結果は、藤井(2015a)(2016)、Fujii(2017)によって初めて確認された知見と言える。そして、ヒトの発育システムの標準化としてFujimmonの発育曲線を提唱できたことは、神経型、リンパ型、一般型の3パターンが形成され、ヒトのプロポーションの変化は神経型に代表される頭部の発育と一般型に代表される身長発育の相対的な変化から検証できることを可能にしたこと

であろう。このように、Fujimmon の発育曲線が示す 3 パターンのヒトの標準的発育で、科学的にプロポーションの変化が説明できれば Fujimmon の発育曲線の妥当性が提唱できると考えられる。

VII. おわりに

何故、ヒトは身体のプロポーションが加齢とともに変化するのか。その本質的な意味はヒトの進化過程が解明されない限り分からない。仮に進化のメカニズムが解明されたとしても、何故プロポーションを変化させなければならないのか、また、何故そのような進化をしなければならないのか、ヒトは一体何処へ進化したのか、その理由は謎というしかないであろう。ただ、プロポーション変化のメカニズムは説明できる。それは、本総説で述べてきた Fujimmon の発育曲線によって、神経型と一般型の相対的な発育パターンで説明ができる。しかし、そのメカニズムの概観は説明できたとしても、科学的に検証できたわけではない。やはり、縦断的な身長発育と顔高の発育を解析しなければならないであろう。つまり、プロポーションにも個体差があるわけで、人の標準的なプロポーションとはどのような身体比率なのか基準が必要であろう。実は、ここで興味ある知見が示される。それは、レオナルド・ダヴィンチ (Leonardo da Vinci) のウィトルウィウス (Marcus Vitruvius Pollio) の人体図にその理想的な身体比率から導かれたモデルが示されているのである。この図の中に正に黄金比率と言われる 0.618 という数値が示されている。この数値については、以下に示すが、

$$r = (1 + \sqrt{5}) / 2 = 1.6180\cdots \text{あるいは} (1 / r) = (\sqrt{5} - 1) / 2 = 0.6180\cdots$$

実は、人体の地面から臍までの高さに対する身長の比率と考えられている。つまり、女性のウェスト・ヒップ比 (WHR) の 0.71 が最も魅力ある女性のボディと考えられている数値が黄金比と近似するわけである。もちろん、このような人体比率はレオナルド・ダヴィンチがウィトルウィウスという紀元前にローマで建築家として活躍した人物の書物から考え出した、ヒトの美しいとされる

プロポーションである。すべての人間がこれに当てはまるとは考えられないが、標準的なプロポーションと考えたらどうかであろうか。まずは、ヒトのプロポーションにおけるこの黄金比率を適用すれば、本総説における Scammon から Fujimmon の発育曲線への流れの中で、黄金比率を標準とすれば、子どもから成人への移行におけるヒトのプロポーション変化を旨く説明できるのではないだろうか。今後は、実際の人体比率の各要素がどのように変化していくかを検証することで、各年齢におけるプロポーションの詳細からヒトの身体黄金比率が検証できると考える。

参考文献

- 浅井利夫 (2001) 子どものスポーツ医学, 新興医学出版社, 東京.
- 馬場一雄編 (1967) 成長の形態学, 医学書院, pp19-22.
- 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, pp21-28.
- 藤井勝紀, 山本浩 (1995a) 身長の成熟別発育速度曲線の解析, 体力科学, 44 (3), pp431-438.
- 藤井勝紀, 川波憲一 (1995b) 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 P C V 年齢の検討, 学校保健研究, 37, pp450-459.
- 藤井勝紀, 松浦義行 (1996a) 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, pp247-260.
- 藤井勝紀 (1996b) Wavelet Interpolation Method による男子身長の M P V 年齢別平均発育速度曲線の解析, 東海保健体育科学, 18, pp31-40.
- 藤井勝紀 (1998a) 身体的発育現象における phase difference effect の検証, 東海保健体育科学, 20, pp75-84.
- Fujii, K. and Kawanami, K. (1998b) An analysis in regard to relationship between age at MPV of height and weight, and its sex difference. Japanese Journal of School Health, 40, pp317-331.
- Fujii, K. and Matsuura, Y. (1999) Analysis of

- the growth velocity curve for height by the Wavelet Interpolation Method in children classified by maturity rate. *Am. J. Hum. Biol.*, 11, pp13-30.
- 藤井勝紀 (2003a) 日本女子スポーツ選手における初経遅延の検証－ウェーブレット補間法による解析－, *体育学研究*, 48, pp523-539.
- Fujii, K. and Demura, S. (2003b) Relationship between change in BMI with age and delayed menarche in female athletes. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 22, pp97-104.
- Fujii, K. and Demura, S. (2005a) Confirmation of delayed menarche based on regression evaluation of age at menarche for age at MPV of height in female ball game players, *Environment Health and Preventive Medicine*, 10, pp48-54.
- Fujii, K., Demura, S. and Matsuzawa, J. (2005b) 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, pp15-22.
- 藤井勝紀 (2006a) 発育・発達への科学的アプローチ－発育・発達と健康の身体情報科学－, 三恵社, 名古屋.
- Fujii, K. (2006b) Connection between Growth / Development and Mathematical Function, *International Journal of Sport and Health Science*, 4, pp216-232.
- 藤井勝紀, 穂丸武臣, 花井忠征, 酒井俊郎 (2006c) 幼児の体格・運動能力の発育・発達における年次変化に関する検証－身体成熟度からみたアプローチ. *体力科学*, 55, pp489-502.
- 藤井勝紀, 春日晃章, 花井忠征 (2007) ウェーブレット補間法による幼児の身体発育の年間時系列解析へのアプローチ. *教育医学*, 53, pp194-204.
- 藤井勝紀編著, 石垣享, 正美智子, 斎藤由美 (2008) 生涯発達の健康科学－生涯にわたる健康への科学的探求－, 杏林書院, 東京.
- 藤井勝紀, 金俊東, 花井忠征 (2011) 乳幼児身体発育現量値および速度曲線の経年的変化に関する解析, *教育医学*, 56, pp292-303.
- 藤井勝紀, 伊藤幹, 斎藤由美 (2012a) 青少年における身体発育の年次推移に関する検証, *日本生理人類学会誌*, 17 (4), pp145-154.
- Fujii, K. and Mishima, T. (2012b) Re-verification with regard to Scammon's Growth Curve – analysis based on Wavelet Interpolation Model and Cross Correlation Function -, *Journal of Education and Health Science*, 57 (3), pp243-251.
- Fujii, K., Kim, J-D. and Ishigaki, T. (2012c) Examination of regional differences in physical growth in urban and rural areas. based on longitudinal data from South Korea, *Sport Sciences for Health*, ISSN : 1824-7490.
- 藤井勝紀 (2013a) 発育発達と Scammon の発育曲線, *スポーツ健康科学研究*, 35, pp1-16.
- 藤井勝紀 (2013b) 動物と人間の発育パターン, 子どもと発育発達, 11(2), pp72-81.
- 藤井勝紀 (2015a) スキャモンの発育曲線の諸課題, 子どもと発育発達, 12 (4), pp243-253.
- 藤井勝紀 (2015b) ヒトのプロポーション変化の検証, *教育医学*, 61 (2), pp172-179.
- 藤井勝紀 (2016) 人の発育システムの標準化によるプロポーション変化の検証, *標準化研究*, 14 (1), pp19-37.
- Fujii, K. (2017) Re-Verification with Regard to Scammon's Growth Curve Proposal of Fujimmon's Growth Curve as a Tentative Idea, *American Journal of Sports Science*, 5(3), pp14-20.
- Gesell, A. (生月雅子 訳) (1967) 狼にそだてられた子, 家政教育社, 東京.
- 保志宏 (1988) ヒトの成長と老化, てらべいあ.
- 彼末一之, 能勢博 (2011) やさしい生理学, 南江堂, 東京.
- 川村仁視, 新畑茂充, 太田和義, 藤井勝紀 (1982) 現代人の健康と運動, 杏林書院, 東京.
- 川村仁視, 新畑茂充, 山田岳志, 藤井勝紀 (1990) 新訂 現代人の健康と運動, 杏林書院, 東京.

- 木村邦彦 (1966) ヒトの発育, メジカルフレンド社.
- 小林寛道 (2003) 子どもの臓器の発育, Vol. 1 (2), pp85-89.
- 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 : pp193-201.
- Malina, R. M. and Bouchard, C. (1991) Growth, maturation, and physical activity, *Human Kinetics Books*, Illinois.
- 松浦義行 (2005) 身体的発育発達論序説, 不昧堂書店, 東京.
- 松尾保 (1988) 小児保健医学新版, 日本小児医事出版社, 東京.
- 村地俊二 (2005) 障害児の発達とその病像, 子どもと発育発達, Vol. 3 (1), pp31-35.
- Portmann, A. (高木正孝 訳) (1961) 人間はどこまで動物か—新しい人間像のために, 岩波新書, 東京.
- 鈴木光太郎 (2008) オオカミ少女はいなかった—心理学の神話をめぐる冒険—, 新曜社, 東京.
- Scammon, R. E. (1930). The measurement of the body in childhood, In Harris, J. A., Jackson, C. M., Paterson, D. G. and Scammon, R. E. (Eds). *The Measurement of Man*, Univ. of Minnesota Press, Minneapolis.
- 高石昌弘, 樋口満, 小島武次 (1981) からだの発達—身体発達学へのアプローチ—. 大修館書店, 東京.
- 高石昌弘 (2003) 発育発達と子どものからだ, 子どもと発育発達, Vol. 1 (1), pp9-12.
- Tanner, J. M. (1962) *Growth at Adolescent*, Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- 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, pp454-471.
- Tanner, J. M. (1978) *Foetus into man*, Open Books, London.
- Togo, M. and Togo, T. (1982) . Time-series analysis of stature and body weight in five siblings. *Annals of Human Biology*, 9, pp425-440.
- 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, pp223-235.
- 八木保 (2003) 個体の生い立ち, 子どもと発育発達, Vol. 1 (4), pp244-247.