子どものからだの成長[注1]

髙井　省三（筑波大学体育科学系）

はじめに

成長研究に不可欠の時間ないしは年齢を考えることから始める。成長研究で最も一般的な暦年齢に対する生物学的年齢を考えて，それをからだの成熟という切り口からみてみる。具体的に身長の成熟を例にとって，からだの成熟と体型，体組成の間の関係，そしてからだの成熟とスポーツパフォーマンスの関係を探っていく。

成長と時間

からだ全体あるいはからだの部分の大きさが増すことを成長という。ヒトの場合はおよそ 20 年という時間にわたりこの現象を見ることができる。あたりまえだが，この時間を抜きにしては成長現象を記述できない。現在では原子時計が基準の時間を刻む。しかし，この時間は元をただせば天文学的事象から導き出した 1 年，1 日，1 時間，1 秒をセシウム原子の周期的な状態変化に置き換えたものである。月と太陽の運行から暦すなわち時間が作られた。ひとつの出来事が起きてから次の出来事が起こるという繰り返しに基づくと時間を測定できる。

生物のからだの中にもこのような繰り返しの現象がある。樹木の年輪が分かりやすい例だろう。ミクロ的に見ればこの年輪は細胞分裂による細胞の増殖の印である。しかし，年輪の間隔は 1 本の樹木でも南側と北側では違っているし，同種類の樹木でも植えられた環境によっては年輪の間隔は違ってくる。細胞分裂は原子時計の時間通りには進行しないようだ。すなわち，生物の年齢を測る時間には 2 種類あることがわかる。天文学的事象あるいは物理学的事象で測った時間を物理学的時間（暦年齢）と，生物体の繰り返す事象で測った時間を生物学的時間（生物学的年齢）である。もしも，ある生物の誕生

注1 日本発育発達学会編：子どもと発育発達 Vol. 1, No. 2 (2003.6) 掲載予定

から死までの細胞分裂の回数が決まっているならば，現在の細胞分裂の回数を知ることによって，その生物が生涯のどの段階にいるか分かる。この段階を例えばパーセントで表したものが生物学的年齢である[1，2]。

生物学的年齢と成熟

成長に関しては死までを考えるよりは，背が伸び切った状態あるいは体重が増しきった状態までを考えれば良いだろう。まったく未完な組織，器官が完成の状態または個体が成体（成人）に達するテンポあるいは過程を成熟とよぶ。この完成の状態は身長のように 170cm という値で表わされるものではなく，むしろ 100%で表す。四肢骨の発生（骨成熟）では軟骨モデルが完全に骨組織で置換されると骨成熟が完了したことになる。このように成熟をかたるにはすべての正常なヒトに共通な終点が必要である。このときに身長の成長は止まるが，170cm であったり 160cm であったりする。したがって，すべての子どもの身長の成長の完成（終点）を共通の値で表わすことはできない。

成熟は，タイミングとテンポの２つの状況から眺めることができる[3]。タイミングは，陰毛の発現年齢や思春期成長スパート中での最大成長速度年齢のような出来事が起こる時を意味する。テンポは，若者がどれくらい早くあるいはゆっくりと性成熟の始まりから完成状態までを通過するかをいう。タイミングとテンポは個人の間でかなりバラつきがある。子どもや青少年の研究ではしばしば骨成熟，性成熟，身体成熟が取り上げられる。骨成熟は最も精度が高いが，レントゲン写真を撮らなければならないので，一般に二つの障害がある。一つは X 線撮影は国家資格が必要とされること，もう一つは被験者にわずかではあるが（胸部間接撮影の 1/8 くらい）放射線被爆のリスクがあることである。性成熟は被験者のプライバシーが問題となる。筆者は附属中学と一般中学での自己申告による調査を計画したが，いずれもこの問題を前にしていまだに実現してない。最後の身体成熟は二つの身長の特性－身長最大速度（PHV）年齢やある年齢のパーセント成人身長－が身体成熟の評価の基礎となる。

PHV 年齢やスパート開始年齢，PHV 量，スパート開始時や PHV 時の身長のような

思春期成長の関連パラメータを推定するには個人の成長を追跡した縦断的成長データが必要となる。研究者が被験者の成長とともに直接に調査する，前方視的縦断研究がデータの質を保証するためにも不可欠であるが，学校保健統計調査のデータを引き写させてもらうような次善策としての後方視的縦断研究もやむを得ない。スパートのタイミングや大きさを推定するには個人の成長記録に数学的な曲線を当てはめる。身長に関しては，Preece-Baines の成長関数，多項式，3 次スプライン，kernel 法，BTT 法，JPA2 法などたくさんの曲線モデルがある。筆者らは入手が容易な BTT 法を Windows パソコン上で使用している[4)]。

ある暦年齢でのパーセント成人身長は身体成熟のひとつの指標として使われる。成人身長または成熟身長に近い子どもは同年齢のほかの子どもに比べて進んだ成熟状態である。例えば，二人の 7 歳の男児が 122cm の身長に達したとしよう。一人の男児のこの身長は成人身長の 72%であるが他方の男児のその身長はたった 66%でしかない。前者の男児は完熟状態に近く，したがって彼は後者の男児にくらべて成熟的には進んでいる。成人身長を予測するには TW3 法などの骨成熟（骨年齢）評価法を使うのが最も精度が高いが，いつも手足のレントゲン写真が手に入るわけではない。しかし，ここでも BTT 法を使うと成人身長の予測もできる。

身長最大速度年齢と体型，体組成の関係

体型と身長成長曲線のパラメータの関係をみてみよう。被験者は 1999 年のつくば市内の一公立中学校生徒（女子 195 名，男子 213 名）である。からだ全体が柔らかく，丸みを帯びた肥満タイプの体型を内胚葉型，筋の発達が弱く，痩せの体型を外胚葉型，そして筋骨格系が優位の体型を内胚葉型とよんでいる。この体型を Heath-Carter の人体測定法によるソマトタイプ判定法によって求めた。この方法で 3 つの体型は 0~9 のスコアで表される。 3 つのソマトタイプスコアの中で，他の 2 つのスコアよりも 0.5 以上大きいものをその個人を代表するソマトタイプとした。被験者の小学校 6 年間のデータに基づいて BTT 法によって身長成長曲線のパラメータを求めた。パーセント成人身

長はBTT法による成人身長の推定値に対する現在の身長の割合である。中学生のソマトタイプは女子では内胚葉型（54.7%）が一般的で，外胚葉型（35.7%），中胚葉型（9.5%）と続く；男子では中胚葉型（66.1%）が一般的で，外胚葉型（24.1%），内胚葉型（9.9%）と続く。パーセント成人身長および予測成人身長はこれらの体型と関係がない。しかし，内胚葉型の女子の身長スパートは外胚葉型の生徒よりも早い年齢（内胚葉型：7.63±1.20歳　vs.　外胚葉型：　8.68±0.80歳）で開始し，そして，ピークに達するPHV年齢（内胚葉型：10.62±0.85歳　vs.　外胚葉型：　11.50±0.82歳）も同様である。身長スパートのこれらの年齢パラメータと体脂肪率の間にも負の相関関係（ピーク開始年齢：r = −0.41，PHV年齢：　r = −0.45）がある。すなわち，内胚葉型の女子はPHVからみた身体の成熟に早熟傾向があることがわかった。男子にはこのような体型，身体組成による身長成熟の違いがなかった。

パーセント成人身長（生物学的年齢）からみた体力・運動能力[5)]

スポーツパフォーマンスとからだのサイズ・成熟・年齢の間にどのような関係があるかみてみよう。被験者は1982〜1984年度生れの茨城県つくば市の公立中学校1〜3年生の男子260名，女子239名から成っている。小学校6年間の学校保健統計調査の身長データを後方視的縦断的に収集した。体力・運動能力のデータは1996年度の中学校でのスポーツテストの結果を利用している。分析した項目は握力，背筋力，懸垂（斜め懸垂），ハンドボール投げ（ソフトボール投げ），垂直とび，走幅とび，50 m走，持久走，踏み台昇降，反復横とび，上体そらし，体前屈である。対象生徒の体格，スポーツテストの成績は全国平均・標準偏差と比べて大きな違いはなかった。スポーツテスト成績と年齢，生物学的成熟度（パーセント成人身長），身長に相関分析（単相関，偏相関）を適用して解析した。

思春期においては，年齢やからだのサイズ（身長および体重）だけでは運動パフォーマンスの変動を十分に説明できない。すなわち，思春期の発育スパートのタイミングや性成熟などの生物学的な成熟状態も大きな役割を果たしている。そこで，生物学的成熟

の指標として前述したパーセント成人身長を考えた。BTT 法によるパーセント成人身長は，とくに男子で，実際のパーセント成人身長と骨成熟をよく反映することが別の資料で確かめられた。男子の BTT 法によるパーセント成人身長は観測パーセント成人身長と r=0.921，骨成熟度とは r=0.828 の相関関係を示した；女子の BTT 法によるパーセント成人身長はは観測パーセント成人身長と r=0.724，骨成熟度とは r=0.589 の相関関係を示した。

中学生男子の予測成人身長は 172.1±4.38cm で身パーセント成人身長は 91.9±4.56%であった。中学生女子は 158.3±4.06cm の推定成人身長を示し，中学校 1～3 年時のパーセント成人身長は 97.6±2.36%であった。女子中学生は身長の成長についてみると，ほとんど成人と見なすことができる。

中学生男子の運動パフォーマンス成績と年齢・身長・パーセント成人身長の間の相関を調べた。スポーツテスト 12 項目のうち 3 つの成長・成熟指標と中等度以上の相関（r > ±0.4）を示す項目について分析をすすめた。すべての相関係数は 5%の危険率で統計的に有意であった。この単相関から，走り幅跳び，50m 走，垂直跳びの成績はパーセント成人身長と；握力，ハンドボール投げの記録は身長の絶対値と；そして反復横跳びの成績は年齢と高い相関を示す，という傾向を知ることができる。しかし，身長と年齢（r = 0.686），年齢とパーセント成人身長（r = 0.754），身長とパーセント成人身長（r = 0.896）は相互に関係があるので，このうちの 1 つの項目と運動パフォーマンスの成績との相関関係だけでは本質を見逃しすことがある。そこで，暦年齢，身長，パーセント成人身長の関係を統計的手法でコントロールして成長・成熟指標の本来の影響を考えた。

中学生男子の運動パフォーマンス成績と年齢・身長・パーセント成人身長の間の偏相関を求めた。例えば，50m 走記録とパーセント成人身長の間の偏相関とは，年齢と身長を一定に保ってそれらの影響をコントロールしたときの相関を表している。この偏相関係数は単相関係数にくらべて小さな値になった。しかし，単相関分析での傾向はより明瞭に浮き出てきた。走り幅跳びと 50m 走のパワー種目ではパーセント成人身長との

関係が際立っている。すなわち，年齢が若く身長が低くても，パーセント成人身長がすすんでいる子どもは高いパワーパフォーマンスを示すことがある。反復横跳び成績と年齢の関係は，パフォーマンステストの経験回数あるいは習熟度によって説明できるかも知れない。この敏捷性の結果は13歳のベルギー男児について，骨年齢でコントロールしたときのタッピングテストと暦年齢の偏相関（0.27）の研究[6]にもみえる。ハンドボール投げの成績と身長の関係は，上肢のモーメントアームの長さに起因するかもしれない。握力と身長の関係は，筋力と筋断面積，筋断面積と身長の比例関係から説明できよう。

12～19歳の思春期のベルギー男児の骨年齢・身長・体重と運動パフォーマンス成績の間の重相関分析[7]は，成熟とサイズの要因は運動パフォーマンスの変動の高々17%しか説明できないことを示した。本研究にもみるように思春期の運動パフォーマンスの変動を説明する割合が年齢，成熟，サイズそれぞれ単独にみたときに低いことも上の先行研究の結果からもわかるように偶然の所産ではないといえる。

中学生女子での運動パフォーマンスと年齢・身長・パーセント成人身長の間の関係は男子に比べて非常に低い。統計的に有意ではあるものの単相関係数，偏相関係数は小さかった。また，考察できるようなパターンは抽出できなかった。パーセント成人身長が98%にも達しており，ほとんど成人であることが低い関係の原因であろう。本研究の女子の結果と同様な報告がある。450名の12～16歳のベルギー女児についての研究[8]は，骨年齢と運動パフォーマンスの成績の間には静的筋力（r=0.28～0.35）をのぞいて有意な単相関関係はなかったことを報告している。

おわりに

生物学的年齢からこどもの成長を眺めてみた。身長最大速度年齢が若い，すなわち早熟な女子中学生は体脂肪率が大きく体型も肥満タイプの内胚葉型が優位である。身長の大きさや暦年齢よりもパーセント成人身長が大きいすなわち早熟な男子中学生はパワー系の運動能力に優れている。成熟を考慮した体育の成績評価や健康状態の評価にこのような知見が生かせないものだろうか？　一般の子どもとアスリートの間には距離がある

が，スポーツタレント発掘にも発展できないであろうか？

文献

1）表　実：時間の謎をさぐる。岩波書店，1995.

2）本川達雄：時間－生物の視点とヒトの生き方－。日本放送出版協会，1996.

3）Malina RM.：Growth, maturation, and performance. Garrett WE. Kirkendall DT. (ed) Exercise and Sport Science.　Lipincott Williamams & Wilkins, pp. 425-45, 2000.

4）Bock RD, du Toit SHC, Thissen D.：AUXAL－Auxological Analysis of Longitudinal Measurements of Human Stature－　3rd ed., Sientific Software International, 2003.

5）高井省三（1997）成人身長を予測する。第13回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会，身体運動のバイオメカニクス，pp. 35-40，1997.

6）Beunen G, Ostyn M, Renson R, Simons J, Van Gerven D: Motor performane as related to chronological age and maturation. Shephard RJ, Lavellee H (ed) Physical Fitness Assessment. pp. 229-37, Charles C Thomas, 1978,.

7）Beunen G, Ostyn M, Simons J, Renson R, Van Gerven D: Chronological and biological age as related to physical fitness. Ann. Hum. Biol., 8: 321-31, 1981.

8）Beunen G, Ostyn M, Renson R, Simons J, Van Gerven D: Skeletal maturation and physical fitness of girls aged 12 through 16. Hermes (Leuven), 10: 445-57, 1976.