

論文

踵骨骨強度の発育状態に対する縦断的観察<第2報> —小学校1年生時から高等学校3年生時まで2カ月毎に測定した男児一例について—

岡野亮介*1

キーワード：踵骨骨強度 身長 体重 縦断的観察

I. はじめに

現在予備軍まで含めると1300万人前後の罹患者はいると考えられている骨粗鬆症の発症には、運動習慣^{1,2)}、食習慣^{3~5)}、形態(身長、体重)^{6,7)}、体脂肪率・体脂肪量^{8,9)}、月経状態^{10,11)}、喫煙¹²⁾、飲酒¹²⁾、ストレス¹³⁾および遺伝¹⁴⁾などが深く関与している。このような現状にあつて、骨量低下の早期発見・早期予防に努め、若年時にピークボーンマス(最大骨量)を高めることの必要性が叫ばれている^{1,15,16)}。この課題に応えるためには先ず若年時期における骨強度の発育上の特徴を把握することが重要であり、これまで横断的な観察に基づいてその試みがなされたことが多かった^{1,6,17~22)}。しかしながら10年以上の期間にわたり比較的短期のインターバルをもって縦断的に骨強度の発育状態が観察された試みは非常に少ない。

筆者は本研究紀要の第1巻第1号(2008年3月発行²³⁾)において1例の男児を対象に、小学校1年生の4月(2000年)から6年生の2月(2005年)まで2カ月毎に形態と踵骨骨強度を縦断的に観察し、整合性を確認するために横断的データとの比較検討を行いながら、その発育特性の一端を観察し、踵骨骨強度の指標はかなり凹凸を持ちながら発育していく特性があり、この原因に踵温が関与している可能性を示唆した。

今回は同一の男児を対象として、小学校1年生の4月(2000年)から高等学校3年生の2月(2012年)までの約12年間に亘って2カ月毎に形態と踵骨骨強度を縦断的に観察し、発育特性の一端を推測することとし

た。また、発育観察の中で踵の温度と踵骨骨強度のパラメーターとの関連性についても追究し、さらに発育状態の整合性を確認するために横断的データとの比較検討も前報と同様に行った。

II. 方法

1. 被検者

縦断的に観察した被検者は健康な男児1名であり、横断的に観察した被検者は小学校1年生から6年生までの健康な男児432名(1年生:70名、2年生:75名、3年生:58名、4年生:70名、5年生:74名、6年生:85名)、中学校1年生から3年生までの健康な男児111名(1年生:39名、2年生:37名、3年生:35名)および高等学校1年生から3年生までの健康な男児162名(1年生:87名、2年生:31名、3年生:44名)の計705名であった。

2. 測定項目

縦断的観察対象者および横断的観察対象者に対し、身長、体重、および踵骨骨強度(アロカ社製骨評価装置AOS-100使用、対象骨は右踵骨)を測定した(横断的観察対象者は石川県小松市と山口県萩市の小学生で1996年から2006年にかけて測定した)。踵骨骨強度の評価は、踵骨部分を透過する超音波の速度(SOS)と透過指標(超音波が踵骨を透過するときの減衰の周波数特性に関連する指標:TI)より求められた音響的骨評価値(OSI:TI×SOS²)より行った。なお、縦断的観察対象者の踵骨骨強度に際しては1回毎に超音波の送

*1 山口福祉文化大学 ライフデザイン学部

受信部分（振動子）を開いて5度の連続測定を行い、最大値と最小値を除いた3測定値の平均値を代表値とした。横断的観察対象者の測定時期はいずれも1～2月であった。また、中学校3年生から高等学校3年生に亘る4年間においては、OSI測定時に常に踵の背面にデジタル温度センサ（株式会社テクノ・セブン製DS100）を装着して踵の温度も測定した。なお、被検者が測定のために来室した時には常に靴と靴下を履いた状態であった。

3. 統計処理

相関係数についてはPearsonの積率相関係数を用い、単相関係数どうしの比較についてはZ変換を施して行った。いずれの場合においても危険率5%未満をもって有意とした。図中におけるOSIは 10^6 で除した値を使用した。

Ⅲ. 結果

① 縦断的研究結果

OSIは非常に大きな凹凸を示しながらも経月的に漸増傾向を示し、時間経過に伴う変動には非線形の関係が窺えた。近似曲線をあてはめた結果、 $Y=-4E-07x^3+9E-05x^2-0.0009x+2.2432$ という3次曲線が得られ、この回帰式による決定係数は0.834で、直線回帰式による決定係数0.821よりやや高かった(図1)。相関係数は両者とも有意であった。相関係数は両者とも有意であった。なお、小学校1年生から高等学校3年生までの年間平均増加率は3.24%（小学校1年生の2月の値：2.093、高等学校3年生の2月の値：2.839）であり、中学校1年生から高等学校3年生までの年間平均増加率は1.84%（中学校1年生の2月の値：2.600）であった。

身長は100カ月（中学校3年生の8月）まで経月的に漸増し、その後は非常に緩やかな増加傾向を示した。近似曲線をあてはめた結果 $Y=-5E-05x^3+0.0075x^2+0.2251x+122.46$ という3次曲線が得られ、この回帰式による決定係数は0.992で、直線回帰式による決定係

数0.935よりやや高かった。相関係数は両者とも有意であった(図2)。

体重についても100カ月（中学校3年生の8月）まで経月的に漸増し、その後は若干の凹凸を示しながら緩やかな増加傾向を示した。近似曲線をあてはめた結果 $Y=4E-05x^3+0.0084x^2-0.0828x+22.29$ という3次曲線が得られ、この回帰式による決定係数は0.987で、直線回帰式による決定係数0.938よりやや高かった。相関係数は両者とも有意であった(図3)。

また、OSIと身長及び体重との相関係数（それぞれ $r=0.887$ と $r=0.892$ ）は、身長と体重との相関係数（ $r=0.992$ ）よりいずれも有意（ $p<0.001$ ）に低かった。

次に身長とOSIの年間発育量（測定時はいずれも4月）を図4に示した。身長は小学校6年生から中学校1年生の1年間で発育量のピーク（11.7cm）を示したが、これに対しOSIの発育量のピークは小学校2年生から3年生の1年間であった。

図5～図8には中学校3年生から高等学校3年生時における2カ月毎1年間のSOSと踵温の変動を示した。

中学校3年生の1年間においては、踵温の上昇（6～10月）に対してSOSは低下し、踵温の低下（12～2月）に対してSOSは上昇する応答を示した。一方、高等学校1年生から3年生のそれぞれの1年間においても概ね同様の応答を示したが、高等学校1年生時の12月、高等学校2年生時の8月と10月及び高等学校3年生時の6月については逆方向での応答であった。

図9～図12には中学校3年生から高等学校3年生時における2カ月毎1年間のTIと踵温の変動を示した。

中学校3年生では8月を除いてTIは踵温の上昇に対して上昇する応答を示した。

高等学校1年生では12月と2月においては踵温とTIは同じ方向での応答を示したが、6月と10月は逆方向での応答であった。高等学校2年生においては、10月を除いてTIは踵温の上昇に対して上昇する応答を示した。高等学校3年生では8月と12月においては踵温とTIは同じ方向での応答を示したが、6月、10月、

2月は逆方向での応答であった。

図13～図16に中学校3年生から高等学校3年生時における2カ月毎1年間のOSIとOSI測定時の踵の温度の変動を示した。いずれの年次においてもOSIの年間変動と踵温の年間変動の間に特徴的な関連性は認められなかった。

②縦断的结果と横断的结果の比較(各年1～3月の測定値での比較)

横断的データは1～3月に測定したので、縦断的データも各学年2月に測定したデータを用いて比較した。

OSIの縦断的データと横断的データを図17に示した。縦断的データが横断的データの平均値から1標準偏差(以下1SD)より下であったのは小学校1年生時と高等学校2年生時であったが、経年的な発育パターンについて両者は概ね同様の漸増状況を示した。

OSI/身長{計算式はOSI/身長(cm)×100}及びOSI/体重{計算式はOSI/体重(kg)×100}の縦断的データと横断的データを図18と図19に示した。OSI/身長については小学校1～4年生、中学校1・3年生及び高等学校2・3年生の縦断的データは横断的データの平均値から

1SDより下であったが(図18)、OSI/体重についてはいずれの学年においても±1SD内であった(図19)。

またOSI/身長の縦断的データにおける経過月との関連性について、時間経過に伴う変動は非線形的で、近似曲線を当てはめた結果、 $Y=0.0001x^2-0.0132x+1.8665$ という2次回帰曲線が得られ、この回帰式による決定係数は0.660で直線回帰式による決定係数0.406より高かった。相関係数は両者とも有意であった。OSI/体重の縦断的データにおける経過月との関連性について、時間経過に伴う変動は非線形的で、近似曲線を当てはめた結果、 $Y=0.0017x^2-0.207x+11.27$ という2次回帰曲線が得られ、この回帰式による決定係数は0.962で直線回帰式による決定係数0.848よりやや大きかった。相関係数は両者とも有意であった。

さらに、直線回帰による相関係数はOSI/身長よりOSI/体重の方が有意($p<0.001$)に高く、2次回帰による相関係数もOSI/身長よりOSI/体重の方が高い傾向であった。

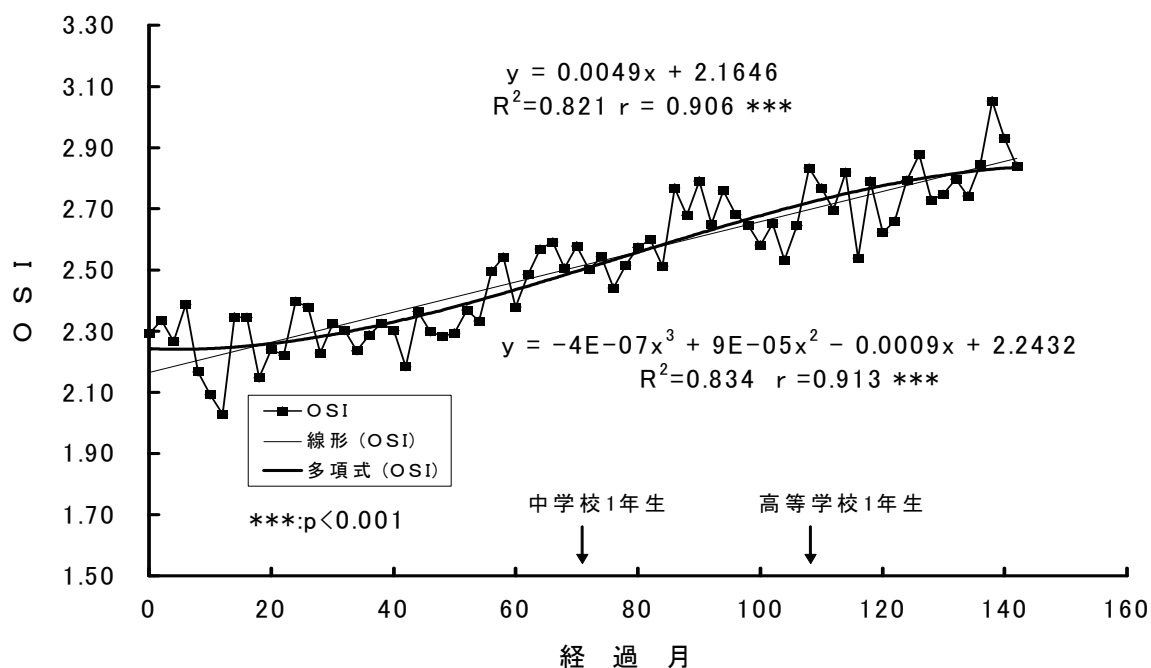


図1 OSIの経月的変動

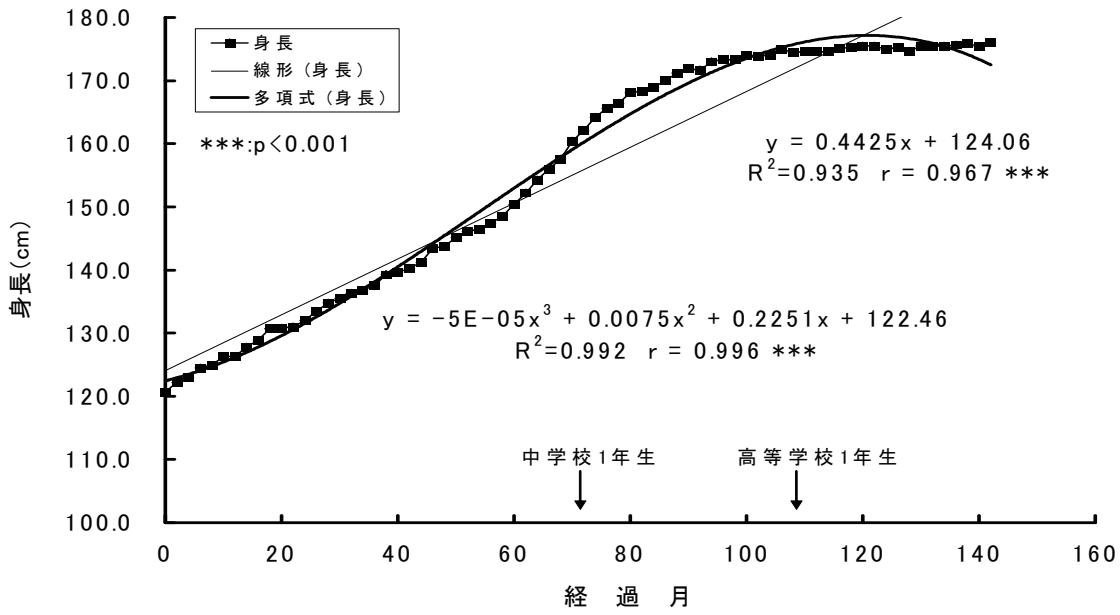


図2 身長の経月的変動

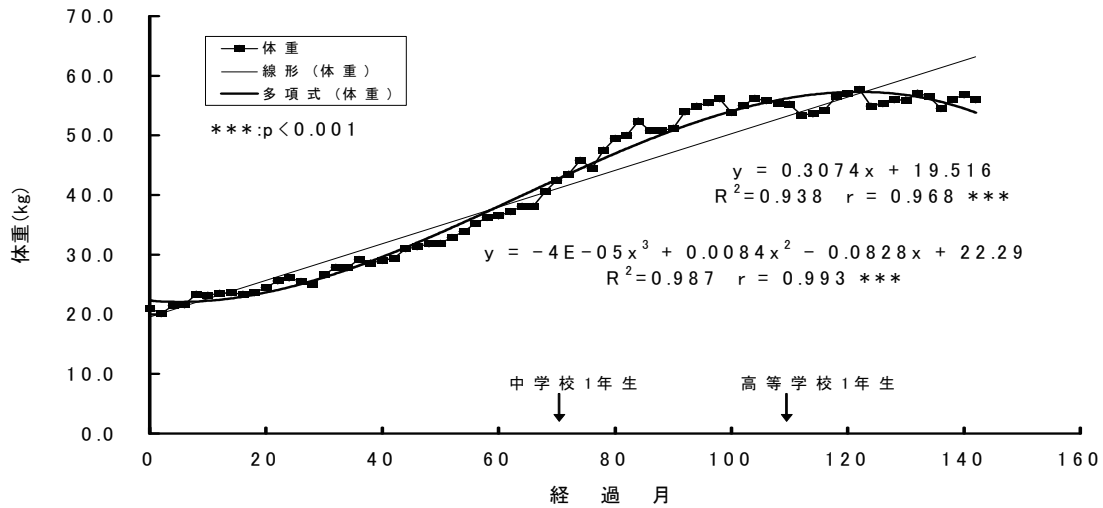


図3 体重の経月的変動

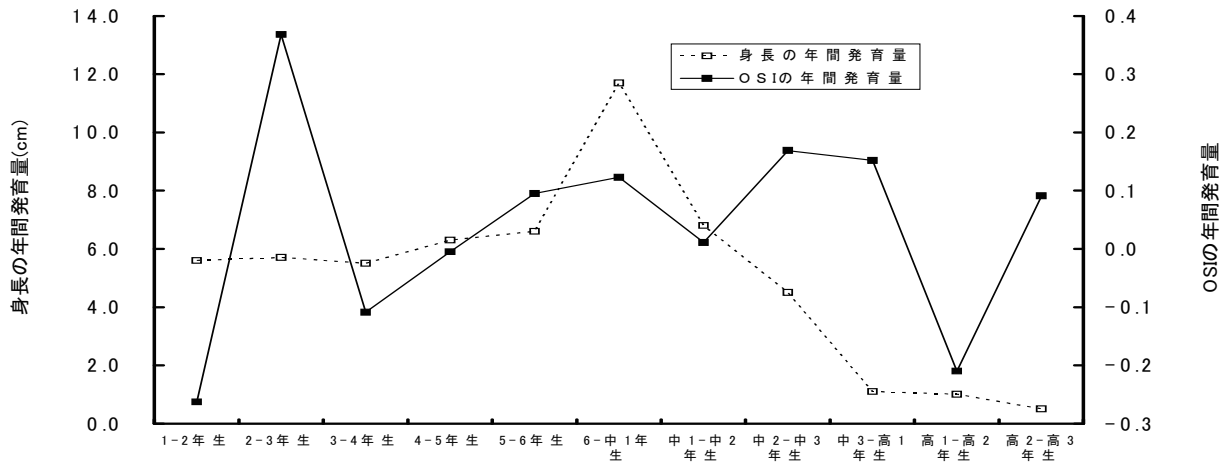


図4 身長とOSIの間年発育量

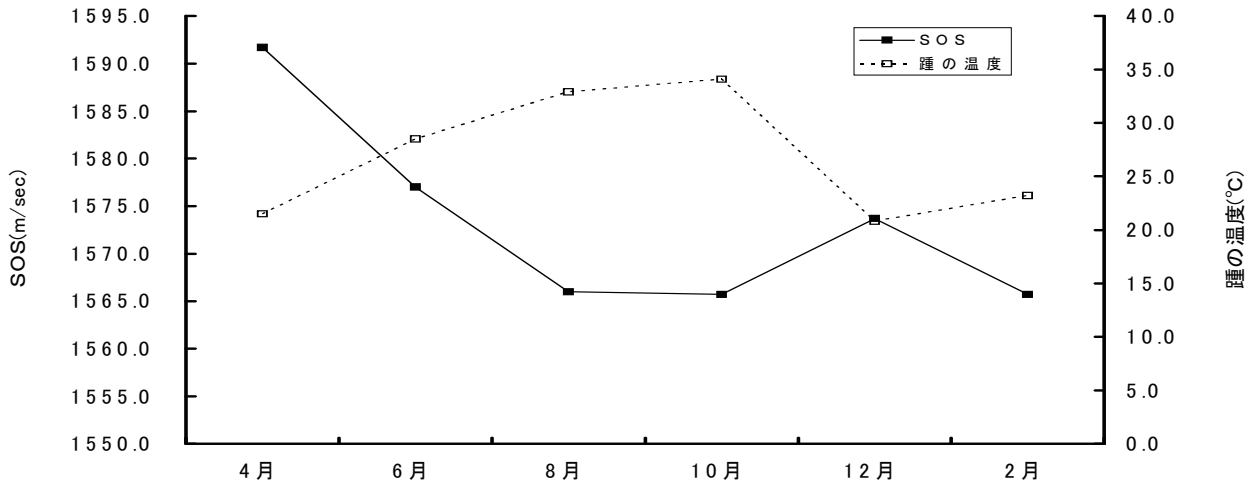


図5 SOSと踵の温度の年間変動（中学校3年生時）

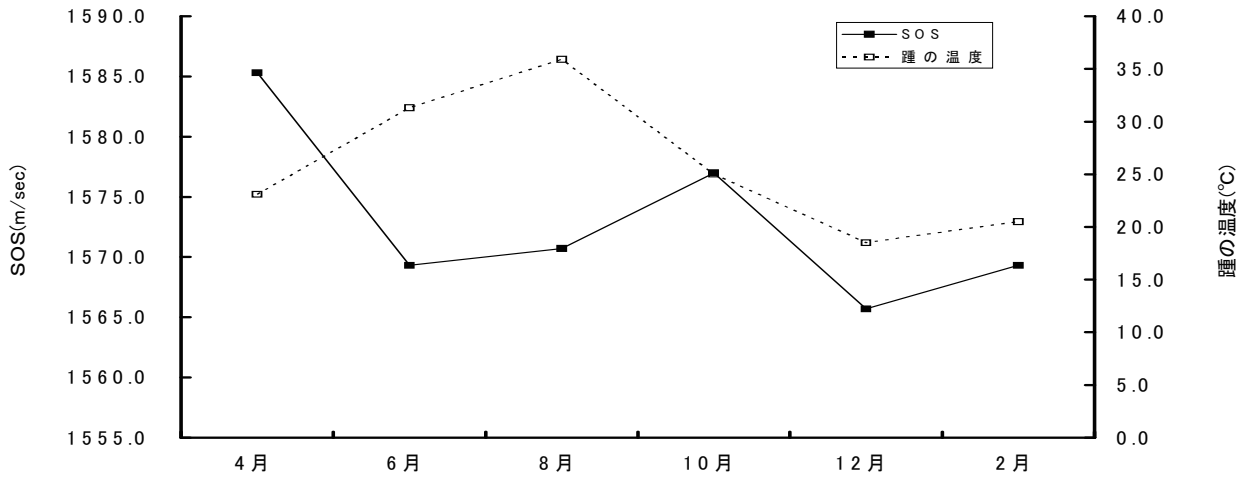


図6 SOSと踵の温度の年間変動（高等学校1年生時）

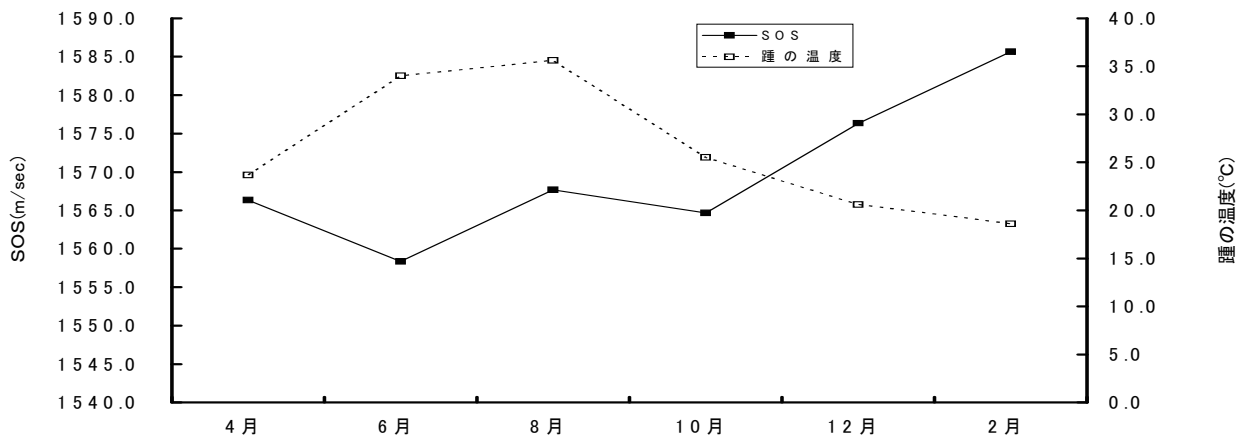


図7 SOSと踵の温度の年間変動（高等学校2年生時）

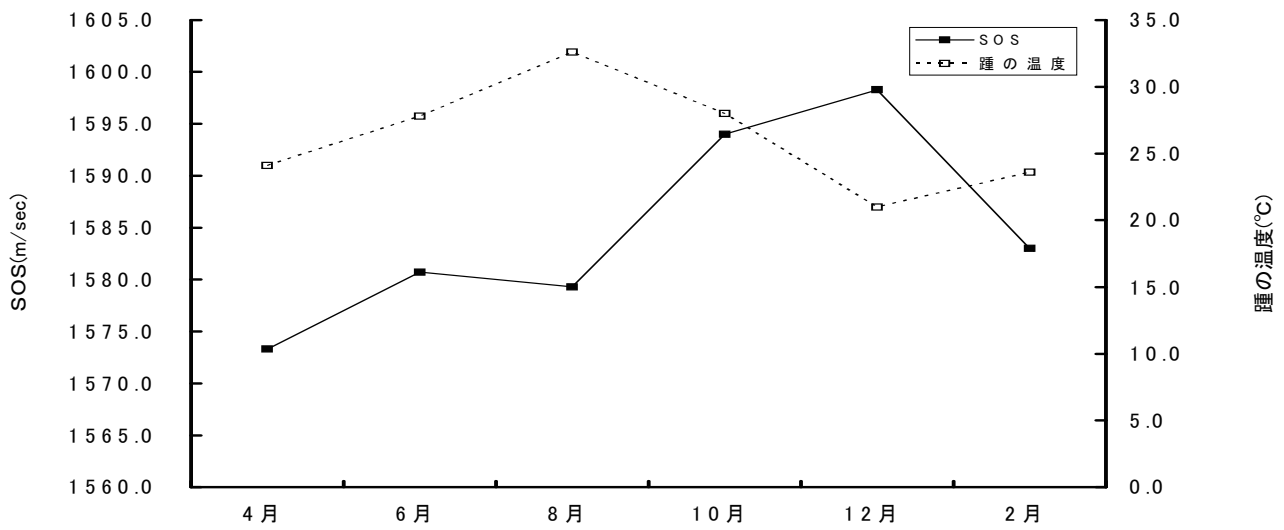


図8 SOSと踵の温度の年間変動(高等学校3年生時)

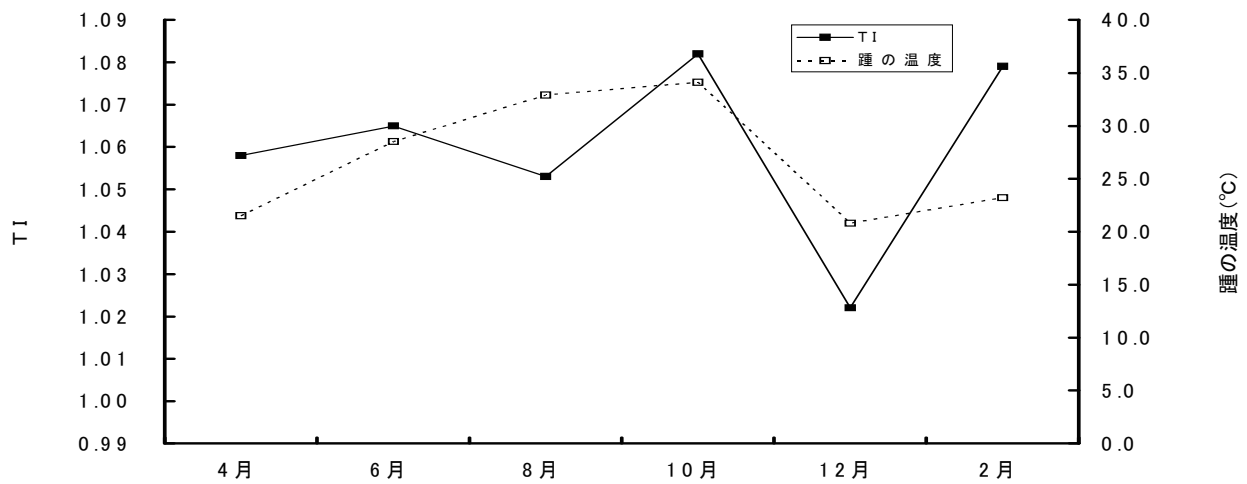


図9 TIと踵の温度の年間変動(中学校3年生時)

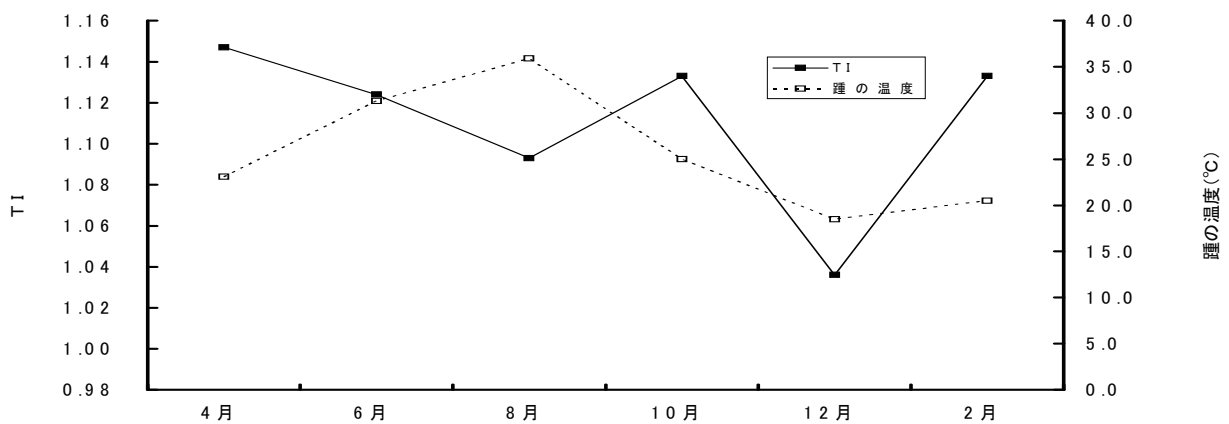


図10 TIと踵の温度の年間変動(高等学校1年生時)

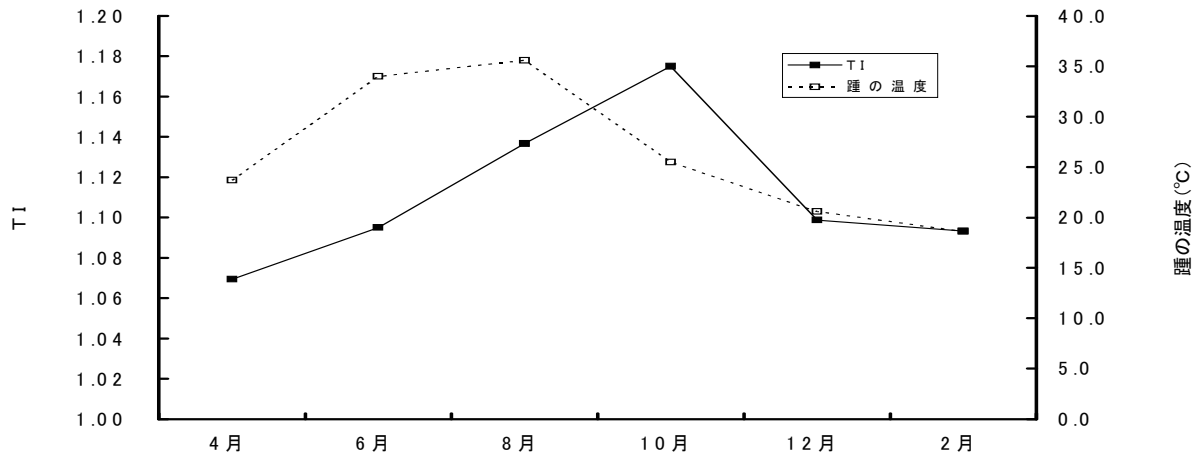


図 11 TI と踵の温度の年間変動 (高等学校 2 年生時)

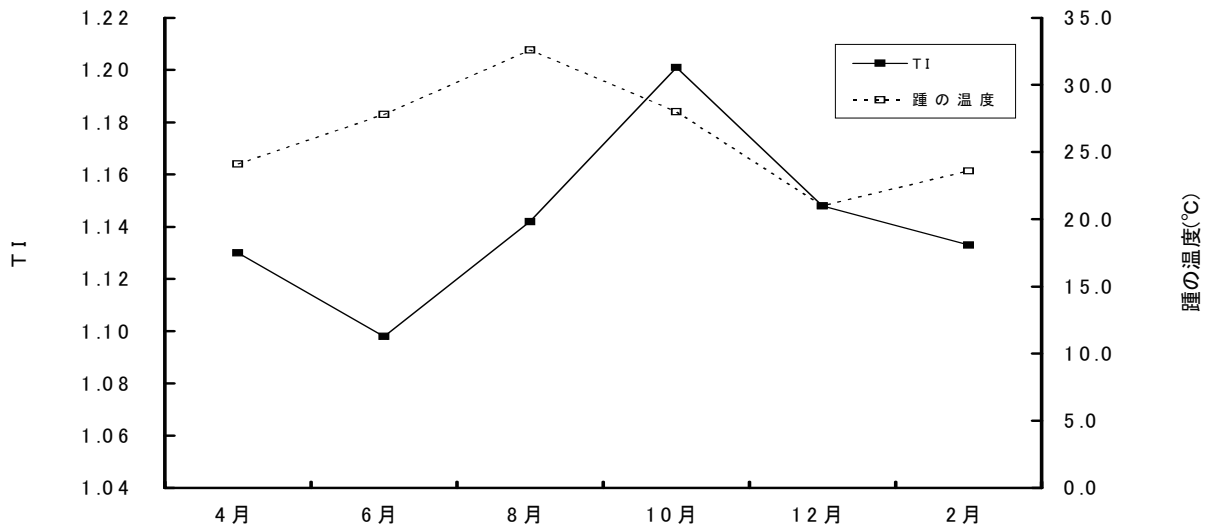


図 12 TI と踵の温度の年間変動 (高等学校 3 年生時)

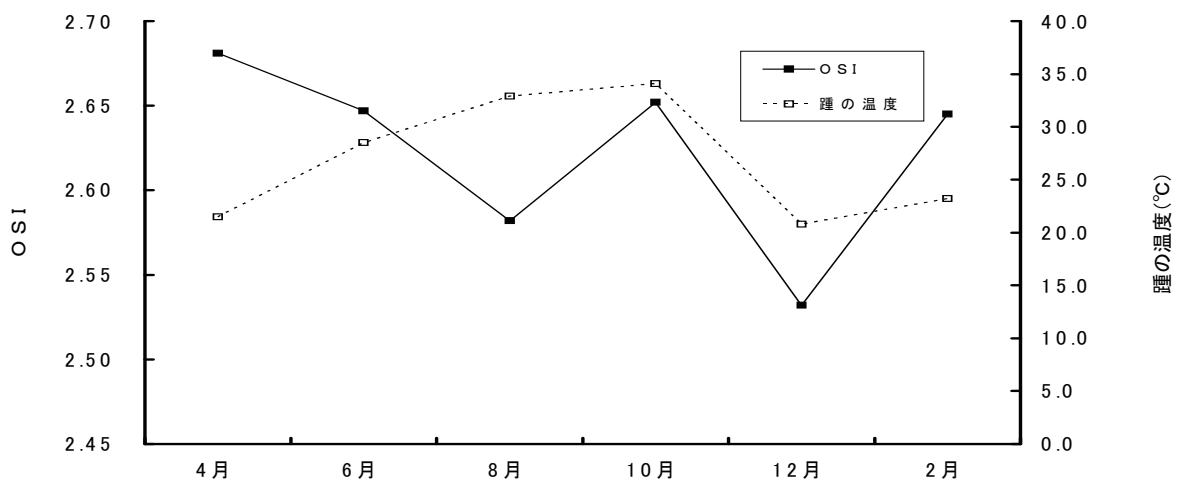


図 13 OSI と踵の温度の年間変動 (中学校 3 年生時)

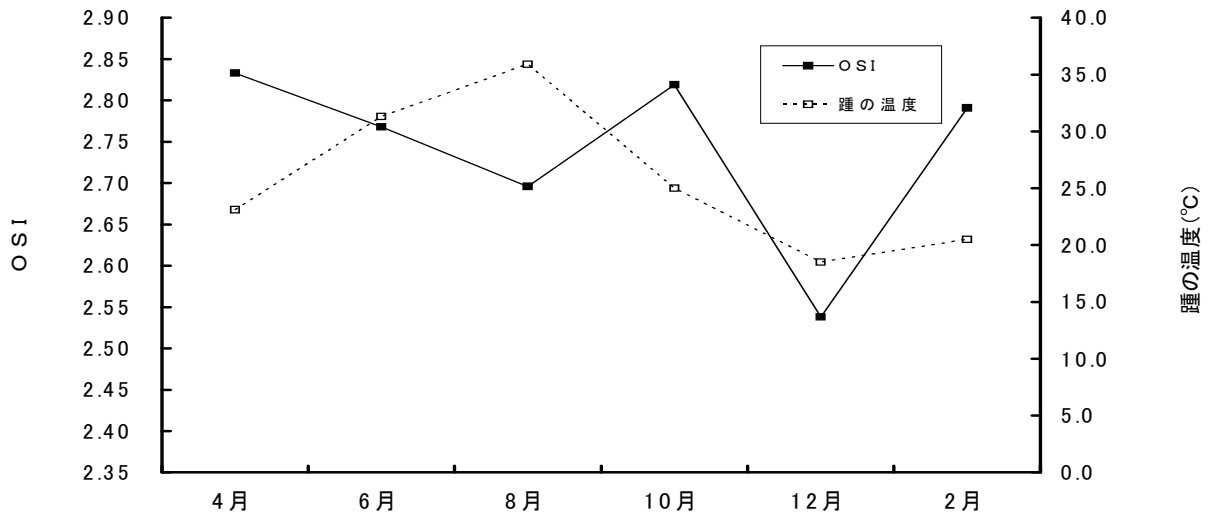


図 14 OSI と踵の温度の年間変動 (高等学校 1 年生時)

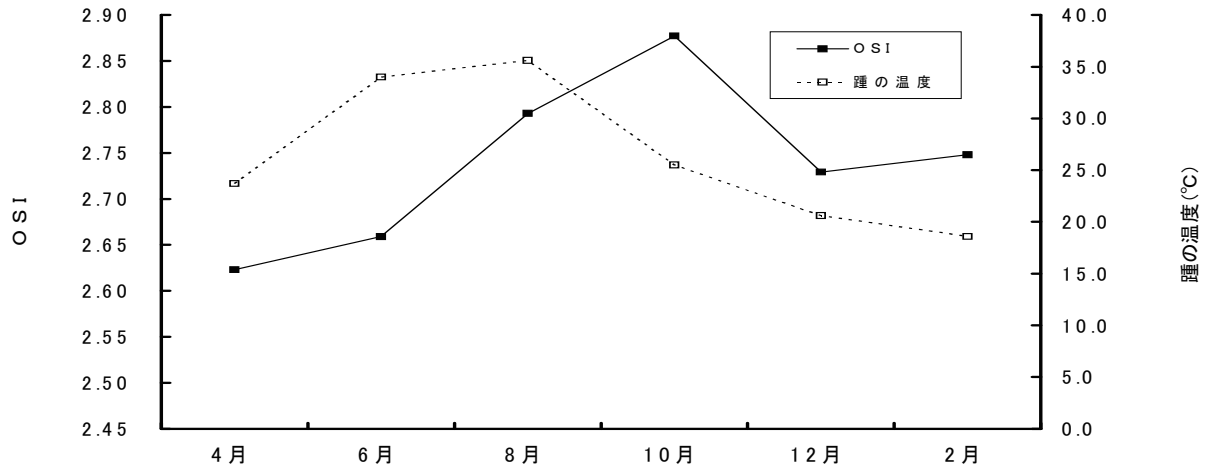


図 15 OSI と踵の温度の年間変動 (高等学校 2 年生時)

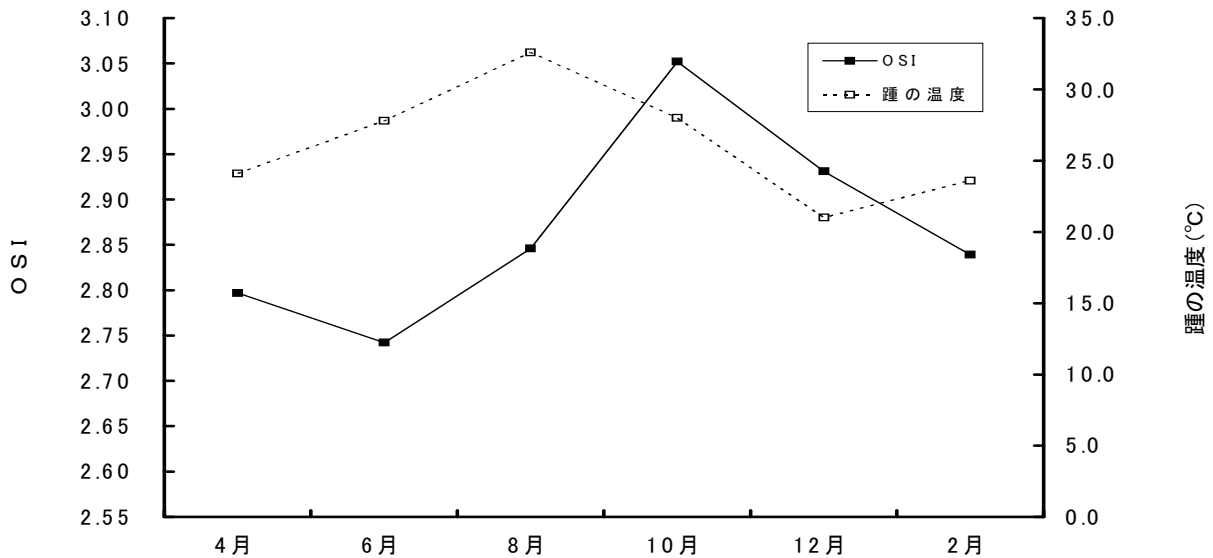


図 16 OSI と踵の温度の年間変動 (高等学校 3 年生時)

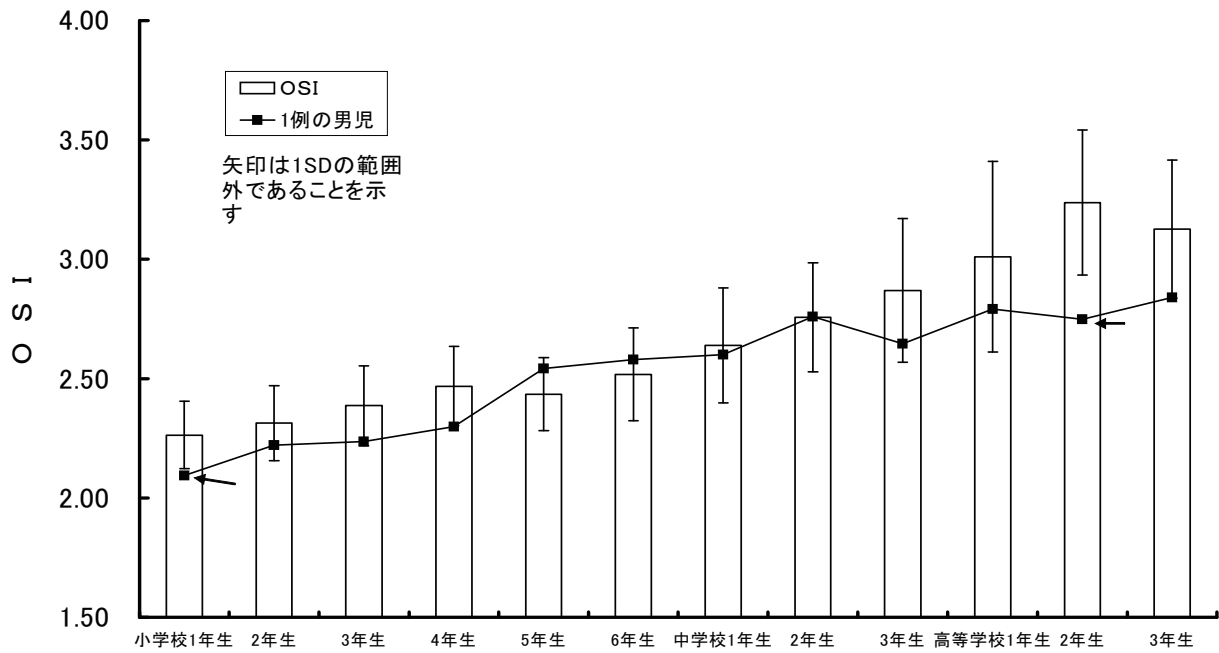


図 17 OSIにおける横断的データと縦断的データの比較

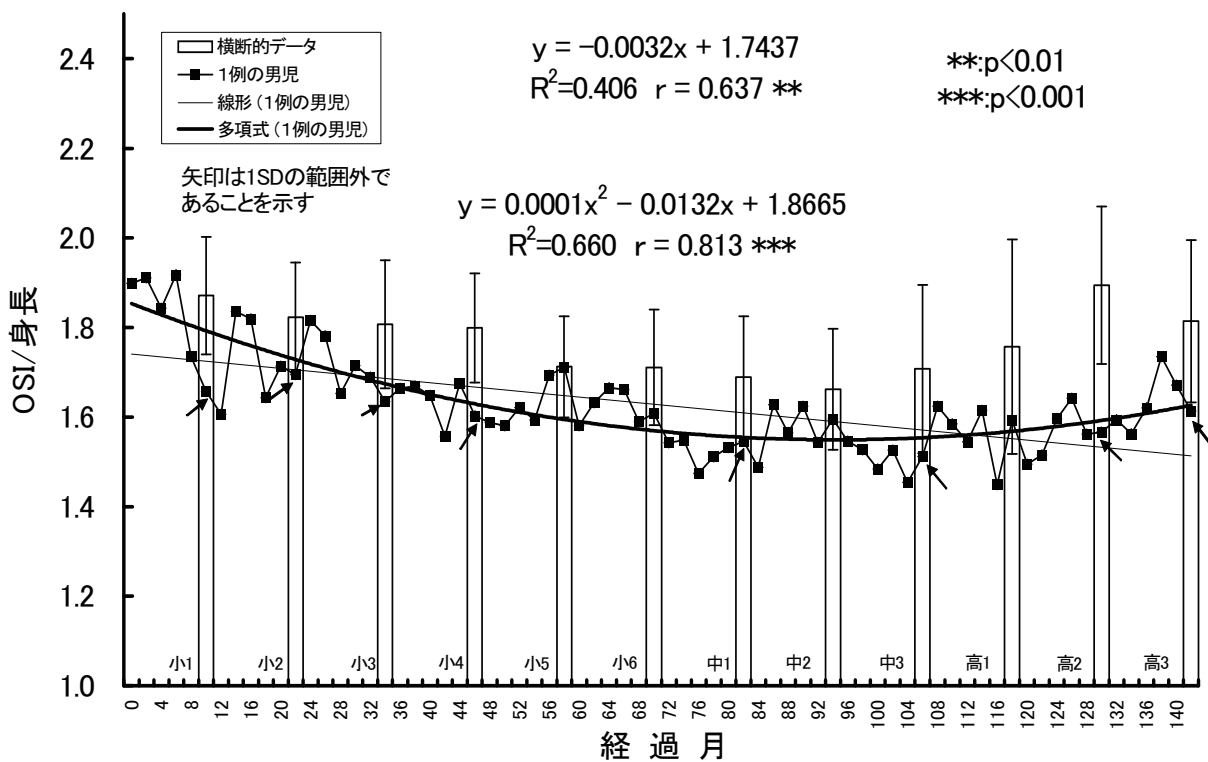


図 18 OSI/身長の横断的データと縦断的データの比較

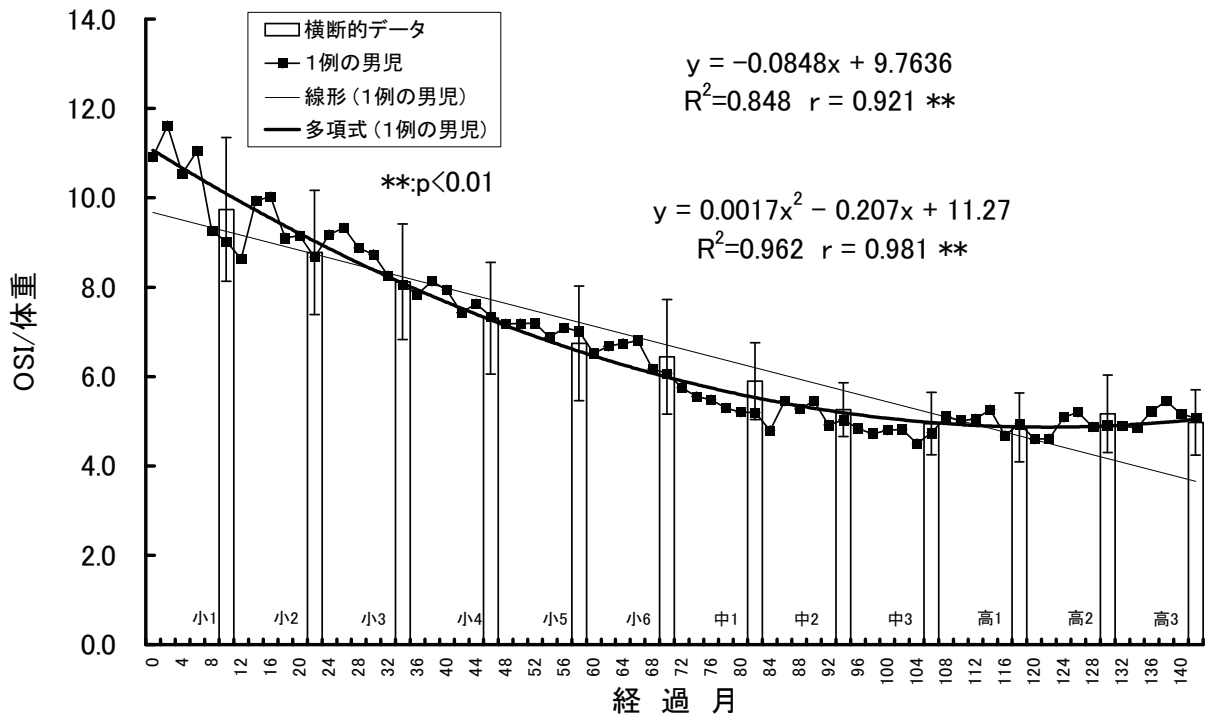


図 19 OSI/体重の横断的データと縦断的データの比較

IV. 考察

前報²³⁾において筆者は、男児1名を対象に、小学校1年生の4月から小学校6年生の2月までに亘って、2カ月毎に身長、体重及び踵骨骨強度を測定し、それぞれの発育状態の特徴について論述した。その中で、踵骨骨強度の発育パターンは、身長や体重の発育パターンと比較して、非常に変動性が大きく単純に漸増するものではないことを述べた。また、その原因として測定時の気温等が多分に影響を与えている可能性を示唆した。

本報においては、前報²³⁾と同一の男児を対象として小学校1年生の4月から高等学校3年生の2月までに亘って、2カ月毎に測定した身長、体重及び踵骨骨強度の発育特性について追究した。

踵骨骨強度の発育は、前報²³⁾と同様に、非常に大きな凹凸を示しながら漸増するパターンを示した。しかしながら経過月と発育の間には直線回帰よりも3次回帰の方が若干適合性は高く、このことは、横断的結果²⁶⁾から示されている様に、踵骨骨強度が第2次性徴の

影響を大きく受けることや17歳～20歳頃にピークを迎えることと符合していると思われた。また、身長及び体重についても経過月と発育との関係は、直線回帰より3次回帰の方が適合性が良い傾向で、これより3者における基本的な発育パターンは非常に高い類似性を有していると思われた。また、小学校1年生から高等学校3年生までのOSIにおける年間平均増加率(小学校1年生時を基準とする)は3.24%であり、前報²³⁾で示した小学校1年生から6年生までの年間平均増加率4.64%を下回ったが、これは中学校以降における踵骨骨強度の年間平均増加率が大きく鈍化した(中学校1年生から高等学校3年生までの年間平均増加率は1.84%)ことに拠るものであろう。

また、踵骨骨強度と身長及び体重との関係は、いずれも身長と体重との関係ほど密接ではなかったが、このことは多分に踵骨骨強度の測定時における大きな変動性が影響しているものと思われた。同様に、身長の年間発育量のピークと踵骨骨強度のそれとが時期的に一致していなかったことも、踵骨骨強度の測定時にお

ける変動性が影響していることが推測された。

次に、踵の温度が踵骨骨強度に影響を与えている可能性を考慮して、年間における踵温と SOS、TI 及び OSI の変動との対応性について検討してみた。その結果では踵温と SOS との間には若干関連し(踵温が上昇すれば、SOS は低下する)、TI との間にはさらに希薄な程度に関連する(踵温が上昇すれば、TI は増加する)可能性が示唆されたが、踵温と OSI との間には特別な関連性は認められなかった。Pocock ら²⁴⁾は 5 人のボランティアを対象に湿式の定量的超音波測定法で踵骨を測定した結果、踵を浸す水温と SOS 及び Stiffness との間に有意な負の相関性があることを報告した。Iki ら²⁵⁾は室温を変えて(10°C、20°C、30°C)定量的超音波測定法でファントムを測定した結果 SOS、BUA 及び Stiffness は有意に変化した(いずれのパラメーターも温度が高くなるにつれ低下)こと及び 35~57 歳の 5 人健康な女性ボランティアを対象に測定した SOS と Stiffness は 2 月と比較して 6 月には有意に低下したことを報告した。従って踵温と SOS との間にはある程度関連性があることが考えられるが、踵温と OSI との間の関連性は不明である。この原因については OSI が $TI \times SOS^2$ によって求められる式の特性によるものとも思われるが、別の実験を重ねて、OSI と踵温の関係についてさらに深く追究していく必要があると思われた。

観察時期を統一した(2 月)場合の縦断的データと横断的データの比較からは、踵骨骨強度の発育パターンは概ね両者類似の漸増傾向を示すと思われた。横断的データの平均値から 1SD 以上に非常に大きな低下を高等学校 2 年生の時に示した。これについては、それ以前では小学校 5・6 年生ではスポーツ少年団で野球を週 3 日以上行い、中学校の 3 年間は卓球部に所属して定期的に正課体育の時間以外にも身体活動を継続していたのが、高等学校に入学してからは文芸部に所属し家庭ではコンピュータに集中する等相対的に身体的非活動の状態に陥っていることが原因の一つと思われた。このように横断的データを基準として縦断的デー

タの変動を合理的に説明できることから、両者の整合性は概ねとれていると思われた。

踵骨骨強度の形態に対する相対値(OSI/身長と OSI/体重)も縦断的データは概ね横断的データに追随したものであり、時間経過との間の関連性は直線回帰を行った時よりも 2 次回帰を行った時の方が両者とも適合性が高い傾向であった。これらの現象は前報²³⁾では見られなかったことで、中学校以降において身長、体重及び踵骨骨強度とも、それ以前と比較して、発育の加速化状態は鈍化したことが反映した結果と思われた。また、経過月との直線回帰及び 2 次回帰において相関係数は OSI/身長より OSI/体重の方が有意に高いか高い傾向であったことから、経月的な身長に対する踵骨骨強度の変動の応答性より、体重に対する踵骨骨強度の変動の応答性の方がより安定している(一定方向にある)ことが示唆された。

また、本研究の男児の特徴として OSI/体重は各学年においてとも横断的データの平均値 $\pm 1SD$ 内であったが、OSI/身長は横断的データの平均値より 1SD 以上離れて低い値が 8 つの学年で示したことに對しては、体重の発育に対して身長の発育に対する OSI の発育の応答が低かったことが理由として考えられた。

V. 結論

1 名の男児を対象として小学校 1 年生から高等学校 3 年生まで 2 カ月毎に身長、体重及び踵骨骨強度を継続的に観察し(中学校 3 年生から高等学校 3 年生までは踵温も同時に観察する)、705 名の小学校 1 年生から高等学校 3 年生までの横断的データとの比較を行った。これらより以下の結果が得られた。

- ①男児における小学校 1 年生から高等学校 3 年生までの踵骨骨強度(絶対値)の発育パターンは、単純な漸増ではなくて有意な 3 次回帰式を描く非線形的な状態を示した。
- ②踵骨骨強度の経月的な発育パターンは、身長や体重の発育パターンほど平滑ではなく、大きな凹凸が

観察された。この凹凸と測定時における踵の温度との関連性を追究したが、確証は得られなかった。また、この大きな変動性が原因で踵骨強度と身長及び体重との関連性は、身長と体重との関連性よりも低いことが推測された。

③身長の年間発育量と踵骨強度の年間発育量のピークを示す時期は一致していなかった。

④身長及び体重に対する踵骨強度の相対値は、横断的データと縦断的データの結果がある程度類似しており、経過月に基づく変動は直線回帰よりも、2次回帰に対して適合性がより高かった。この現象については、中学校以降における身長、体重及び踵骨強度の発育の抑制（鈍化）等が関与していると思われる。

参考文献

- 1)佐藤哲也, 小池達也; 運動と骨粗鬆症, 診断と治療, 83:907-911,1995
- 2)沢井史穂; 運動習慣と骨密度, 体育の科学, 42:851-856, 1992
- 3)宮尾益理子, 中村哲郎; 骨粗鬆症と栄養, 診断と治療, 83:912-915, 1995
- 4)広田孝子, 広田憲二; 小児・成長期の栄養・運動と骨粗鬆症, 臨床栄養, 81:768-774, 1992
- 5)美馬宏夫充; 骨粗鬆症は防げる治せる, 初版, 骨密度検査と骨粗鬆症予防の食事と運動, マキノ出版, 90-129, 2000
- 6)片平弦一郎, 稲垣慶正, 辻正裕, 松井秀章, 酒井俊明; SXA 法による健常日本人男女の踵骨々密度の検討—青少年期より老年期まで—, 日骨形態誌, 5:109-115, 1995
- 7)Felson, D.T., Zhang, Y., Hannan, M.T., & Anderson, J.J.; Effects of weight and body mass index on bone mineral density in men and women : the Framingham study. J. Bone Miner. Res.,8:567-573, 1993
- 8)Ravn, P., Cizza, G, Bjarnason, N.H., Thompson ,D., Daley, M., Wasnich, R.D., Mcclung, M., Hosking, D., Yates, A.J.,& Christiansen,C.; Low body mass index is an important risk factor for low bone mass and increased bone loss in early postmenopausal women. J. Bone Miner. Res., 14:1622-1627,1999
- 9)Reid,I.R., Plank,L.D., & Evans, M.C.; Fat mass is an important determinant of whole body bone density in premenopausal women but not in men. J. Clin. Endocrinol. Metab., 75:779-782,1992
- 10)Dalsky, G.P.; Effect of exercise on bone : permissive influence of estrogen and calcium. Med. Sci. Sports Exerc.,22:281-285,1990
- 11)岡野亮介, 勝木建一, 碓井外幸, 勝木道夫, 中田勉, 山口昌夫; 女性における運動と骨密度—陸上中長距離選手と育児休業女性の場合—, 臨床スポーツ医学, 11:446-450, 1994
- 12)中村哲郎, 折茂肇; 骨粗鬆症とカルシウム代謝, 臨床科学, 24:1268-1275,1988
- 13)目崎登, 佐々木純一; スポーツによる月経障害, 産婦人科の実際, 39:1007-1010,1990
- 14)Pocock, N.A., Eisman, J.A., Hopper, J.L., Yeates, M.G, Sambrook, P.N., & Eberl,S.;Genetic determinants of bone mass in adults : a twin study. J. Clin. Invest., 80:706-710, 1987
- 15)Cooper, C., Cawley, M., Bhalla, A., Egger, P., Ring, F., Morton, L., & Barker, D.; Childhood, growth, physical activity, and peak bone mass in women. J. bone Miner. Res., 10:940-947,1995
- 16)Welten, D.C., Kemper, H.C.G, Post, G.B., Van Mechelen, W., Twisk, J., Lips, P., & Teule, G.J.; Weight-bearing activity during youth is a more important factor for peak bone mass than calcium intake. J. Bone Miner. Res., 9:1089-1096,1994
- 17)松枝睦美, 高橋香代, 加賀勝, 守分正, 清野佳紀; 成長率と生活習慣が骨強度に与える影響, 学校保健研究, 42:486-495, 2001

- 18)西山宗六, 井本岳秋; 世界の骨塩量の比較—小児期を中心に—, *CLINICAL CALCIUM*, 5:584-588, 1995
- 19)清野佳紀, 田中弘之, 西山宗六, 井本岳秋, 福永仁永; 日本人若年女子の最大骨量, *医学のあゆみ*, 170:1041-1042, 1994
- 20)三村寛一, 鉄口宗弘, 山本威久, 中塚喜義, 楊鴻生, 新井竜雄, 森井浩世; 超音波法による発育期における子どもの骨密度の経年変化, *Osteoporosis Jpn.*, 13:166-169, 2005
- 21)Schepper, J.D., Derde, M.P., Broeck, M., Piepsz, A., & Jonckheer, M.H.; Normative data for lumbar spine bone mineral content in children : influence of age, height, weight, and pubertal stage. *J.Nucl.Med.*, 32:216-220, 1991
- 22)Ruiz, J.C., Mandel, C., & Garabedian, M.; Influence of spontaneous calcium intake and physical exercise on the vertebral and femoral bone mineral density of children and adolescents. *J.Bone Miner.Res.*, 10:675-682, 1995
- 23)岡野亮介; 踵骨骨強度の発育状態に対する縦断的観察—小学校1年生時から小学校6年生時まで2カ月毎に縦断的に測定した男児一例について, *山口福祉文化大学研究紀要*, 1:91-97, 2008
- 24)Pocock, N.A., Babichev, A., Culton, N., Graney, K., Rooney, J., Bell, D., & Chu, J.; Temperature dependency of quantitative ultrasound. *Osteoporos. Int.*, 11:316-320, 2000
- 25)Iki, M., Kajita, E., Mitamura, S., Nishino, H., Yamagami, T., & Nagahama, N.; Precision of quantitative ultrasound measurement of the heel bone and effects of ambient temperature on the parameters. *Osteoporos. Int.*, 10:462-467, 1999
- 26)岡野亮介; 踵骨骨強度の発育特性と男女差, *学校保健研究*, 46:59-66, 2004

A Longitudinal Study on the Development of Calcaneus Bone Strength<Part 2> —A Case of One Male Student Measured Calcaneus Bone Strength Every 2 Months from the 1st Grade of Elementary School to the 3rd Grade of Senior High School—

Ryosuke OKANO

Abstract:

Height, weight and calcaneus bone strength of one male student was measured every 2 months from the 1st grade of elementary school to the 3rd grade of senior high school. In addition, calcaneus temperature was measured simultaneously from the 3rd grade of junior high school to the 3rd grade of senior high school. The longitudinal data was compared to the cross-sectional datum of 705 population from the 1st grade of elementary school to the 3rd grade of senior high school. The developmental pattern of one male student's calcaneus bone strength showed not gradual increment state but non linear state which revealed significant cubic regression curve. The month-elapsd development pattern of calcaneus bone strength seemed to be not so steady as one of height or weight, rather showed huge unevenness. The relationship between this unevenness and temperature of calcaneus was not clear. Furthermore, it was inferred that each developmental relationship of calcaneus bone strength with height and weight was poorer than one of height with weight due to this unevenness. The time of peak calcaneus bone strength velocity was not line with one of peak height velocity. The each relative value of calcaneus bone strength to height and weight was roughly the same both in longitudinal data and cross-sectional data, and both showed better fitting in quadratic regression than in linear regression. This phenomenon was supposed to be explained by the blunting development of height, weight and calcaneus bone strength from junior high school.