

非定常時系列解析プログラム DECOMP による

2 女児の発育の研究

—1 日 2 回 5 年間追跡観測データの解析—

小林 正 子

①

非定常時系列解析プログラムDECOMPによる

## 2 女 児 の 発 育 の 研 究

—— 1 日 2 回 5 年 間 追 跡 観 測 データの解析 ——

指導教官 東郷正美教授

東京大学大学院教育学研究科

体育学専攻 健康教育学専修

小 林 正 子

## 目 次

第1章	序論 — 研究の動機と目的 —	p. 1
第2章	対象と方法	p. 6
2. 1	被験者	p. 7
2. 2	測定	p. 8
	a 測定期間・測定項目・測定方法	p. 8
	b 測定誤差について	p. 11
2. 3	解析方法	p. 13
	時系列解析プログラム D E C O M P	p. 15
第3章	結果と考察	p. 18
3. 1	最適モデルと観測雑音	p. 19
3. 2	原時系列とトレンド	p. 33
	a 日内変動	p. 38
	b 身長と座高との関連	p. 45
	c 日内変動と睡眠時間	p. 47
3. 3	自己回帰過程 (A R) 成分	p. 52
3. 4	週変動成分	p. 57
第4章	総括論議	p. 67
4. 1	発育に現れる波動の意味	p. 68
4. 2	‘測る’ということについて	p. 75
4. 3	発育から子どもを見る	p. 77
	謝 辞	p. 80
	文 献	p. 81
	付 録	

本論文中で使用した主な略号は次の通りである。

M S T	: Morning Stature	朝の身長値
E S T	: Evening Stature	夜の身長値
E' S T	: Previous Evening Stature	前夜の身長値
M W T	: Morning Weight	朝の体重値
E W T	: Evening Weight	夜の体重値
E' W T	: Previous Evening Weight	前夜の体重値
A R	: Autoregressive Process	自己回帰過程



## 第1章 序 論

### 一研究の動機と目的一

発育学は、小児を測ることから始まった。

今から二百年余も昔のこと、フランスの Philibert Gueneau de Montbeillard は息子の誕生から18歳まで(1759-77)の身長を、およそ半年ごとに測定した。そして1777年、フランスの Buffon は " Histoire Naturelle " に、その結果を発表した。近代発育学はここから始まった (Tanner 1979) といわれている。しかし不幸にしてその後の発育の研究では、特定の少人数の小児を6カ月またはそれ以下の間隔で長期間に亘って測定をくり返すという地道な方法は例外となってしまった。

それから150年後、アメリカの Scammon (1927) は de Montbeillard の記録をメートル法に換算して紹介した。ところがその半年ごとの測定値は、Tanner (1957) によって年間発育速度を求める段階で、何ら根拠を示すことなく1年ごとの記録に置き換えられ、実際の発育速度とは異なる姿をとって (東郷 1981)、彼の名著といわれ広く読まれている Growth at Adolescence (1957) の冒頭に図示された。そして Tanner 以後、世界の発育学は、測定間隔1年を主体とした研究へと移行していったのである。

個人の発育を短い測定間隔で観測する研究は、最初に日本で始められ、松林鎭三 (1932) が、広島で多数の女学生の一人一人の身長と体重を毎月測定していた。この日本語で書かれた論文は、外国はもとより、国内でも知られることは少なかった。東郷から始まるわが国での時系列解析による発育の研究は、この松林の研究を継承したものであることが、後になって分かった。

ところで、なぜ Tanner が de Montbeillard の息子の身長の発育速度を1年ごとの測定値のみで計算したかについては、東郷 (1981) が、Gray & Faber (1940) に端を発するとしている。彼らは3カ月間隔で測定を試みているが、その結果、短間隔の測定は測定値に波動が現れ解析を混乱させるだけである、と結論づけた。せっかく発育の波動に気づきながら、それを誤差と解釈してしまったのである。そこで Tanner は、故意に波動が現れないよう、しかも、「波動する値の背後に滑らかで緩やかに変化する曲線を見い出したかのように」 (東郷 1981 p. 395) 発育曲線を描い

たものと思われる。しかし東郷(1981, 1989)は、de Montbeillard の息子の身長  
の发育速度を、Scammon がメートル法に換算した値から求めてみた。するとTanner  
の速度曲線とは異なり、发育速度が加速・減速をくり返し、波動が明確に現れてい  
ることを確認した。ところがこのように実際に現れる发育の波動について、季節変  
動に関する研究(Marshall 1971, 1978; Gindhart 1972)以外は注目されなかった。  
Marshall も2年足らずの期間しか測定せず、その他の波動には関心を払っていない。  
そして、1年間隔で得た少ない測定値に发育曲線を当てはめることで发育を知ろう  
とする研究が盛んに行われてきた(Bayley 1956; Deming 1957; Deming and  
Washburn 1963; Tanner et al. 1966; Day 1966; Grizzle and Allen 1969;  
Wingerd 1970; Cline 1974a, b; Fearn 1975; Rao 1975; Largo et al. 1978;  
Marubini 1978; Preece and Baines 1978; Berkey 1982a, b; Berkey et al.  
1983; Karlberg et al. 1987; Gasser et al. 1984, 1985; Gasser 1985)。

しかし、发育研究の本質に立ち返ってみると、実際に存在する波動を無視し、僅  
かな回数の測定値に发育曲線を当てはめることで、发育の一体何が解明されるとい  
うのだろうか。子どもがいつどのように发育しているのかを知ることが、发育研究  
においては重要な目的のひとつである。それが明らかになれば子ども個人について、  
今現在发育のどの段階にあり、これからどうなっていくのかを予測することができる。  
また、何か異常が起きている場合は早期発見が可能となる。しかし、このよ  
うな子どもの健康に役立つ個人の发育の解析は従来の发育学においてはほとんど研  
究の対象にされず、個人よりも集団の发育が観察されてきた。集団を測る研究は、  
その土地や国の发育水準、子どもの集団としての特徴などを教えてくれる。それは  
大切なことではあるが、多数の個人を平均して得られた发育の情報は個人の发育と  
は全く異なった姿を見せ、個人の发育を知る手がかりにはならない。個人の发育と  
集団の发育とは厳密に区別されねばならないのである。また、個人を測ることが重  
要であるという認識は最近高まってきたものの、1年間隔の測定による研究では集

団の平均に似た発育の様子しか明らかにされず、発育について掘り下げた検討を行うことはできない。

Togo and Togo (1982, 1988, 1989) によって月次データが時系列解析プログラムで解析され、発育学に新しい道が開けてから10年余りになる。そして近年、徐々にではあるが、世界の発育学は変化の兆しが見え始めてきた。短い間隔での測定で発育を研究しようとする試みがなされているのである (Lampl 1983, 1992, 1993; Hermanussen and Sippell 1985; Lampl et al. 1992; Lampl and Johnson 1993; Hermanussen et al. 1987, 1988a, b, c; Hermanussen 1987, 1993; 川畑, 芦澤 1987; Wales and Milner 1987; Ashizawa and Kawabata 1990; Michaelsen et al. 1991)。

しかし上記の研究は、依然として波動を正面から解明しようとはしていない。殆どの研究において波動は誤差として取り扱われているか、あるいは測定値そのものから結論を導いているだけである。波動は誤差として片付けられるのではなく、その中に発育の本質に迫る情報が含まれている (Togo et al. 1977; Togo and Togo 1982, 1988, 1989; Kobayashi and Togo 1991, 1993; Kobayashi et al. 1994)。

そこで、現在必要とされている発育の研究は、短い測定間隔で個人を追跡観測し、原時系列に現れる波動を解析してその意味を解明することである。従来の発育研究における測定誤差に関する問題は、適切な処理によって誤差を取り除くことのできる時系列解析を用いれば解決できる。さらに、発育は時間と共に変化する現象であり、確率的な現象である。よってその解析には時系列解析が必要不可欠となる。

非定常時系列解析プログラム DECOMP は、毎日のデータを解析できる数少ない時系列解析プログラムのひとつであり、不規則成分や測定誤差を観測雑音として分離し、非定常な原時系列を、トレンド成分、周期成分等のいくつかの成分へ分解する。

以上のことから、本研究は長期に亘って2女児の発育を毎日2回観測し、非定常

時系列解析プログラムDECOMPを用いて身長・体重に現れた波動を解析することとで、個人の発育について詳しい情報を得ることを目的とした。その結果、各々の成分の検討と原時系列から子どもの日々の発育の様子が明らかになり、個人の発育に関する新しい知見が得られた。

なお本論文の一部を、以下のように公表した。

- ① 小林正子 “週末に発育する子供” 医学のあゆみ. 161-8: 525, 1992.
- ② Kobayashi M. and Togo M. "Twice-daily measurements of stature and body weight in two children and one adult" American Journal of Human Biology 5: 193-201, 1993.
- ③ Kobayashi M. and Togo M. "The time-series analysis of stature and body weight, measured twice daily in two children and one adult" 6th International Congress of Auxology. Madrid, 1991. (oral presentation).
- ④ 小林正子, 東郷正美 “1日2回の身体計測からみえる発育の姿” 学校保健研究(学会共同研究「発育発達」最終報告) 36-2: 50-53, 1994.
- ⑤ Kobayashi M., Kitagawa G. and Togo M. "Time-series analysis of stature and body weight measured twice-daily in two girls using the AR process detecting program DECOMP" 7th International Congress of Auxology. Szombathely, 1994. (poster session).
- ⑥ 東郷正美, 小林正子 “発育研究における測定間隔” 平成5年度科学研究費補助金(総合研究(A))研究成果報告書-教育と発育の相互作用についての研究. 4-7, 1994.
- ⑦ 東郷正美, 小林正子 “毎日2回の測定からみた2女子の発育” 平成5年度科学研究費補助金(総合研究(A))研究成果報告書-教育と発育の相互作用についての研究, 12-14, 1994.



## 第2章 対象と方法



## 2. 1 被験者

被験者は、埼玉県浦和市中心部に住む成長期の姉妹である。姉Aは1975年生まれ、妹Bは1979年生まれで、3年3カ月の年齢差がある。1988年7月1日測定開始時の年齢は、それぞれ12.56歳（中学1年）、9.32歳（小学4年）であった（表1）。

被験者の家庭は父母との4人家族で、父親は都内の会社に勤めるサラリーマン、母親は当時定職はなかったが多忙であった。しかし日曜日は両親とも殆ど休みをとった。姉Aは中学時代は水泳部に所属し、そのほか週3回、数学と英語の塾（火・木・土）に通っていた。また妹Bは、小学校から中学2年生まで、週2回バレエを習い（水・金）、中学時代はテニス部に所属していた。

ところで、本研究は短い測定間隔で観測した2女児の発育を時系列解析によって説明することを目的としているが、発育という現象をより深く理解するためには、発育のない大人を対照として2女児と同様の方法で測定し、解析結果を比較することが必要と思われる。そこで姉妹の母親Mも測定した。

測定期間中の3名の健康状態は、3人とも1年に1、2度軽い風邪をひき、またAは88年10月に38.5度の発熱、Bは92年1月に38度の発熱をみたが、その他の期間にはBが軽い胃痛または腹痛を訴える程度で、概ね健康だった。

初潮の到来は、Aは89年1月（13.13歳）、Bは93年4月（14.15歳）であった。

表 2-1-1 測定期間中の被験者の年齢（測定開始日・3年後・測定終了日）

被験者	生年月日	測定期間中の年齢		
		'88. 7. 1	'91. 6. 30	'93. 8. 20
A（姉）	'75. 12. 8	12.56歳	—	15.56歳
B（妹）	'79. 3. 6	9.32歳	—	12.32歳 — 14.46歳
M（母親）	'50. 1. 2	38.50歳	—	41.50歳 — 43.63歳

## 2. 2 測定

### a 測定期間・測定項目・測定方法

各被験者の測定項目と測定期間を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 測定項目および測定期間

		測定開始	3 年経過	5 年経過		
測定項目		'88. 7. 1	— '91. 6. 30	— '93. 8. 20	測定期間中の欠測値の数	
身長	A	_____			朝 8 回	夜 7 回
	B	_____			朝 20	夜 20
	M	_____			朝 23	夜 24
体重	A	_____			朝 8	夜 7
	B	_____			朝 20	夜 20
	M	_____			朝 23	夜 24
座高	A	'90. 3. 26	_____		朝 52	夜 45
	B		_____		朝 41	夜 39
	M		_____		朝 29	夜 30

本研究は、継続可能な限り短い測定間隔で発育を観測することが、まず第一の目的である。そのため 1 日 2 回、起床時・就寝時の測定を試みた。そして、その予備計測として 1988 年 6 月 10 日より身長・体重の測定を開始した。

身長の測定方法は、被験者に自然な直立姿勢をとらせ、頭は耳眼水平面位に保ち、踵を揃えて背後の身長計につけ、両足先は 30～40 度を開き、膝を伸ばし、踵から臀

部、背部と軽く身長形に接触した位置で、床面より頭頂点までの垂直距離を測定した。体重は、静かに体重計に乗り、目の高さで目盛りを読んだ。測定時の衣類はパジャマなど薄着を着用したが、その分は差し引いて記録した。

この予備計測期間中に明らかになったことは、朝の身長は起床後急速に縮むということである。起床後どのように身長が縮むかについては、その後の1990年8月に詳細な経過を記録した(図 2-2-1)が、予備計測の段階でも、起床後5分も経過すると2~3mm縮むことが判明したため、母親は被験者の子どもたちが起床すると直ちに身長を測定しなければならなかった。朝は、大人でも同様だが、子どもは目が覚めると直ぐトイレに行きたくなる。そこを捕らえて身長を測定するので、起床直後は身長を測定するのが精一杯であり、体重は排尿後に測定するという順序が自然に出来上がった。排尿前の体重も測定することが望ましかったが、当時は身長・体重同時に測定できる機器を準備することができなかったため、朝の身長は起床直後、体重は朝最初の排尿後、また夜の身長・体重は就寝直前に測定することに定めた。3週間ほどで互いに測定に慣れてきたため、本測定を開始した。

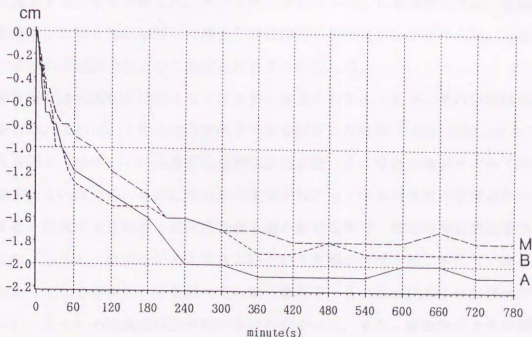


図 2-2-1 起床直後からの身長減少

測定は1988年7月1日朝から記録された。被験者B、Mに関しては、それぞれBが24日およびMが20日の欠測値を含むものの、以後5年と51日(1877日、以後5年間で記す)、すなわち1993年8月20日まで継続した。

Aについては、測定は3年間継続したが、91年7月21日から8月10まで海外にホームステイに出かけ一旦中断したのを契機に、帰国後測定に協力的でなくなった。その理由は、測定が面倒というばかりでなく身長が殆ど伸びない状態が続いており、測定に興味を持てなくなったことも原因であろうと考えられる。また、Bの5年余り続いた測定が中止されたのも、身長が急に伸びなくなり、Bが測定を拒否するようになったためである。

A、Bの測定は、約1年4カ月間、母親によって行われた。母親の測定は母親自身で行った。しかし上記の理由で身長は起床後直ちに測定する必要があり、さらに母親が留守のときでも測定できれば欠測値が最小限に抑えられるため、測定および記録は被験者自身が行った方が良いということが経験的に明らかになってきた。また、母親が自分自身を測定した場合の誤差も小さいことが判明したため(2・2-b 測定誤差参照)、被験者A、Bに身長計測時の正しい姿勢をとらせた後、自分自身で測定する方法を訓練した。その方法は身長の安定した夜の測定時に、被験者自身が測定した値と母親が測った場合とがほぼ同じ値になるまで続けられ、Aは1週間、Bは約2週間でひとりで測定出来るようになった。

測定項目は、90年3月25日までは身長と体重のみであったが、それ以後は座高も測定した。これは、1年4カ月分のデータを解析した結果(小林 1990)から、身長が3週間で1cm伸びている身長急伸期に日内変動(主に脊椎の伸縮によって起こる)が減少していたため、体幹に何らかの変化が起きている可能性が示唆されたことによる。座高は身長同様、起床直後から縮み始めるので、測定は身長測定後すぐに行った。しかし、尿意をがまんできないという事態が何度も起こったり、座高を測定しようとして腰掛けたまま眠ってしまったりで、A、Bの座高には欠測値が多くなった。そのため座高は時系列解析を行わなかった。また、睡眠時間とその間の身長・体重の変化量との関係に注目して、測定開始から約半年後の1989年1月から測定時刻も記録した。但し、本研究で用いる「睡眠時間」とは、就寝時刻から起床時



刻までの時間を指すもので、実際に眠っていた時間ではなく、身体が横になっていた時間を意味するものである（但し子どもの被験者は、床にはいると間もなく眠りについたということである）。

測定機器については、家庭内における測定は分銅式（hold機能付き）身長計と最小目盛り200gの体重計を用い、身長は0.1cmまで、体重は0.1kgまで読んだ。なお、身長計・体重計とも平らな床の上に置き、いずれの被験者のベッドからも30秒以内に到達できる位置に設置された。また、家庭以外での測定では身長・体重のみ測定し、壁掛け式の簡易身長計「RAVEN MINIMETRE」（英国製）と500g目盛りのヘルスメーターを使用した。

#### b 測定誤差について

どのような測定においても出来る限り正確に測ろうとすることは必要である。しかし、誤差を恐れるあまり発育の研究において短い間隔での測定が行われてこなかったという事実がある。また、測定には付きものの誤差の取り扱いにおいても、時間が経ち体形が変われば誤差そのものも変わっていくということを認識せず、伝統的な方法で測定誤差が求められ議論されてきた。例えば Lampl(1992)は身長の日次データの測定誤差を求めるに当たって Cameron(1986)の方法を採用しているが、ちなみにそれと同様の方法を用いて A, B, M の standard error of measurements および technical error を計算してみると、

朝の身長測定時に20秒間隔で2度測定し、それを20日間継続(1990年9月中)したときの2回の測定値の差の sd は、 $A = 0.08$ ,  $B = 0.10$ ,  $M = 0.07$  (単位cm)である。

standard error of measurements は次のように計算され、

$$S_{\text{meas.}} = S_d / \sqrt{2}.$$

これより、

$$A = 0.06, \quad B = 0.07, \quad M = 0.05 \quad (\text{単位cm})$$

となる。

また、technical error は

$$S_{tech} = \sqrt{\sum d^2 / 2N}$$

より求められ、その結果、

$$A = 0.06, \quad B = 0.07, \quad M = 0.06 \quad (\text{単位cm})$$

という値が得られた。

これらは Lamp1(1992)が1人の男児を毎日測定した値

$$sd=0.17, \quad S_{mean}=0.12, \quad S_{tech}=0.15 \quad (\text{単位cm } n=292)$$

に比べて十分小さい。但し2度測定の回数は異なる。さらに時間的経過を考慮しないで計算を行うと、最初の1年4カ月間(488日)に母親Mが自分自身を測定した身長之夜の測定値は、

$$mean = 157.58, \quad sd = 0.11 \text{ cm}$$

であった。

Mには身長発育が無いため、Lamp1の出した値と比較にはならないが、逆に言えば、発育して時間とともに変化していく体形の測定誤差をひとまとめに処理することの方に問題があると考えられる。時間とともに変化する量を扱う場合は、誤差という観点から見ても、時間の流れのなかで誤差を取り除く処理を実行する時系列解析が必要であるといえる。

体重では、A, B, Mとも各々20回体重計に乗り降りしたが、すべて同一の値であった。座高は測定が難しく、3月初めから測定を開始したが、最初は各々10回測定して平均すると、測定値は平均値 $\pm 1$  cmの範囲であった。しかし25日間に2回の測定値の開きが0.2cm以内に収まるようになったため、26日から1回測定の記録を残した。



## 2. 3 解析方法

身長、体重および睡眠時間は、非定常時系列解析プログラムDECOMPを用いて解析した。DECOMP選定の理由は、1年4カ月分の観測データを、非定常時系列解析プログラムBAYSEA (Akaike 1980; Akaike and Ishiguro 1980; Akaike et al. 1985; 石黒 1981, 1986) で解析したところ (小林 1990)、トレンドに波動が現れた (図 2-3-1, 図 2-3-2) が、これらの波動にはトレンド以外の成分が含まれている可能性が考えられたためである。そこで、より多くの成分に分解出来るプログラムを求めて、自己回帰 (AR) 成分を分離できるDECOMPを選択した。しかもDECOMPは、欠測値が存在しても解析できるという利点を持つことから、本データの解析においては、現在考えられる最適の時系列解析プログラムとなっている。

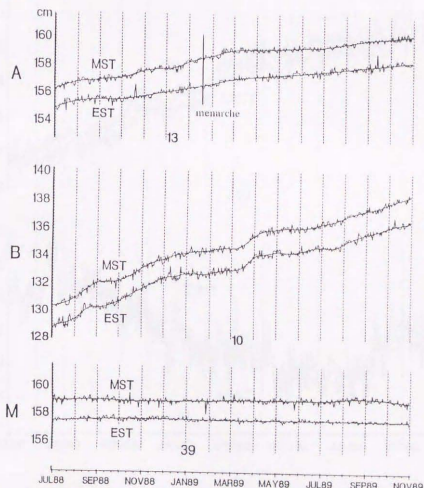


図 2-3-1 A, B, M、1年4カ月分の身長の原時系列とBAYSEAによって解析したトレンド

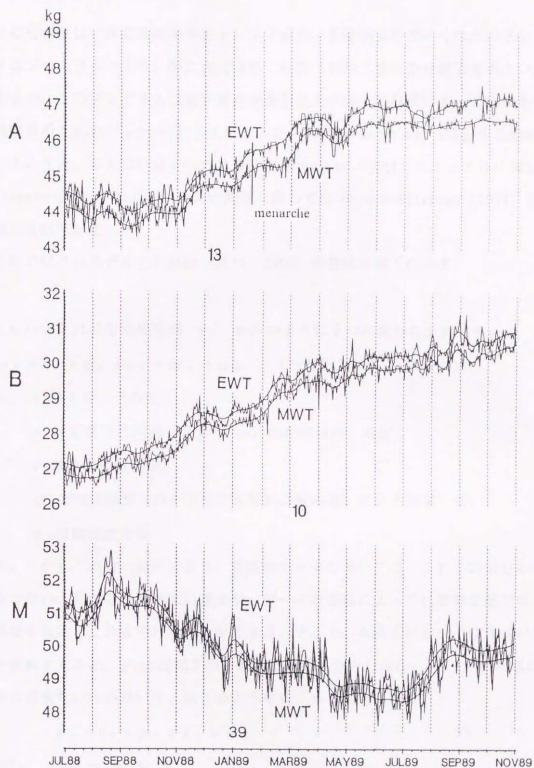


図 2-3-2 A, B, M、1年4カ月分の体重の原時系列とBAYSEAによって解析したトレンド

## 時系列解析プログラムDECOMP

DECOMPは、非定常時系列をトレンド成分、季節成分などいくつかの成分へ分解するプログラムであり、特に自己回帰（石黒 1988b）成分を分離できるという特徴をもつ。このプログラムは統計数理研究所の北川源四郎教授によって開発され、時系列解析のためのパッケージTIMSAC-84(Akaike et al. 1985)中に納められている。また、DECOMP中の計算法はKitagawa(1981)に、モデルに関してはKitagawa-Gersch(1984)、予測の問題に関してはGersch-Kitagawa(1983)に詳しく論じられている。

DECOMPのモデルと計算法（北川 1986）の概略を以下に示す。

DECOMPは非定常時系列  $y_n$  を次のように5つの成分に分解する。

$$y_n = t_n + p_n + s_n + td_n + w_n \quad (\text{一般形})$$

ただし、 $t_n$ はトレンド成分、

$p_n$ は定常自己回帰（AR : autoregressive）成分、

$s_n$ は季節変動成分、

$td_n$ は曜日効果（ひと月中の各曜日の数の違いによる効果）項、

$w_n$ は観測雑音項

である。しかしこれは一般形であり、実際のデータにおいては、これらの成分のうち一部は無いと見なした方がよい場合や、データの種類によっては季節変動でなく他の周期を仮定して計算を行うことができる。そこで、本研究においては毎日のデータを解析するため、 $s_n$ は周期7の1週間の変動成分とした（ $\rightarrow c_n$ ）。また曜日効果項は必要ないため除いて、以下のようなモデルを使用した。

$$y_n = t_n + p_n + c_n + w_n \quad (1)$$

ただし、 $w_n \sim N(0, \sigma^2)$

これら  $t_n$ ,  $p_n$ ,  $c_n$  の各成分に対して、DECOMPは確率差分方程式で表される成分モデルを仮定している。

### <トレンド成分>

トレンド成分  $t_n$  は  $m_1$  階の確率差分方程式

$$(1-B)^{m_1} t_n = v_{1,n} \quad (2)$$

$$v_{1,n} \sim N(0, \tau_1^2)$$

に従っているものとする。ただし、 $B$  は  $B t_n \equiv t_{n-1}$  で定義されるシフトオペレーターである。差分の階差  $m_1$  として通常は 1, 2 または 3 が用いられる。本研究においては、1 ~ 3 で解析を試みた結果、 $m_1 = 2$  に設定した。

### <定常AR成分>

定常AR成分は  $m_2$  次の自己回帰 (AR) モデル

$$p_{2,n} = a_1 p_{2,n-1} + \dots + a_{m_2} p_{2,n-m_2} + v_{2,n} \quad (3)$$

$$v_{2,n} \sim N(0, \tau_2^2)$$

に従うものとする。トレンド成分が長期的な趨勢の変化を示すのに対し、この定常AR成分は局所的な定常変動成分である。

### <週変動成分>

周期  $q$  の周期的変動成分のモデルとしては、

$$c_n = -c_{n-1} - c_{n-2} - \dots - c_{n-q+1} + v_{3,n} \quad (4)$$

$$v_{3,n} \sim N(0, \tau_3^2)$$

が考えられ、さらに高次の階差モデル

$$(1-B \dots - B^{q-1})^k c_n = v_{3,n} \quad (5)$$

がよいこともある。プログラム中ではこの次数  $k$  は SORDER と書かれている。

そして、これらのモデルが全体として一つの状態空間表現によって表される。すなわち、

$$x_n = F x_{n-1} + G v_n$$

$$y_n = H x_n + w_n \quad (6)$$

ただし、

$$F = \begin{bmatrix} F_1 & & & \\ & F_2 & & \\ & & F_3 & \\ & & & F_4 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} G_1 & & \\ & G_2 & \\ & & G_3 \\ & & & 0 \end{bmatrix}$$

$$H = (H_1 \ H_2 \ H_3 \ H_4)$$

$$x_n = \begin{bmatrix} x_{1,n} \\ x_{2,n} \\ x_{3,n} \\ x_{4,n} \end{bmatrix}, \quad v_n = \begin{bmatrix} v_{1,n} \\ v_{2,n} \\ v_{3,n} \end{bmatrix}$$

である。各  $F_i$ ,  $G_i$ ,  $H_i$ ,  $x_{i,n}$ ,  $v_{i,n}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) は成分モデルの状態空間表現から定まる。各  $x_{i,n}$  の次元はそれぞれ  $m_1, m_2, m_3$  である。ただし  $m_3 = (q-1) * \text{SORDER}$  となっている。

(6) の状態空間表現は観測ノイズの分散  $\sigma^2$ 、システムノイズの分散  $\tau_1^2$ ,  $\tau_2^2$ ,  $\tau_3^2$ 、自己回帰係数  $a_1, \dots, a_m$  を未知パラメータとして含んでいる。これらはカルマンフィルタ (北川 1988) を用いて最尤推定法により計算される。

実際の解析において、 $k$  (次数) や  $q$  (周期) の値を決定するためには、いろいろな組み合わせで解析し、その結果を A I C (Akaike Information Criterion, 赤池情報量規準) と呼ばれる量で判断する (石黒 1988a)。

$A I C = -2 * (\text{モデルの最大対数尤度}) + 2 * (\text{調整可能なパラメータの数})$  として定義されており、負の定数が掛かっているため、A I C が小さいほど良いモデルと見なされることになる。

時系列解析は、東京大学大型計算機センターおよび統計数理研究所において行った。また、その他の計算とグラフの出力は S A S (1985) を用い、東京大学大型計算機センターにて行った。



### 第3章 結果と考察



### 3. 1 最適モデルと観測雑音

被験者A, BおよびMの身長(朝値MST・夜値EST)・体重(朝値MWT・夜値EWT)をDECOMPで解析したが、被験者間の比較のため、Aの3年分の記録に合わせてB, Mも3年分を解析し、さらにB, Mのみ5年分を解析した。前章に記したように、解析は、ARの次数0、周期無しから順に解析していき、AICの最も低い値を最適モデルとして選択するという方法をとった。すべての解析結果は、表 3-1-2 および表 3-1-3 に示したが、\*印のついたものがAICの最低値である。但し、AICがほとんど同じ(±1以上違わない)場合はARの次数が低い方を最適モデルとして選んだ。決定されたモデルは、各々表 3-1-1 に示した。

表 3-1-1 最適モデル(トレンドの次数 = 2)

		3年分		5年分	
		ARの次数	7日周期	ARの次数	7日周期
MST	A	1	有	—	—
	B	3	有	3	有
	M	3	有	1	有
EST	A	1	有	—	—
	B	2	有	2	有
	M	1	無	0	有(微量)
MWT	A	3	有	—	—
	B	3	有	3	有
	M	3	有	1	有
EWT	A	3	有	—	—
	B	3	有	3	有
	M	3	有	1	有

表 3-1-2 身長各モデルごとの A I C (  $k$  は A R の次数、 $q$  は周期 )

身長 3 年分

$k$	$q$	MST			EST		
		A	B	M	A	B	M
0	0	-1095.93	-1103.15	-985.27	-1237.25	-784.19	-2304.14
0	7	-1252.10	-1126.20	-1106.88	-1238.56	-793.93	-2302.06
1	0	-1138.56	-1140.95	-1016.51	-1284.65	-878.35	-2345.03*
1	7	-1316.90*	-1163.97	-1149.92	-1286.96*	-889.96	-2343.54
2	0	-1089.95	-1149.93	-1015.60	-1231.24	-880.84	-2343.52
2	7	-1246.08	-1174.45	-1148.20	-1284.98	-892.71*	-2342.04
3	0	-1179.93	-1146.59	-1026.81	-1229.22	-880.19	-2296.14
3	7	-1224.10	-1177.23*	-1152.70*	-1230.50	-891.50	
4	0		-1151.66	-975.27		-878.72	
4	7		-1175.39	-1101.12		-802.37	

身長 5 年分

$k$	$q$	MST		EST	
		B	M	B	M
0	0	-2417.51	-1887.17	-2031.01	-4302.27
0	7	-2470.27	-2114.89	-2066.61	-4313.65*
1	0	-2489.58	-1883.16	-2186.20	-4298.27
1	7	-2545.39	-2178.36*	-2227.32	-4309.64
2	0	-2411.61	-1881.17	-2187.80	-4296.27
2	7	-2464.25	-2108.79	-2229.20*	-4307.64
3	0	-2504.25	-1878.17	-2189.47	-4295.12
3	7	-2559.59*	-2106.89	-2228.96	-4306.51
4	0	-2407.61	-1877.17	-2188.15	
4	7		-1175.39	-2229.26*	

\* A I C の最低値

表 3-1-3 体重の各モデルごとの A I C (  $k$  は A R の次数、 $q$  は周期 )

体重 3 年分

$k$	$q$	MWT			EWT		
		A	B	M	A	B	M
0	0	-696.68	-402.49	1161.43	-542.83	-344.45	1327.34
0	7	-718.25	-434.09	1118.60	-548.82	-369.11	1286.07
1	0	-845.58	-518.55	929.76	-669.17	-468.71	1124.79
1	7	-870.27	-554.81	885.14	-705.44	-494.82	1085.25
2	0	-843.57	-519.43	931.76	-697.18	-468.61	1126.79
2	7	-868.32	-555.89	887.15	-703.46	-495.18	1087.27
3	0	-858.62	-533.80	924.89	-710.34	-483.46	1117.71
3	7	-882.86*	-567.40*	882.53*	-715.75*	-507.75*	1083.02*
4	0	-856.94	-531.85	927.24	-709.02	-481.44	1119.87
4	7	-881.25	-565.90	884.93	-714.12	-505.72	1085.00

体重 5 年分

$k$	$q$	MWT		EWT	
		B	M	B	M
0	0	-976.45	1920.21	-910.57	2248.95
0	7	-1017.82	1848.16	-944.54	2173.21
1	0	-1180.87	1513.92	-1117.95	1893.32
1	7	-1232.36	1431.35*	-1153.61	1820.92*
2	0	-1179.07	1516.04	-1116.41	1895.31
2	7	-1230.50	1433.35	-1152.31	1822.88
3	0	-1196.11	1513.89	-1135.67	1887.88
3	7	-1243.79*	1432.72	-1169.70*	1821.25
4	0	-1135.03	1515.89	-1135.36	1889.87
4	7	-1242.97	1434.22	-1169.46	1822.91

\* A I C の最低値

なお、DECOMPでは対数をとって乗法モデルとして計算させることも可能だが、試みに各被験者のいくつかのモデルを解析してAICを比較したところ、身長・体重とも加法モデルの方がAICが低く、特にBにおいてははるかに低い値だった。東郷(1994)はDECOMPで同胞5人の月次データを解析した結果、身長は対数をとらず、体重は対数をとったときの方がAICが低くなったと報告しているが、本研究における日次データの解析では、Mの体重において加法モデルの方が5ないし10程度AICが低く、Aでは30前後の差があった。Bは体重でも100から300も加法モデルの方が良い値であった。これはデータの数や測定間隔、測定期間等の違いによるのではないかと考えられる。

AICにより最適モデルが選定されたので、そのモデルによる解析結果を次ページ以降に図示した(図 3-1-1 ~ 3-1-10 ; 但し詳細な図については付録参照)。

各図より、分離された観測雑音(observation noise)は、測定開始から約1年半までは $\pm 0.4$ (cm, kg)程度であったが、それ以後減少する傾向を示した。これは特にB、Mの身長において顕著であり、測定技術が向上したことを意味しているのかもしれない。また、時折高い値が見られることがあるが、これは主に不規則変動によるものと思われる。例えば、Aが熱を出して1日寝たり起きたりしていた88年10月の夜の身長測定値EST、およびBの発熱の折りの92年1月のESTは普段よりも高い数値を示したが、これも観測雑音として分離されている。時系列解析により、このように測定誤差や不規則変動を、観測雑音として分離することで、残りの成分について詳細に検討することが可能となるわけである。

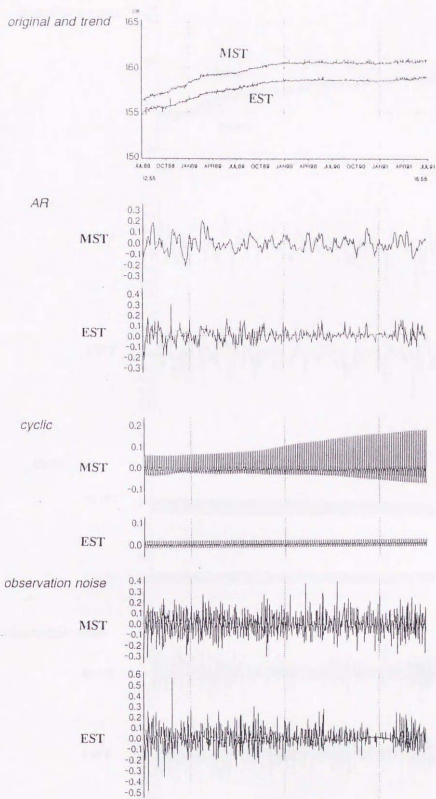
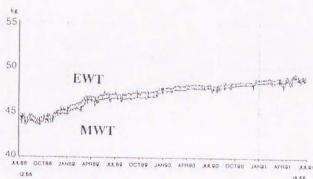


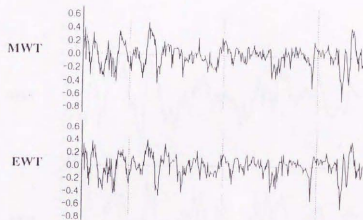
図 3-1-1 A : 3 年間の身長 MST ; AR の次数 = 1 , 7 日周期有り  
EST ; AR の次数 = 1 , 7 日周期有り



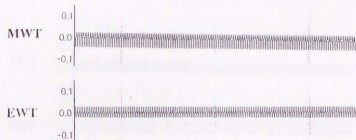
original and trend



AR



cyclic



observation noise

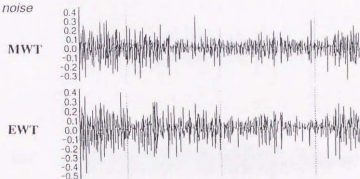
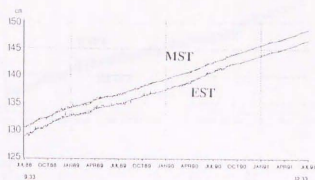


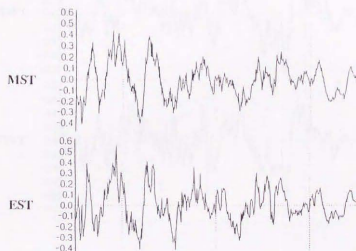
図 3-1-2  $\Lambda$  : 3年間の体重 MWT ;  $\Lambda R$ の次数=3, 7日周期有り  
EWT ;  $\Lambda R$ の次数=3, 7日周期有り



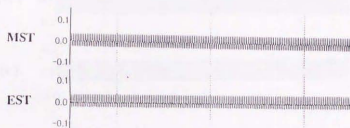
original and trend



AR



cyclic



observation noise

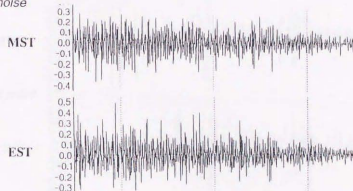


図 3-1-3 B : 3 年間の身長 MST ; AR の次数 = 3 , 7 日周期有り  
EST ; AR の次数 = 2 , 7 日周期有り

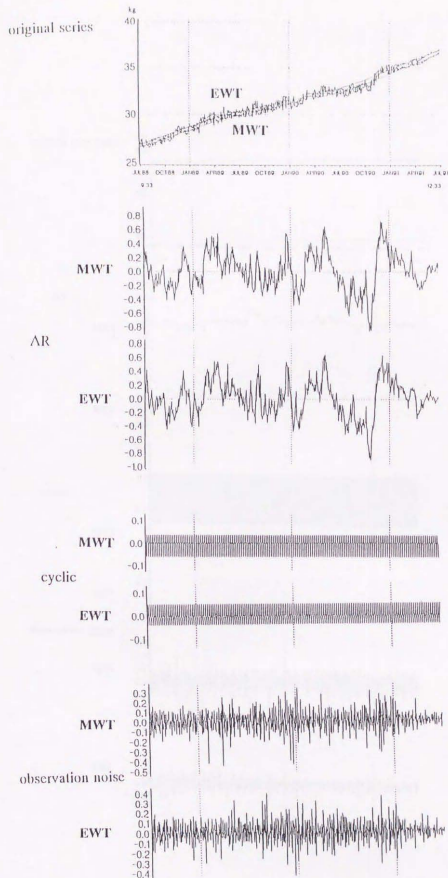


図 3-1-4 B : 3年間の体重 MWT ;  $\Delta R$ の次数=3, 7日周期有り  
EWT ;  $\Delta R$ の次数=3, 7日周期有り

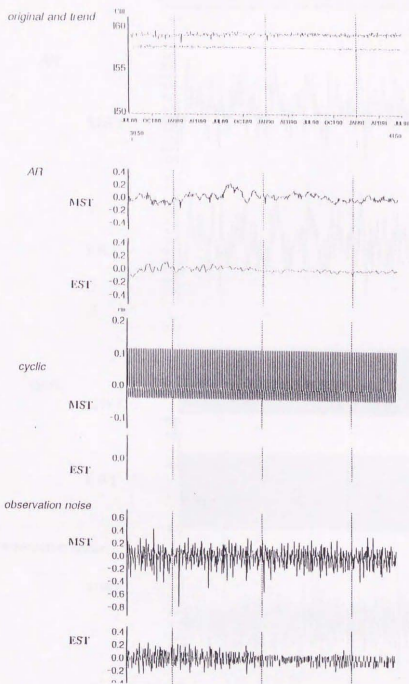
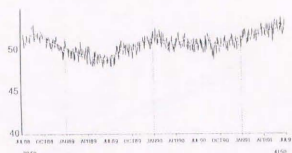


図 3-1-5 M : 3 年間の身長 MST ; AR の次数 = 3 , 7 日周期有り

EST ; AR の次数 = 1 , 7 日周期無し

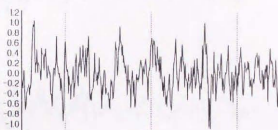
original and trend



AR



MWT

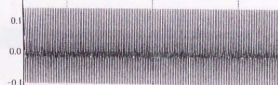


EWT

cyclic

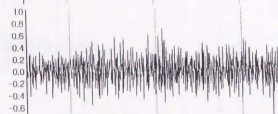


MWT



EWT

observation noise



MWT



EWT

図 3-1-6 M : 3 年間の体重 MWT ; AR の次数 = 3 , 7 日周期有り  
EWT ; AR の次数 = 3 , 7 日周期有り

original and trend

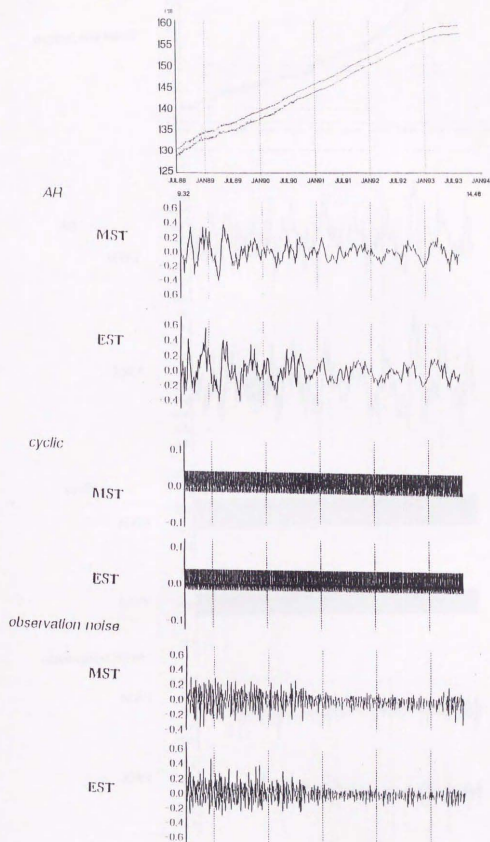


図 3-1-7 B : 5 年間の身長 MST : AR の次数 = 3, 7 日周期有り

EST : AR の次数 = 2, 7 日周期有り



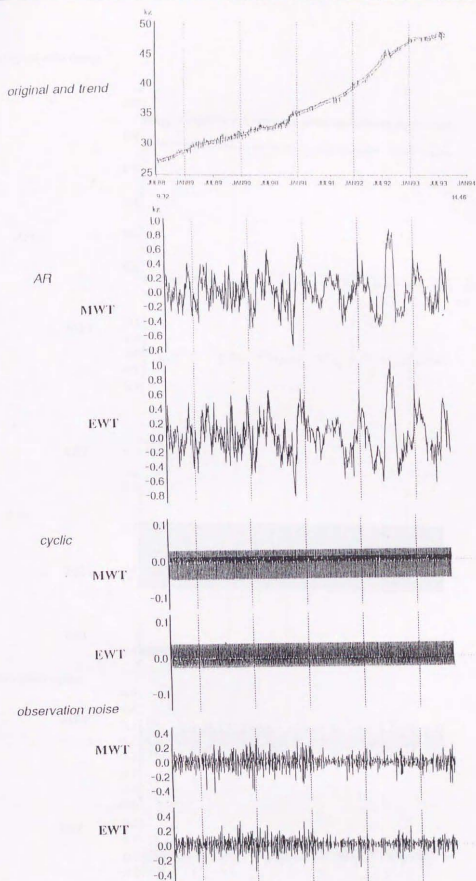
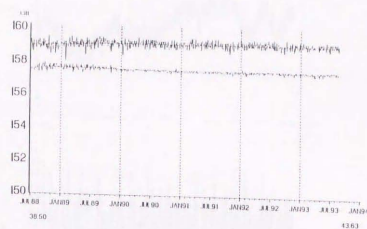


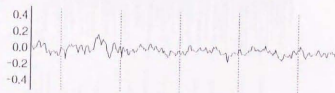
図 3-1-8 B : 5 年間の体重 MWT ; AR の次数 = 3 , 7 日周期有り  
EWT ; AR の次数 = 3 , 7 日周期有り

original and trend

AR



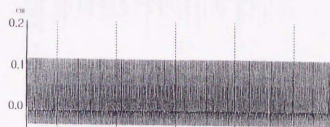
MST



EST

cyclic

MST



EST



observation noise

MST



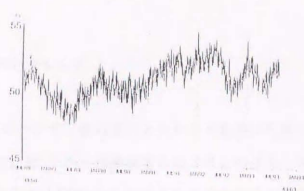
EST



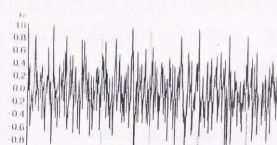
図 3-1-9 M : 5 年間の身長 MST : AR の次数 = 1, 7 日周期有り

EST : AR の次数 = 0, 7 日周期有り

original and trend



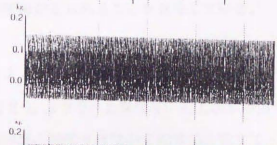
AR



MWT

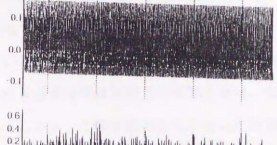


EWT

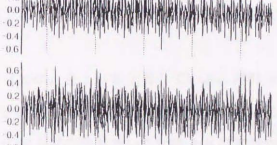


cyclic

MWT

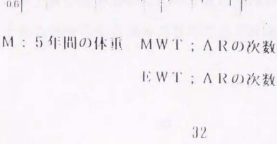


EWT



observation noise

MWT



EWT

図 3-1-10 M : 5 年間の体重 MWT : AR の次数 = 1, 7 日周期有り  
EWT : AR の次数 = 1, 7 日周期有り

### 3. 2 原時系列とトレンド

身長および体重について、原時系列とトレンドを重ねて描いたグラフを図 3-2-1 から 3-2-3 に示す。図 3-2-1 は被験者 A の 3 年分の身長・体重測定値の解析結果であるが、図 3-2-2 および図 3-2-3 は B、M の 5 年分の結果である。3 年間で、A は身長が 154.8cm から 159.0cm になり 4.2cm 増加し、B は 5 年間で 128.6cm から 157.6cm になり 29.0cm 増加した（3 年間では 18.3cm 増加）。また体重は、A は 3 年間で、44.5kg から 49.2kg となり 4.7 kg の増加、B は 5 年間で、27.2kg から 48.0 kg となり 20.8kg 増加した（3 年間で 10.1kg 増加、いずれも夜の測定値から計算）。

原時系列はいずれも細かく波動している。また、グラフは、朝の測定値と夜の測定値を分けてそれぞれを線で結んでいるが、これを 1 日 2 回の測定順に朝夜結んで描くと、太く黒い帯になってしまう。これは、朝の測定値と夜の測定値は大きく異なり、明確な日内変動が見られることを意味している。

DECOMP によって分離されたトレンドを見ると、子ども A、B では BAYSE A の場合（図 2-3-1、2-3-2）と異なり、右上がりの方向を示して滑らかである。B の身長の原時系列は、90 年 9 月頃から 92 年 10 月頃まで（B：11.5～13.6 歳）波動が少なくなり、重ねて描くとグラフ上で見分けがつかないくらい原時系列とトレンドがよく一致している。B の身長には測定開始後 1 年以内に身長の短期間の急伸現象がみられたが、以後身長はほぼ同速度で増加を続け、思春期のスパートらしきものが見あたらない。しかし、この波動の少なくなった期間は単に測定技術が向上したと解釈するのみでなく、他の期間と異なった発育状態であった可能性も考えられる。

体重のトレンドは 90 年 11 月より急上昇している。原時系列を見ると、その直前に体重の一時的減少が認められ、減少した直後から 93 年冬までトレンドの上昇が続いた。そして、トレンド上昇が落ち着いた 93 年 4 月に初潮が訪れた。これはトレンドの急上昇が始まってから 29 カ月から 30 カ月目のことである。Togo and Togo (1988)

は、女子3名の発育を1カ月ごとに観測して体重の増加速度曲線を描き、そのトロフ（谷）から30カ月前後で初潮が到来することを発見し報告しているが、本研究のBの場合も全く同様の結果であった。Bの体重が急上昇する前にみられた一時的減少は、たとえ1カ月ごとに測定したとしても見落とすことのない顕著な減少である。そこで、小学校や中学校で1カ月間隔で体重を測定していれば、児童生徒の初潮時期の予測に役立つのではないと思われる。

さらに、Bの体重の原時系列では92年6月から一時的な急増があり、続いて2～3カ月後に減少が見られる。この部分はトレンドには含まれず後に述べるAR成分として分離されているが、こうした急激な体重の変化は後にグラフを見て分かったことである。しかし、この時期Bはテニスの部活動を活発に行っており、しかもそれまでは体重が増加しなかった夏期に急増している。そこで原因を探るため、Bが本研究の1日2回の測定のほかに別の場所で行っている皮下脂肪厚（右上腕背部と右肩甲骨下部）およびカリウム量測定を含めた1カ月1回の身体計測値を解析してみると、この期間は皮下脂肪厚が増加していたことが分かった。尚、Bの皮下脂肪厚は翌年4月に初潮が到来するまで著しい増加を遂げている。8月～9月にかけて一旦体重が減少しているのは、除脂肪量の減少（カリウム量から推定）によるものと考えられる。

一方、Aの身長トレンドは測定開始半年ほどで勾配が変化しており、発育速度が緩やかになったことを示しているが、初潮後さらに速度が減少し、Aの発育が最終段階に近づいていることを物語っている。体重のトレンドも初潮後3カ月ほどで勾配が変化している。Bについても初潮時を基準にトレンドを見ると、身長でも体重でも、初潮の直前に勾配が変化しており、発育速度が急落した様子が表れている。

大人のMについては、身長に明確な朝夜の差は認められるが、トレンドの変化はほとんど見られない。逆に体重のトレンドは大きく波動し、A、Bとは全く様子が異なったものとなっている。



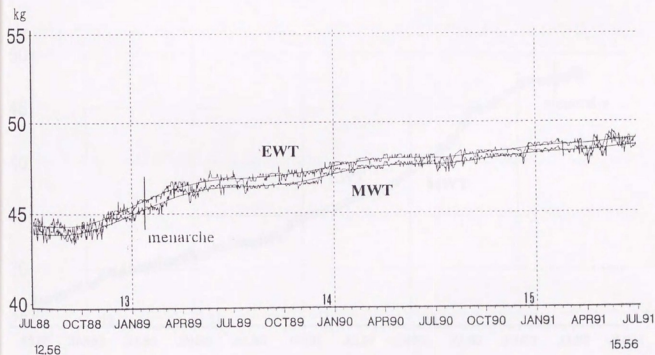
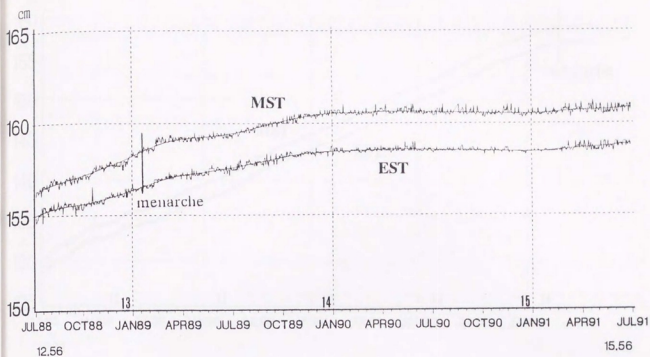


図 3-2-1 A の身長(上)・体重(下)の原時系列とトレンド (3年分)

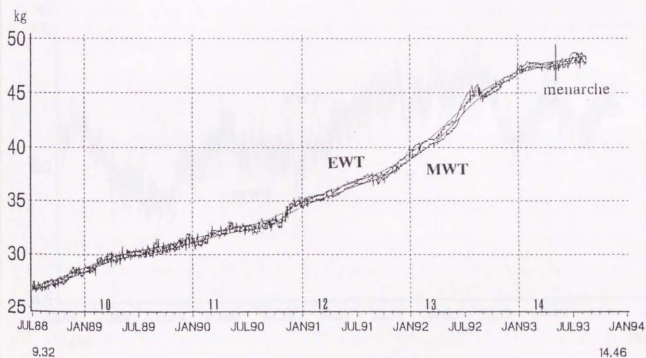
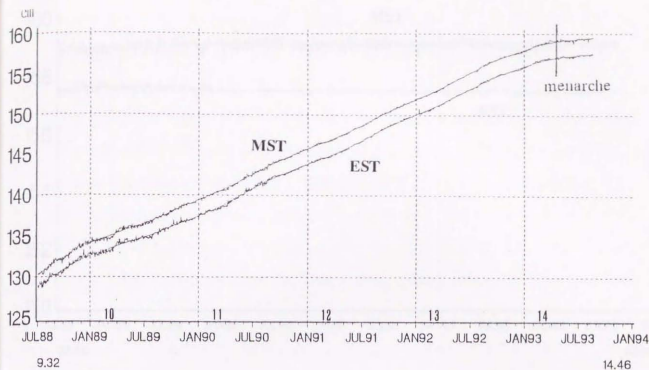


図 3-2-2 B の身長(上)・体重(下)の原時系列とトレンド (5 年分)

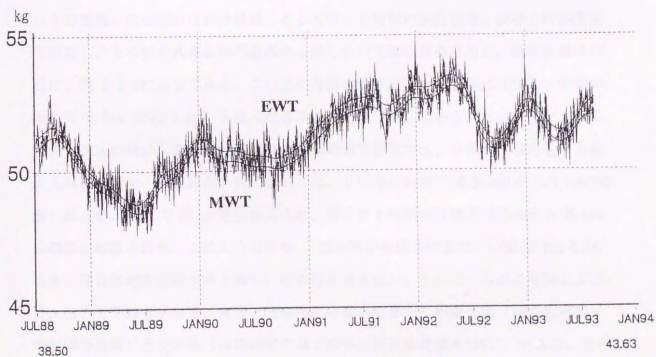
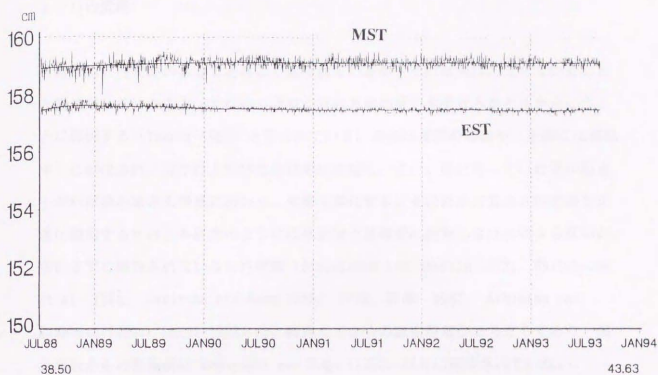


図 3-2-3 Mの身長(上)・体重(下)の原時系列とトレンド (5年分)

## a 日内変動

身長に日内変動のあることはよく知られているが、それは主に、立っていることと横になっていること、すなわち脊椎が垂直方向の重力を受けるかどうかということに起因する (Tanner 1981) と言われている。身長は夜間の睡眠中 (正確には横臥中) に伸ばされ、見かけ上伸びた分は起床後縮む。また、横になっていた者が起き上がれば頭の重さも脊椎に加わり、姿勢も変化する。そのため身長の日内変動を正確に観測するには、本研究のように起床直後と就寝前に測定しなければならないが、現在までに報告されている日内変動 (Strickland and Shearin 1972; Whitehouse et al. 1974; Jawinska and Adam 1985; 川畑, 芦澤 1987; Ashizawa and Kawabata 1990; Lampl 1992) は、起床してからの測定時刻がまちまちであり、起床直後からの観測例は Kobayashi and Togo (1993) 以外に報告されていない。

身長が起床後どのように減少するのか観測するために、3名の被験者の身長の変化を起床直後から継続して測定した。起床後の最初の15分間は1分間隔、次の15分は5分間隔、次の30分は10分間隔、そして続く5時間は30分間隔、以後1時間間隔で測定し、その値を起床直後の身長から差し引いて減少量を求めた。減少の様子は既に、図 2-2-1 に示してある。これより身長は起床直後から急速に減少し、最初の30分で 0.6cm から 1.0cm も低くなることがわかった。しかも大人より子どもの方が減少速度が速い。そして、起床後4~5時間で安定する。しかし、昼寝をした後や入浴後は増加がみられた。例えばBでは、1時間の昼寝で 0.8cm から 1.0 cm の増加、20分の入浴で 0.3cm の増加が見られ、Mでは1時間の昼寝で 0.5cm から 0.6cm の増加が観察された。このような日中 (起床時から就寝時まで) の変化はあるが、通常、身長は起床直後が最も高く、就寝前が最も低い。そこで、Aの3年間およびB, Mの5年間の身長、夜間 (就寝時から起床時まで) の変化量 (朝の測定値 - 前夜の測定値) と変化率 (夜間の変化量 / 前夜の身長測定値 \* 100)、および、日中の変化量 (夜の測定値 - 朝の測定値) と変化率 (日中の変化量 / 朝の身長測定値 \* 100) を計算し、表 3-2-1 に示した。

(注: 表は本節 a の最後にまとめて掲載した)



表 3-2-1 は、被験者の経時変化を追跡するため、変化量・変化率を測定開始から 1 年ごとに区切って、その間の平均変化量・変化率を示している。A、B の身長の変化量を追ってみると、夜間の伸び・日中の縮みはどちらも年々増加している。ところが変化率をみると、A は 1 年目は少ないが、2、3 年目ではほとんど変わらず、1.25% ほどである。B は、2 年目が夜間の変化率 1.35% で最大を示し、3 年目も 1.32% であるが、それ以降はやや減少している。変化率の大きい 2 年目から 3 年目あたりは、年齢では 10.3 歳から 12.3 歳に当たる。測定開始の日から 1 年ごとに区切ったのは便宜上のことであるが、B にとっては変化率の大きいこの時期が、おそらく身長発育の最も著しい時期であったのではないかと推測される。ここで、1 年目の値が A、B、M とも絶対値で小さくなっているが、これは測定に不慣れなため朝の測定に手間取って、身長が縮んでしまったなどの error が含まれていると思われる。しかしそれを考慮しても、子ども A、B の日内変動は量的には次第に増加している。そして、B の 5 年目は A の 3 年目にほぼ匹敵する量（約 ± 2 cm）になっている。

次に全測定期間の平均値を比較すると、身長の変化量（伸び）は、A ; 1.91cm, B ; 1.85cm, M ; 1.56cm の A > B > M の順であるが、変化率では、A ; 1.21%, B ; 1.29%, M ; 0.99% で、B > A > M の順である。但し、測定終了時の 3 人の身長は夜の測定時でおおよそ、A ; 159.0 cm, B ; 157.0 cm, M ; 157.5cm である。

B が発育の旺盛な時期にあることは原時系列のグラフにも表れており、年齢的にも想像がつくが、その B が身長の日内変動における変化率では 3 名のうちで最も大きいという結果であった。変化量では A が最も大きい。また A は、変化率では B を下回るが、それでも B に近い比率となっている。しかし大人の M は、変化量・変化率ともに最も小さく、子どもの被験者とは値が隔たっていた。この傾向は、M が A、B を測定していた 1 年 4 カ月分を計算した結果とも一致している（表 3-2-3）。

一方、体重は、食事や発汗、排泄等で活動中に増減するが、睡眠中は発汗によると思われる減少があるのみで増加はしない。体重の測定は朝一番の排尿後行ったので、前夜の測定値よりもさらに減少した。



体重の日内変動については表 3-2-2 に示したが、表の検討に先立ち、まず A、B、M の体重のトレンドを図 3-1-1 ~ 3-2-3 で再確認すると、A、B とも右上がりではあるが、A は途中からやや平坦になり大きな増加は見られなくなった。一方 B は、測定終了付近で幾分速度が鈍るものの 5 年間で著しい増加を遂げている。M は大きく波動しながら 5 kg 程の範囲を変動している。このことを念頭に置いて表 3-2-2 の結果をみると、まず全測定期間の平均では、変化量、変化率ともに B が最大であった。1 年 4 カ月分の平均（表 3-2-3）では、体重も身長と同様に、変化量は A、変化率は B が最も大きいという結果であったから、それ以後 B は測定を継続するうちに変化量が増加して、A に追いついていったということになる。

また体重は、日中の変化量・変化率の SD が大きく、特に M においてその傾向が顕著である。これは体重が活動時間中のいろいろな要因によって変化しやすいことを意味しているものと思われる。但し発育期にある A、B においては、日中の活動時間中に減少することは稀で、朝よりも夜の測定値の方が大きな値であり、日中は概ね体重が増加していた。一方 M は、増加したり減少したりと様々であった。しかし A、B の場合でも、日中に体重が減少し、しかも夜間の変化量が 0 ということがあった。これはいずれも部活動（A：水泳部、B：テニス部）で試合があった日と、その翌朝のことである。このように日中に体重が減少したとき、その夜には体重があまり減少しなくなるという現象、また逆に、日中に体重の特異的増加が見られた場合、その夜の減少量も大きいという現象は、子どもばかりでなく大人においても時折り見られ、身体が体重の調整を行っているような印象を受けた。

次に、体重の日内変動について 1 年ごとに見ていくと、A における変化量は、夜間・日中とも年ごとに減少している。B では 4 年目まで増加しているが、5 年目になると、最大変化量・変化率を示した 4 年目に比べて大きく減少し、A の 2 年目の平均値に近づいている。この結果と体重の原時系列およびトレンドから、測定開始から 4 年目の 12 歳後半から 13 歳前半までの時期が、B の体重増加の最も著しい期間であったと考えることができよう。これは逆に言えば、体重の日内変動が最も顕著な時期が体重発育の最も盛んな時期である、ともいえることになる。身長の場合でも、B の最大発育期間がグラフから特定されないため断定はできなかったものの、

おそらく、日内変動の変化率が最大を示すときが身長・体重の最大発育期に当たるのではないかと考えられた。そこで、Bの身長・体重の最大発育期は11歳前後、体重の最大発育期は12歳後半から13歳前後と推測されることになり、思春期においては体重よりも身長・体重の最大発育期が早く出現したと考えられる。一方Aは、日内変動の変化率がBを上回らないことやトレンドの勾配から、測定開始時の12.56歳までに、既に身長・体重の最大発育期が過ぎていたものと考えられる。また、Aの初潮年齢は13.13歳（身長156.4cm、体重45.8kg）であり、Bは14.15歳（身長157.1cm、体重47.6kg；いずれも夜値）であるから、AはBより約1年早く初潮が到来しているが、この事実も、Aの身長・体重の最大発育期が、年齢的にBより早く出現したと推測される理由の一つである。初潮時の身長・体重は、BがAをやや上回る程度である。

ところで、体重の1年ごとの平均変化量は、Aは3年目、Bは5年目に、前年に比べて急激に減少している。この時期はAは中学3年から高校1年、Bは中学2年から3年までに当たり、受験勉強や部活動で忙しかった期間である。Bの4年目の夜間の体重減少量は-0.58kgであり、日中の増加量は0.60kgであるのに、次の1年間の平均値は、夜間-0.41kg、日中0.42kgと極端に少なくなった。大人の平均値が $\pm 0.39\text{kg}$ であることを考慮すると、これは体重発育が終了しつつあることを示しているとも解釈できる一方、環境や精神面の影響が現れたということも考えられる。

表 3-2-1 A, B, M 3 年間および5年間の身長の日内変動(夜間・日中)

上段 変化量cm( SD )

下段 変化率%( SD )

測定期間	A		B		M	
	夜間	日中	夜間	日中	夜間	日中
88-07-01~	1.76 (0.30)	-1.75 (0.30)	1.58 (0.26)	-1.56 (0.27)	1.40 (0.18)	-1.40 (0.19)
89-06-30	1.12 (0.19)	-1.11 (0.18)	1.19 (0.20)	-1.07 (0.20)	0.89 (0.12)	-0.88 (0.12)
89-07-01~	1.97 (0.18)	-1.97 (0.18)	1.86 (0.20)	-1.84 (0.20)	1.57 (0.15)	-1.57 (0.17)
90-06-30	1.25 (0.11)	-1.23 (0.11)	1.35 (0.15)	-1.32 (0.15)	1.00 (0.10)	-0.99 (0.11)
90-07-01~	2.00 (0.16)	-2.00 (0.17)	1.91 (0.16)	-1.89 (0.16)	1.62 (0.13)	-1.62 (0.15)
91-06-30	1.26 (0.10)	-1.25 (0.10)	1.32 (0.10)	-1.30 (0.10)	1.03 (0.08)	-1.02 (0.09)
91-07-01~			1.92 (0.11)	-1.90 (0.11)	1.62 (0.13)	-1.62 (0.14)
92-06-30			1.28 (0.07)	-1.25 (0.07)	1.03 (0.08)	-1.02 (0.09)
92-07-01~			1.99 (0.10)	-1.98 (0.10)	1.61 (0.12)	-1.61 (0.13)
93-08-20			1.28 (0.07)	-1.25 (0.07)	1.02 (0.07)	-1.01 (0.08)
全期間						
平均変化量cm	1.91+ (0.24)	-1.91- (0.25)	1.85 (0.23)	-1.84 (0.23)	1.56 (0.17)	-1.56 (0.18)
平均変化率%	1.21 (0.15)	-1.19 (0.15)	1.29 (0.14)	-1.26 (0.14)	0.99 (0.11)	-0.98 (0.11)
Range cm	0.7~ 2.6	-0.9~ -2.5	0.6~ 2.5	-0.7~ -2.4	0.5~ 2.0	-0.5~ -2.0
%	0.45~ 1.64	-0.57~ -1.56	0.45~ 1.75	-0.50~ -1.71	0.32~ 1.27	-0.32~ -1.26

表 3-2-2 A, B, M 3 年間および 5 年間の体重の日内変動 (夜間・日中)

上段 変化量 kg (SD)

下段 変化率 % (SD)

測定期間	A		B		M	
	夜間	日中	夜間	日中	夜間	日中
88-07-01~	-0.45 (0.17)	0.46 (0.24)	-0.37 (0.14)	0.38 (0.21)	-0.35 (0.15)	0.34 (0.41)
89-06-30	-0.99 (0.38)	1.02 (0.54)	-1.30 (0.48)	1.34 (0.74)	-0.69 (0.29)	0.69 (0.83)
89-07-01~	-0.42 (0.14)	0.43 (0.16)	-0.41 (0.16)	0.42 (0.24)	-0.39 (0.14)	0.39 (0.44)
90-06-30	-0.89 (0.29)	0.91 (0.35)	-1.32 (0.50)	1.36 (0.79)	-0.77 (0.28)	0.79 (0.89)
90-07-01~	-0.35 (0.15)	0.35 (0.17)	-0.44 (0.14)	0.45 (0.21)	-0.41 (0.13)	0.42 (0.46)
91-06-30	-0.72 (0.21)	0.73 (0.36)	-1.26 (0.40)	1.31 (0.62)	-0.79 (0.25)	0.82 (0.90)
91-07-01~			-0.58 (0.19)	0.60 (0.22)	-0.41 (0.14)	0.41 (0.42)
92-06-30			-1.44 (0.44)	1.52 (0.53)	-0.78 (0.25)	0.79 (0.79)
92-07-01~			-0.41 (0.16)	0.42 (0.19)	-0.40 (0.14)	0.40 (0.42)
93-08-20			-0.88 (0.35)	0.91 (0.42)	-0.76 (0.27)	0.78 (0.81)
全期間						
平均変化量 kg	-0.41 (-0.15)	0.41+ (0.25)	-0.44 (0.17)	0.45 (0.23)	-0.39 (0.14)	0.39 (0.43)
平均変化率 %	-0.87 (0.32)	1.19 (0.15)	-1.23 (0.48)	1.28 (0.66)	-0.76 (0.27)	0.77 (0.85)
Range kg	0.0 ~ -1.0	-0.4 ~ 1.2	0.0 ~ -1.4	-0.4 ~ 1.5	-0.1 ~ -1.2	-1.1 ~ 1.9
%	0.0 ~ -2.25	-0.91 ~ 2.64	0.0 ~ -4.67	-1.27 ~ 4.55	-0.19 ~ -2.44	-2.10 ~ 3.85

表 3-2-3 A, B, M 1 年 4 カ月間の身長・体重の日内変動

STATURE		A	B	M
Night-time Change MST - E'ST				
mean (SD)	(cm)	1.79 (0.29)	1.63 (0.26)	1.43 (0.19)
range	(cm)	0.7 ~ 2.4	0.6 ~ 2.3	0.5 ~ 2.0
Ratio of change	(%)	1.14	1.22	0.91
Daytime Change EST - MST				
mean (SD)	(cm)	-1.78 (0.28)	-1.61 (0.27)	-1.43 (0.20)
range	(cm)	-2.4 ~ -0.8	-2.3 ~ -0.7	-2.0 ~ -0.5
Ratio of change	(%)	-1.13	-1.21	-0.91
Daily Change	(cm)	0.01	0.02	0.00
BODY WEIGHT		A	B	M
Night-time Change MWT-E'WT				
mean(SD)	(kg)	-0.46 (0.17)	-0.38 (0.15)	-0.36 (0.15)
range	(kg)	-1.2 ~ -0.1	-1.4 ~ 0.1	-1.2 ~ 0.0
Ratio of change	(%)	-1.01	-1.32	-0.71
Daytime Change EWT - MWT				
mean (SD)	(kg)	0.47 (0.23)	0.39 (0.21)	0.35 (0.41)
range	(kg)	-0.4 ~ 1.2	-0.2 ~ 1.2	-0.9 ~ 1.4
Ratio of change	(%)	1.02	1.34	0.71
Daily Change	(kg)	0.01	0.01	-0.01

E'ST = previous evening stature

E'WT = previous evening weight



## b 身長と座高との関連

前述の日内変動において、測定開始1年目の変化量は被験者3名とも少なめの結果が出たことから、これは測定する側もされる側も未熟であったことが原因とみなされたが、Bの身長の日内変動では、1年目よりも絶対値で少ない変化量を示した期間があった。それは89年3月19日から4月9日までの春休みを含む約3週間で、身長が1.0cm伸びた時期である。そして、その間の身長の日内変動は、日中の平均減少量が-1.53cmとなり、1年目の平均-1.56cmよりも少なくなっていた。この様子はBAYSEAによる解析結果の図2-3-1において、10歳を過ぎた頃にトレンドの上昇している部分（しかもややMSTとESTの間隔=日内変動の幅を表す＝が狭い）としてグラフ上で確認できる。そこで、日内変動が大きく変化したこの時期は、脊椎に何か変化が起っていた可能性、即ち座高が伸びていた可能性が考えられた。そのため座高の測定を90年3月より開始した。しかし、Bの身長にはその後、短期間の急伸現象は起こらず（図3-2-2）、従ってこのような身長急伸期における座高の変化の様子を確かめることはできなかった。

図3-2-4（次ページ）は、Bの身長と座高の変化の様子を示したものである。図から明らかなように、Bの身長の伸びと座高の伸びは一致していない。身長はほぼ一定速度の年間約6cmで増加しているが、座高については、身長と並行して増加する時期と、増加がやや鈍る時期とがある。頭部の大きさは殆ど変わらないとすると、身長は座高+下肢長でほぼ決まる。そこで、座高が伸びていない時期は下肢が伸びていることが考えられる。小児における身長増加の殆どは下肢の発育によるもので、座高が増加するのは1年のうちほんの短期間（約1カ月）という報告（川畑・芦澤1987；Ashizawa and Kawabata 1990）もあることから、89年3月～4月に観察された身長急伸現象は、やはり座高の発育が関係していたと推測される。しかし、図3-2-4の座高はそれよりも長い期間、即ち91年10月（12.6歳）から92年2月（12.9歳）までの4～5カ月間、身長と並行して伸びており、この間の身長の伸びは座高の伸びによるものである。そこで、座高を測定したのは比較的短期間ではあるが、この時期は思春期における座高の最大発育期だったのではないかと考えられる。

# STATURE & SITTING HEIGHT FOR 5 YEARS (B)

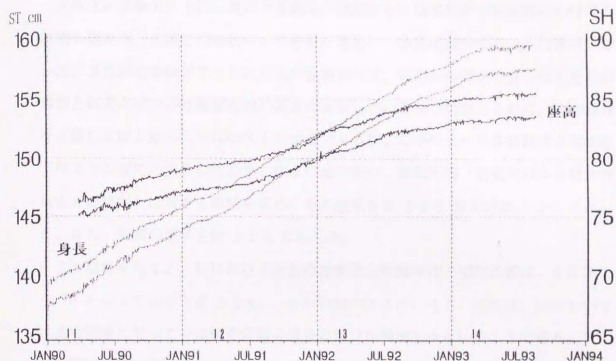


図 3-2-4 Bの身長と座高の原時系列 (左軸：身長， 右軸：座高)

大人の座高は、身長と同様に大きな変化はみられず、身長の日内変動とよく一致していた(図略)。また、座高を測定した限りにおいて、夜間の身長の増加量と座高の増加量の相関をみると、A; 0.70, B; 0.43, M; 0.88 であった ( $P < 0.05$ )。この結果は、発育のない大人では、夜間の睡眠中に見かけ上伸びる身長の大部分が、脊椎間が開くことによる座高の伸びによるものであり、発育が終了に近づいているAの場合でも、大人ほどではないが、身長の夜間の伸びは座高の伸びに依存していることを示している。しかし盛んに発育しているBでは、夜間の身長の伸びは他の2人ほど夜間の座高の伸びに関係がないということになる。そして、さらにこのことは、発育期のBにおいては、下肢の発育が身長増加に大きく関わっていることを示唆するものと考えられる。そこで、夜間の睡眠時間とその間の身長の変化について、次節でさらに検討を加えた。

### c 日内変動と睡眠時間

本研究の被験者たちは、既に予備測定段階から、就寝時から起床時にかけての夜間の睡眠中（正確には横臥中）に身長が増加し、体重は減少することに気付いていた。また測定を続けるうちに大人の被験者Mは、起床後の測定で見られる身長増加と体重の減少分は睡眠時間の長さに依存しているように感じられた。測定時刻を正確に記録し始めたのは89年1月からであるが、その時点から各被験者の測定終了時までの夜間の身長増加量と体重減少量の、睡眠時間（就寝時刻から起床時刻までの時間）に対する相関を求め、その結果を表 3-2-4 および表 3-2-5 に示した。また、相関の様子を図 3-2-5 に示した。

この結果を見ると、Mにおける身長増加量と睡眠時間の相関係数は、5年間で0.76 となっており（表 3-2-4）、高い相関があるといえる。これは、Mにおいては長時間横になっている程その間の身長の伸びが増加することである。但し、9時間以上横になっていても2.0cm以上は伸びず、時にはかえって伸びが少なくなることもあった。また、体重については夜間の体重減少に発汗等が関係し、これが季節によって影響されるものであることを考慮すると、5年間すべてを計算した結果がMにおいて-0.53 ということは、高い負の相関があるといって良いだろう（表 3-2-5）。体重については子どもの被験者でも、ある程度の相関が見られた。

しかし、身長については、子どもの被験者には大人のような高い相関は見られず、また1年ごとに期間を区切ると、各期間ごとに違いが見られた。Aでは2年目が低い値だが全体としては少し相関がある。一方、Bの身長増加量は、最初の3年間

（9.3～12.3歳）は睡眠時間との相関が全く見られなかったが、4年目からやや相関が表れた。そして5年目は4年目よりも少し高い値となった。このように、年齢が進むにつれて相関が見られるようになったものの、それでも大人のMや姉Aに比べると低い値である。Bにおいて夜間の身長増加量が睡眠時間とほとんど相関が見られない理由は何なのか。しかも最初の3年間に夜間の身長増加量が睡眠時間との相関が全く見られなかったというのは何を意味しているのだろうか。

表 3-2-4 夜間の身長増加率と睡眠時間との相関

$$\text{身長増加率} = (\text{朝の測定値} - \text{前夜の測定値}) / \text{前夜の測定値} \times 100$$

$$\text{睡眠時間} = \text{前夜の測定時刻から朝の測定時刻までの時間}$$

期間	88-07-01～	89-07-01～	90-07-01～	91-07-01～	92-07-01～	全測定期間
被験者	89-06-30	90-06-30	91-06-30	92-06-30	93-08-20	
A	0.396***	0.244***	0.475***			0.300***
B	0.075	0.061	0.082	0.185***	0.207***	0.158***
M	0.712***	0.765***	0.730***	0.759***	0.823***	0.759***

\*\*\* P<0.001

表 3-2-5 夜間の体重減少率と睡眠時間との相関

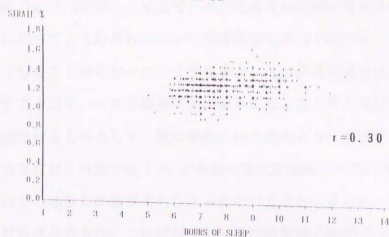
$$\text{体重減少率} = (\text{朝の測定値} - \text{前夜の測定値}) / \text{前夜の測定値} \times 100$$

$$\text{睡眠時間} = \text{前夜の測定時刻から朝の測定時刻までの時間}$$

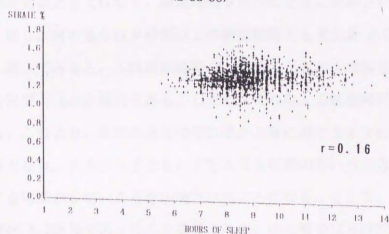
期間	88-07-01～	89-07-01～	90-07-01～	91-07-01～	92-07-01～	全測定期間
被験者	89-06-30	90-06-30	91-06-30	92-06-30	93-08-20	
A	0.014	-0.195***	-0.337***			-0.244***
B	-0.445***	-0.242***	-0.368***	-0.199***	-0.170***	-0.319***
M	-0.498***	-0.532***	-0.523***	-0.559***	-0.493***	-0.528***

\*\*\* P<0.001

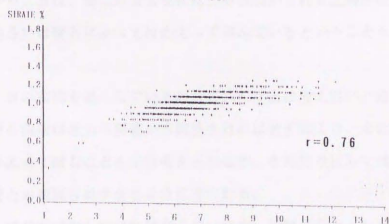
伸び率・睡眠時間  
(A 88-91)



(B 88-93)



(M 88-93)



(注) STRATE : Stature increment rate 身長伸び率

図 3-2-5 夜間の身長増加量と睡眠時間の散布図



ところでBは3人のうちでは睡眠時間が最も長い(3年間平均で A ; 7.8時間、B ; 8.7時間、M ; 6.5時間)。そこで、念のためBの睡眠時間を9時間、8時間、7時間以内に限り、それぞれについて相関係数を求めてみたが、いずれについても相関が高くなることはなかった。そうすると、Bの身長増加は、入眠後それほど時間を要することなく、一晩の睡眠時間の前半に起こることを考えなければならない。この考えを裏付けるものとして、既に観察された次のような事項がある。それは、昼寝の後でもBには1時間で約1cmの身長増加が観察されているのに対し、Mにはその半分ほどの増加しか観察されなかったということ、さらに、睡眠時間中の身長増加には限度があるが、これはMにおいては増加の上限が2.0cmであり、それが最長睡眠時間のときではなく、睡眠時間9時間のときに記録されているということである。但し、Mの場合は9時間以上の睡眠時間でも増加量2.0cmを記録している。同様に調べてみると、Aは睡眠時間8.8時間のとき最大増加量2.6cmを記録し、Bでは8時間で2.5cmが最大である。しかし、それ以上の睡眠時間では増加量は減少している。これより、夜間の身長増加量が上限に達するまでに要する時間は、 $M > A > B$ となり、大人より子ども、子どもでも年齢の若いBの方が睡眠中の身長増加に要する時間が少ないことが示唆されたことになる。ここで、Bの3年間の平均睡眠時間が8.7時間であったことを考えると、最大増加は8時間で起こっているのであるから、Bは、寝て起きる頃には、脊椎間がこれ以上開かない上限に達しているか、あるいは寝方によってはかえって縮んでいるということもあり得るのかもしれない。

しかし、Bの相関を低くしているのはこれだけとは考え難い。夜間の睡眠中に脊椎間が伸びる現象は重力の影響から解放されれば必ず起こり、またそれが時間が経過するとかえって縮むことも十分考えられるが、それだけにしてはBの夜間の伸びと睡眠時間との相関は低すぎるように思われる。

ここで、併せて検討しなければならないのが、原時系列とトレンドおよび日内変動から示唆された次の2点である。

- 1) Bの思春期における身長の最大発育期と推測されたのが11歳前後であったこと、
- 2) 座高の発育速度が増し、身長の伸びに寄与したのは12歳後半であり、それ以前

は下肢の発育が顕著であったと考えられること

以上を考慮すると、次のような結論が導かれる。即ち、相関の見られなかった3年間（1年目は除くとしても）は下肢の発育が優っていた期間であり、しかもその発育は夜間の睡眠中の可能性が高く、さらにそれは就寝後比較的早い時間に起こる現象である、ということである。

このように、夜間の睡眠中に子どもが実際に発育していると考ええると、夜間の身長増加と睡眠時間の長さとの関係は、脊椎間の開きが主な原因である大人において高い相関が表れ、発育が終了に向かっている子どもにもやや相関が見られるが、発育途上の子どもには殆ど相関が見られない、という結果も説明できる。

成長ホルモンは通常、日中よりも夜の睡眠中に多く分泌されるという報告は多数ある（Takahashi et al. 1968; Kowarski et al. 1971; Carlson et al. 1972; Plotnick et al. 1975; Miller et al. 1982; Hindmarsh et al. 1987; Caruso-Nicoletti et al. 1988; Albertsson-Wikland and Rosberg 1988）。さらに、睡眠中であっても深い睡眠時（徐波睡眠）の方が成長ホルモンの分泌が亢進されるという説もある（Takahashi et al. 1968; Thorner et al. 1990; Van Cauter et al. 1992; Hartman et al. 1993）。しかしまた一方で、思春期においては夜間も日中も分泌されるという報告もある（Miller et al. 1982; Zadik et al. 1985; Costin et al. 1989）。

被験者Bは、身長の顕著なスパートが見られなかったとはいえ思春期にあることには間違いがないが、上記の推論により夜の間に発育している可能性が高いと思われる。但しこれは日中に発育している可能性を否定するものではない。本節において行った検討の結果からは、夜間の発育が示唆されたということである。そして、その発育は就寝後比較的早い時間に起こる現象であると考えられた。そこで、成長ホルモンが分泌されてから実際に骨の細胞分裂が起こるまでどの程度時間を要するのかが問題であるが、現在までこれについての研究報告は皆無である。

### 3. 3 自己回帰過程 (AR) 成分

非定常時系列解析プログラム DECOMP の特徴は、定常でない原時系列を、トレンドをはじめいろいろな成分に分解できることである。以前、やはり非定常時系列解析プログラムである BAYSEA で 1 年 4 カ月分の測定値を解析したところ、トレンドに波動が現れた。この波動は、身長では比較的ゆるやかに、体重では頻繁な上下動の繰り返しとしてグラフに描かれた (図 2-3-1, 2-3-2)。しかし、トレンドとはその意味の通り発育の方向や傾向を示すものであり、あまり激しい波動が現れるのは望ましくない。というよりは、BAYSEA によってトレンドとして分離された成分中には、トレンド成分以外に何か別の成分が含まれていた可能性が考えられる。しかもそれらの波動は、特に体重において、上がっては下がり、下がっては上がりしており、恰も体重が増え過ぎたときには抑制し、抑制し過ぎたときには再び増加に転じるとさえ思えるような動きをみせている。そこで、BAYSEA よりさらに多くの成分に分解できる DECOMP を用いて、自己回帰過程 (以後 AR と略す) 成分を分離した。

時点  $n$  における観測値を  $y(n)$  とすると、自己回帰モデルは次式で表される。

$$y(n) = a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) + \cdots + a_k y(n-k) + \varepsilon(n)$$

ここで、 $\varepsilon(n)$  は残差であり、この残差系列の自乗和を最小にするように、係数 ( $a_1, a_2, \cdots, a_k$ ) を推定すれば、これが  $y(n)$  に対する次数  $k$  の AR モデルを与える。被験者 A, B, M の朝の身長・体重、夜の身長・体重について、各々解析した結果、各モデルの AR の次数と係数は表 3-3-1 のようになった。

各被験者の AR 成分のグラフは p. 23~32 に示した (または付録を参照。以下同様) が、AR 成分の波動は原時系列によく似た波動である。毎日観察された身長・体重の波動は、その大部分が AR として表現される波動だったのである。これは、トレンドと AR 成分とを併せてグラフを描くと、原時系列にほぼ一致することからも確かめられている。

表 3-3-1 A R 成分の次数と各モデルの A R 係数

AR Coefficients			3 年分の解析結果			5 年分の解析結果			
		Order	AR coefficients			order	AR coefficients		
		of AR	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	of AR	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>
STATURE	A	1	0.884			-			
	MST	3	0.595	0.078	0.273	3	0.703	-0.058	0.296
	M	3	1.600	-1.359	0.704	1	0.880		
EST	A	1	0.630			-			
	B	2	0.643	0.285		2	0.687	0.237	
	M	1	0.887			0			
BODY WEIGHT	A	3	1.319	-0.798	0.400	-			
	MWT	3	0.752	-1.108	0.295	3	0.765	-0.068	0.236
	M	3	1.271	-0.704	0.305	1	0.760		
EWT	A	3	1.416	-0.911	0.413	-			
	B	3	0.762	-1.125	0.300	3	0.700	0.006	0.230
	M	3	1.340	-0.777	0.332	1	0.793		

次に、A R 成分の大きさを身長と体重と比較すると、A、B、Mとも、体重のA R 成分の方が身長のA R 成分よりも大きく、変動幅が大である。これは、体重の原時系列の方が身長の原時系列より日々の変動が大きいことと関連があるのではないかと考えられる。また、朝と夜のA R 成分は、互いによく似た動きを示している。

A R の次数は、表 3-3-1 に示されているように、1、2 または 3 であり、3 より大きい次数はない。また、その係数については、 $a_1$  が最大になっているものが多く、



1 日前の値がもっとも影響が大きいことを示している。しかもその値は全てプラスである。次数と成分の大きさについては、さらに以下のようなことが明らかになった。

a) 身長 の 3 年分について

次数は 1、2 または 3 であり、被験者ごとに異なる。朝の身長 M S T の A R の次数は、B と M が 3、A は 1 である。夜の身長 E S T では、B が 2、A と M は 1 となっている。成分の大きさを比較すると、M S T、E S T とともに B が最も大きく、次いで A であり、M では M S T の次数が 3 となっているが成分としては小さい。M の E S T の A R 成分は微量である。

b) 体重 の 3 年分について

体重ではどの被験者もすべて次数 3 である。成分の大きさは  $M > B > A$  であるが、大人 M の波形と子ども A、B の波形では違いが見られる。即ち、子どもの A R 成分のグラフは、日々の波動とは別に、さらに大きな周期を持つ波が含まれているように見えるが、大人では周期性は無いように思われる。そのため、スペクトル解析を試みたところ、子どもでは 50 日から 150 日の間に周期のあることを示すピークが現れたが、際立ったピークは認められなかった。しかし、A の体重の A R 成分中、測定開始から 1 年間程の部分には、50 日くらいの周期が認められた (図 3-3-1: range を拡大して大きな動きが見えるようにした)。

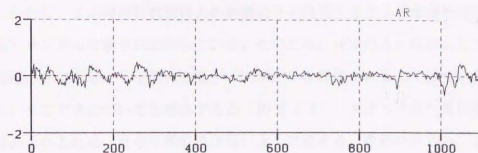


図 3-3-1 A の体重の A R 成分 (夜値)



c) 身長の5年分について

5年分の解析結果を3年分と比較すると、Bはどちらも3で、次数の変化は見られないが、MではMSTの次数3から1へ、ESTが1から0（AR成分が存在しない）へと減少している。

b) 体重の5年分について

体重についても5年分の解析結果を3年分とを比較すると、Bは3のままで次数は変わらないが、MではMWT、EWTとも3から1へと変化している。即ち、身長同様、ARの次数が減少している。

そこで、表3-1-3によりMのMSTの解析結果をもう一度確かめると、次数3のときAICは-1152.70、1のとき-1149.92という結果が出ており、AICは僅か3ほどしか違わない。しかし5年分では、次数3のときのAICは-2106.89、次数1のときが-2178.36で、1の方が70以上も良い値になっている。そこで、Mの3年分のMSTの次数3は、1に近いものとみなすこともできる。すると、身長におけるARの次数は、Bにおいて高く、A、Mでは低いという結果になる。一方、Mの体重のAICは、ARの次数が1でも3でも、また3年分でも5年分でも、身長ほど大きな違いは見られない。しかしMにおいては、年齢とともに次第にARの次数が低くなっていくという傾向があるように思われる。

また、子どもA、Bに見られた50日から150日くらいの周期的波動は、特に体重において、BAYSEAで解析したときにトレンドに含まれていたものであると考えられる。しかし、この周期的波動はAの初潮後3ヶ月程すると（測定開始400日目あたりから）ランダムな動きに変わっている。そのため、体重のAR成分として分離された波動の中に存在する周期的波動が、初潮と何か関係があるのではないかと考えられた。そこでBについても観察すると（図3-3-2）、Aより大きな周期を持った波が認められるため、あまり類似性はないように見える。現在のところ、この2名の結果だけでは、AR成分中の周期的波動と初潮との関係を探るのは難しいが、今後の研究において注目していきたい。

しかし、ARの波動に全体を通しての周期性が見られないとしても、子どもの身

長・体重の原時系列から分離されたAR成分は、ある時大きく急上昇すれば必ず同様の下降を伴うものである。例えば、Bの体重（原時系列）は測定後半の92年6月頃から急上昇し、2～3カ月後急下降しているが、この動きはAR成分として分離されている（図3-3-2の□部分）。これはあたかも身体に備わったホメオスタシス機構を垣間みさせるような動きである。

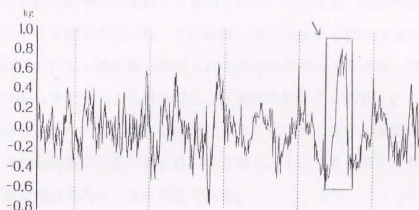


図 3-3-2 Bの体重のAR成分（夜値）

身体発育におけるAR過程についての研究は始まったばかりであり、まだ分からないことが多い。しかし以上の結果より、現段階では次のようなことが仮説として考えられる。

1. ARの次数は成長段階と関連を持ち、発育が旺盛なときほどARの次数は高く、老化によって次第に次数が低くなり、やがて0になる。
2. 子どものAR成分中に存在する周期性は、発育を制御する機構の存在を示唆するものではないか（？）。

AR成分には、まだ多くの未知の情報が含まれていることが予想される。原時系列の波動からAR成分が分離されたという事実は重要であるが、今後はさらにモデルの検討や解析方法の検討も含めて、研究を進めていく必要がある。

### 3. 4 週変動成分

前節で検討したように、身長・体重の原時系列からAR成分が分離され、朝・夜それぞれの測定値が前日から3日前までの値に影響されていることが示唆されたが、さらに、我々の住む社会が1週間単位で成り立っていることを考えると、社会の1週間周期に、身体も何らかの影響を受けているのではないかとと思われる。そして、その影響は子どもの発育にも現れてくるのではないかと考え、週変動成分 ( $q = 7$ ) を設定したモデルで解析を行った。その結果、Mの3年分の夜の身長を除いたすべての解析結果において、週変動を設定したモデルの方がAICが低くなり、子どもの身体発育にも、また、大人の身体にも、1週間単位(7日周期)のリズムが存在することが示唆された。この週変動成分はARに比べると僅かな量である。だが、既に誤差を含む観測雑音を取り除かれているので、小さくても確かに存在する成分であり、詳細な検討を行うことが可能である。

3年または5年間の週変動成分の図は、3.1節に示してある(P.23~32の図3-1-1~図3-1-10、または付録参照)。これらを各被験者ごとに検討すると、まずAについては、身長の週変動成分は夜(EST)より朝(MST)の方が大きい。しかも朝の週変動成分は次第に増加している(下図3-4-1)。これは後に述べるMの状態に近づいているように見える。体重においては、朝(MWT)の成分の方が夜(EWT)より大きいが、朝夜とも3年間ほぼ一定の成分が分離された。

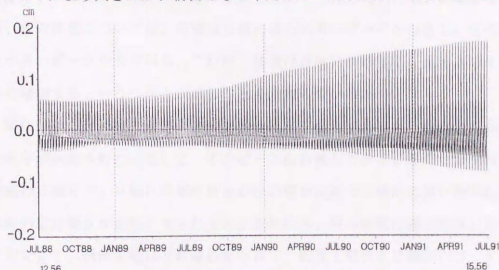


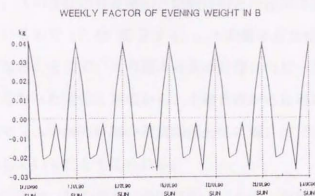
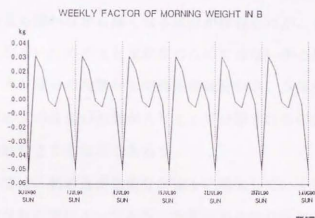
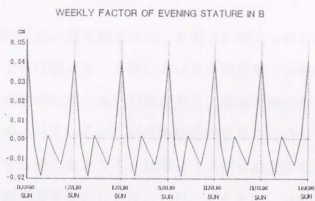
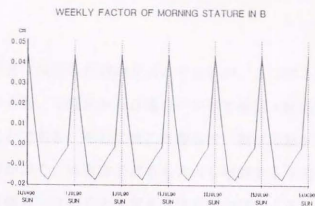
図 3-4-1 Aの身長の週変動成分(上:MST、下:EST)

ところで、これらの週変動成分のピーク（山）が何曜日に当たるのか、計算結果に戻って数値を調べ、かつ拡大図を描いてみると、Aの朝の身長は日曜日となっており、週の半ばはマイナスになっている。夜の身長も最大ピークは日曜日である。しかし土曜日にもピークが存在し、かつ木曜日にも中程度のピークがある。トロフ（谷）は火曜日と金曜日である。そこでAの身長には、土曜日の夜から日曜日の朝、そして日曜日の夜にかけて高くなり、さらに週の半ばの木曜日あたりも夜に少し高くなるという週内リズムが存在していることが示唆された。また、体重では、朝の成分のトロフは日曜日である。一方、夜は土曜日から増加する成分があり、日曜日がピークとなっている。よってAの体重には、土曜日から日曜日の日中に増加する週内リズムが存在することが示唆されている。

次に、Bの身長・体重の週変動成分について、3年分（図 3-1-3, 3-1-4）と5年分（図 3-1-7, 3-1-8）を比べると、成分の大きさでは殆ど変化が見られない。朝と夜の成分を比べても、朝の方がやや大きい程度である。ピークは、朝の身長では日曜日に現れている（次ページ 図 3-4-1）。そして週の半ばがマイナスになっている。夜の身長では、ピークは日曜日だが土日もプラスになっている。そして週半ばは全体的にマイナスだが、水曜日に小さいピークが存在する。これは、身長は土曜日の夜から日曜日の朝、そして日曜日の夜に高く、週半ばの水曜日もやや高くなるという週内リズムが存在していることを示唆している。一方、朝の体重の週変動成分は、日曜日の朝がトロフとなり最も少なく、相対的に月曜日の朝がピークである。夜の体重については、日曜日の夜に最も大きいピークが存在し、さらに木曜日にも小さいピークが見られる。これは、体重は日曜日に増加し、週半ばの木曜日あたりも増加するというリズムがあることを示唆している。

Mについては、夜の身長の週変動成分はごく僅かであるが、朝の身長からは大きな成分が分離された。そして、そのピークは日曜日である。またトロフは日曜日の翌朝の月曜日で、日曜日の朝の身長が他の曜日に比べて極めて高い傾向にあるため、相対的に月曜日が最低になったものと思われる。Mの体重の週変動成分はA、Bよりも大きく、朝は土曜日と日曜日がトロフ、夜は土曜日と日曜日がピーク（日曜日の方が幾分大きい）となり、週末に体重が増加するリズムのあることが示唆された。





縦の破線は  
日曜日を示す

図 3-4-1 Bの週変動成分の一部分拡大図（上からMST, EST, MWT, EWT）



以上は被験者ごとに検討した週内リズムであるが、ここで3名に共通することは、いずれの被験者からも、土曜日から日曜日にかけて身長・体重が増加する成分が分離されたということである。そして特に日曜日は、朝は身長が高く、体重が減少し、夜は子どもの身長が高く、体重は子どもも大人も増加するリズムを持つことが示された。これは、日曜日には平日と異なる身体状況が存在することを示唆するものである。

ここで、Mの朝の身長の週変動成分に、日曜日に際立ったピークが存在する理由は明らかである。これは既に3.2節における日内変動と睡眠時間の検討から、Mの朝の身長は夜間の睡眠時間と高い相関があり、睡眠時間の長さにほぼ比例して高くなることが確かめられているが、Mの睡眠時間をDECOMPで同様に時系列解析して週変動成分を分離したところ、日曜日（土曜日の夜から日曜日にかけての睡眠時間）に2.1時間の週変動成分が存在した。そのため、Mの身長が日曜日の朝に高い理由は、その間の睡眠時間が長いことに起因するものといえる。また、発育のないMに、夜の身長も僅かながら高くなる成分が存在したが、これは日曜日に楽な姿勢で過ごすことが多いため平日と差が生じたのではないかと思われる。但し、3年分の解析では、AR成分の次数が1で週変動成分が0、5年分ではそれが逆になっているので、Mの夜の身長の波動がARとして分離されるのか7日周期として分離されるのかは微妙なところなのであろう。

また、Aにおいては、朝の週変動成分が徐々に増大していく様子が観察されたが、これはAの発育が最終段階に入っており、次第に大人の身体に近づいていることの現れと考えられる。Aの夜間の身長増加と睡眠時間との相関係数は、測定3年目は0.48と高くなっている（P.48表3-2-4）、Aの朝の身長値は睡眠時間によって左右されることになる。そこで、Aの朝の身長の日曜日のピークは、身長発育がほとんど観察されなくなった90年1月頃から、土曜日夜から日曜日朝までの睡眠時間の長さに影響されて（Aの睡眠時間の週変動成分は日曜日にピークがあり、1.5時間）、急速に増大していったと考えられる。

ところがBにおいては、朝の身長は睡眠時間とほとんど相関がないという結果が出ている（3.2節）。それにもかかわらず日曜日の朝の身長が高くなるリズムが

存在していたのである。Bの睡眠時間を時系列解析すると、その週変動成分は土曜日の夜から日曜日朝にかけてピークが見られ、約 1.4 時間の大きさであった(図 3-4-2)。このように、睡眠時間には平日との差がはっきり現れている。Bは測定の後半になって、夜間の身長伸びと睡眠時間との相関が少し見られるようになったが、分離された朝の週変動成分は一定の大きさであるから、これは睡眠時間と殆ど関連がないということになる。そうすると、Bの身長が日曜日の朝に高くなる理由は何なのだろうか。ここで、Bがふと洩らしていた言葉が思い出される。

「土曜日の夜になるとホッとする・・・」。

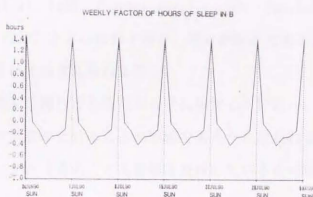


図 3-4-2 Bの睡眠時間の週変動成分

子どもは学校生活を中心に1週間を過ごしていると考えられる。その中には学校が好きな子どももいれば、嫌いな子どももいるはずである。しかし学校が好きという子どもでも、土曜日は昼までに授業が終わり翌日が休みになるということで、どこかホッとすることがあるのではないだろうか。そして月曜日から土曜日までの平日と、休日の日曜日を、うまく使い分けしてやり繰りしているのではないだろうか。即ち、平日には軽い緊張があり、週末にはリラックスすることで、身体がうまく具合にバランスを保っているのではないかと考えられる。それは大人も同様であろう。そうした1週間の、身体の、そして心のリズムが、発育にも現れるとは考えられないだろうか。

精神状態が身体の健康に大きな影響を与えることはよく知られた事実である。被験者Bは学校があまり好きではないようであり、前述の言葉は共感できる。しかし

Aは学校が好きなほうであった。にもかかわらず、やはり休みの前は心身ともにリラックスできるとのことである。Aは測定の前半は身長がまだ伸びており、朝の週変動成分が睡眠時間に大きく依存していたわけではない。そこで、測定の前半においてもA、Bともに日曜日の朝の身長が高くなるリズムが見られたことは、休日前のリラックス効果のようなものが現れたという可能性も考えられる。リラックス効果とは、土曜日の夜から日曜日の朝にかけて精神的にリラックスできたことが、睡眠中の発育を促進させたのではないかとということであるが、既に、3. 2節において述べたように、深い睡眠（徐波睡眠）時の方が成長ホルモンの分泌が亢進される（Takahashi et al. 1968; Thorner et al. 1990; Van Cauter et al. 1992; Ilartman et al. 1993）ともいわれており、明日が休みであるという安心感から睡眠も深くなる可能性は十分考えられよう。

さらに、体重も土曜日と日曜日の日中に増加していたが、これは時間に拘束されず自由に食事や間食がとれることが原因であろうと思われる。だがそれに加えて、精神的にリラックスできることも影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

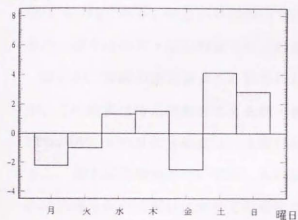
このように、子どもの被験者において、週末、特に日曜日に身長・体重が増加することの一因として、精神的な影響が考えられた。しかし、ここで忘れてならないことは、Bにおいては週の半ばである水曜日または木曜日にも、身長・体重の増加成分が存在するということである。さらにAにおいても、週半ばに身長が増加する成分が存在している。但しMには存在しない。これについては後に検討する。

ところで、週変動成分にみられるリズムとは、身長・体重の測定値そのものが常にそのリズム通りに変動するというのではなく、トレンドやAR成分、観測雑音を取り除くと、一定のリズムが、発育の、あるいは身体変化の根底に存在することを示唆するものである。だがそれでも、長期に亘る測定値から分離された成分であるから、測定値がそのリズムと全く異なる曜日変化を示すとは考え難い。そこで、測定値から曜日毎の実際の変化量を求めることも意味があるといえよう。測定値そのものは誤差を含んでいるが、1週間の周期は1年で52週、3年では156週もあり、曜日毎の変化量（前日の測定値との差、但し夜値）は、増加の傾向が強い曜日は合

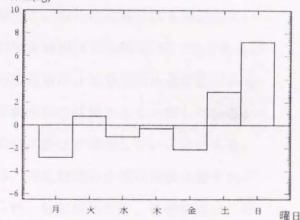
計の変化量がプラス側に増幅され、減少傾向にある曜日はマイナス側に増幅されるはずである。そこで、A、Bの3年間の夜の身長・体重値について曜日毎に変化量を求めて合計すると、図3-4-3のような結果になった。

この図によると、Aの身長は土曜日と日曜日に増加し、水・木あたりもやや増加している。ここでいう増加とは、例えば土曜日では、金曜日の夜から土曜日の夜にかけて増加したという意味である。よって土曜日に増加し、さらに日曜日も増加しているということは、増加した土曜日よりも日曜日はさらに増加しているということを示し、日曜日にかけての週末に増加する傾向が強いことを示している。

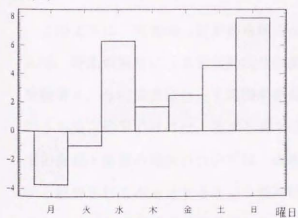
A身長(cm)



A体重(kg)



B身長(cm)



B体重(kg)

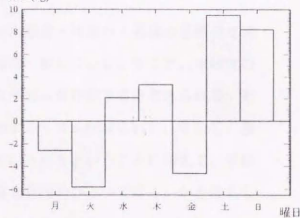


図 3-4-3 身長・体重(夜値)の1日変化量の3年間の曜日別合計

Bの身長は週の初めの月曜日と火曜日に減少しているが、水曜日から以後は増加している。Bは3年間で18.3cm身長が伸びているので、増加分が多いのは当然であるが、この増加を曜日別に見ると日曜日が最も多く、次いで水曜日が多くなっている。木曜日はプラスではあるが水曜日と週末の増加に比べると少なめである。しかし、水曜日から日曜日まで一貫して増加しているということは、前の曜日よりさらに増加したことになり、結局日曜日に増加する傾向が最も強いことを示しているといえる。

体重については、Aでは増加の殆どが土・日に集中し、平日は火曜日が僅かにプラスであるが全体的には週半ばは減少傾向にあるといえる。Aの3年間の体重増加量は4.7kgである。一方、Bにおいては、土曜日と、さらに日曜日にも増加しているが、週半ばの水・木の増加も見られる。Bの体重増加は3年間で10.1kgである。

以上が、実際の測定値より計算された曜日別変化量の3年分合計の週変動であるが、この結果は時系列解析による朝・夜の週変動成分の結果とよく一致している。即ち、A、Bの身長・体重は、土曜日から日曜日にかけて増加しているといえる。また、週半ばの増加については、Aの身長では、週変動成分と曜日別変化量それぞれに水曜日から木曜日にかけての増加が認められ、Bの身長では、週変動成分に存在した水曜日の小さなピークが、測定値の計算からは大きな増加量となって現れていた。Aの体重については、週末の増加は週変動成分と曜日別変化量の双方から確かめられたが、週半ばの増加はどちらからも明確には認められなかった。

このように、実測値の計算から明らかになった身長・体重の1週間の変動のリズムは、時系列解析による週変動成分の動きとほぼ一致していた。そこで、本研究の被験者A、Bの発育には、1週間を単位としたリズムが存在すると考えられる。そのうち発育途上のBには、週末と週半ばに増加するリズムが見られた。そして、週末の身長・体重の増加については、食事が自由に与えられるということに加えて、学校から解放されてホッとするという精神的な影響も原因のひとつではないかと考えられた。では、週半ばの発育促進については、どのように考えるべきなのだろうか。

発育の周期に関する研究では、巷野(1978)による乳児の体重の約4日の周期説



がある。また最近、岡島（1994）は、乳児（男児1名）の体重時系列データのスペクトル解析から、4日前後の周期が見られたことを報告している。このように乳児に4日前後の発育の周期が存在するとするならば、それは人間という生物に備わった発育の周期ということになる。しかし2例のみでは断定できない。だがここで、発育の周期に関する研究結果を年齢順に並べてみると（表 3-4-1）、乳児で見られた4日前後の周期は、岩城（1993）が4歳前後の幼稚園児と8歳前後の学童を1年3カ月間測定した結果、1週間に2回、即ち週末と週半ばの水曜日に身長・体重が増加するリズムとなって現れている。しかもその増加量は、週末よりも水曜日が上回っていたと報告している。そして、週末と週半ばの増加のリズムは本研究の被験者Bにおいても明確に現れており、Aに至ると体重の週半ばの増加が不鮮明になってくる。さらに大人になると週末増加のみ観察されるという、一連のリズムの推移が読みとれる。

表 3-4-1 発育の周期に関する研究報告

	体重	身長	研究者
乳児	4日前後の周期		荻野
乳児	4日前後の周期		岡島
4歳児	週末と週半ば（水曜日）	週末と週半ば（水曜日）	岩城
8歳児	週末と週半ば（水曜日）	週末と週半ば（水曜日）	岩城
9.3～12.3歳児	週末と週半ば（水曜日）	週末と週半ば（水曜日）	小林
12.6～15.6歳児	週末	週末と週半ば（水・木）	小林
大人	週末		小林

発育周期に関する研究は数例であるが、それでもこれらの研究結果から、発育の周期について次のような推論がなされるのである。それはまず、発育には周期が存在すると思われることである。その周期とは、恐らく生まれたばかりは特定の曜日に発育するという規定などないに違いない。それが成長とともに周囲の環境の影響を受けるようになり、1週間という社会の周期に左右されるようになると思われるが、それは先ず親の生活から影響されるのであろう。さらに学童期に入ると、学校中心の生活によって1週間の束縛を受け、さらに前述したごとく精神的な影響もあって、週末に顕著な発育促進が見られるようになるのではないかと考えられる。そして、週末に発育促進が起これば、発育の周期の存在によって、それから3、4日経った週の半ばの水曜日から木曜日にも発育促進現象が現れるのではないだろうか。即ち、本来備わっていた発育の周期が、1週間という生活単位に組み込まれることで、週末と週半ばの増加というリズムが生じるのではないかと考えられる。

このような発育の周期に関する推論は、発育が終了に近づいているAでは週半ばの増加が体重において不鮮明になり、やがて大人Mのように、週末の体重増加という、平日と週末の生活の違いによるリズムだけが見られるようになることから支持されるのではないかと考えられる。

発育の7日周期については、Hermanussen (1993) も、正確な下腿長測定器として知られる knemometer (Valk et al. 1983a, 1983b; Hermanussen and Sippell 1985; Hermanussen 1987; Hermanussen et al. 1987; Wales and Wilner 1987; Hermanussen et al. 1988a, b, c) を用いた測定結果から、計算により明らかになったことを "circa-septan rhythm" として報告している。社会が1週間という生活単位で動いている以上、それが子どもの発育にある程度の影響を及ぼすことは十分考えられる。しかし、本研究で示唆された発育本来の周期については、さらに対象を拡げて研究していかなければならない。

研究の展開は、まず、研究の目的を明確にすることから始める。本研究の目的は、日本の経済成長と環境問題の関係を明らかにすることである。この目的を達成するために、まず、日本の経済成長と環境問題の関係を明らかにすることである。この目的を達成するために、まず、日本の経済成長と環境問題の関係を明らかにすることである。

## 第4章 総括論議

本章では、本研究の結論をまとめ、今後の研究の方向性を示す。まず、本研究の結論をまとめ、今後の研究の方向性を示す。まず、本研究の結論をまとめ、今後の研究の方向性を示す。まず、本研究の結論をまとめ、今後の研究の方向性を示す。

（1）本研究の結論は、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。

（2）本研究の結論は、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。

（3）本研究の結論は、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。まず、日本の経済成長と環境問題は、互に因果関係がある。

#### 4. 1 発育に現れる波動の意味

発育を短い測定間隔で観測すると必ず波動が現れる。その波動は測定間隔を短くすればするほど細かい波動となって、これまでの観測者を悩ませてきた。しかし、実はその波動にこそ多くの重要な発育の情報が隠されていたのである。これまで測定誤差として捨てられていた部分、顧みられなかった部分を、時系列解析による適切な方法で誤差を処理し波動を各成分に分解することで、発育の本質に迫る事象が、少しづつではあるが明らかになってきた。

本研究は、発育期にある姉妹A、Bと、対照としての大人(母親)Mを1日2回、起床時・就寝時測定した。その3年間あるいは5年間の発育記録は、解析に最も適すると考えられる非定常時系列解析プログラム' DECOMP' によって、トレンド、AR、週変動および観測雑音の各成分に分解された。そして各成分と原時系列の検討により、次のような発育情報が得られた。

- (1) 姉妹A、Bでは、妹のBに思春期の著しい発育が見られ、身長・体重は5年間でそれぞれ 29.0cm, 20.8kg 増加した。しかし、身長は顕著な思春期スパート時期が認められず、年間約6cmの等速度で増加した。体重のトレンドは90年11月(11.6歳)から上昇し、それから約30カ月で初潮が訪れた。これは Togo and Togo (1988) の所見と一致している。Aは発育の最終段階に入っていると思われ、次第に大人の身体の状態に近づいていく様子が観察された。
- (2) 身長、体重の原時系列は、朝の測定値、夜の測定値ごとに分かれ、明確な日内変動のあることが示された。
- (3) 身長は起床後縮み、夜間の睡眠(横臥)中に伸びる日内変動がある。これは主に脊椎間の伸縮に起因する。体重は睡眠中に減少するが、日中は子どもの場合は概ね増加する。しかし大人は減少することもある。但し、日中の増加あるいは減少が激しい場合は、夜間の体重の減少量で調整されるのではない

かと思われた。

- (4) 日内変動における身長・体重の変化量とその変化率は、発育段階によって異なる。変化量では最初は姉Aが大きく、やがて妹Bが姉に追いついていった。しかし、自分の身長、体重に対する変化率ではBのほうが大きかった。また、身長・体重の変化率が最大を示す時期が最大発育期であろうと考えられ、身長は11歳前後、体重は12歳後半から13歳前半までが最大発育期と推測された。
- (5) 夜間の身長の増加量と体重の減少量は、大人では身長・体重とも睡眠時間との高い相関が見られ、Aもある程度の相関が見られた。しかしBでは、体重の減少量と睡眠時間には相関が見られたが、身長の増加量と睡眠時間については測定の前半は全く相関が見られず、後半になって弱い相関が認められた。このことから、Bは夜間の睡眠中に発育している可能性が高いと考えられた。
- (6) 座高の伸びと身長の伸びとは並行していない。座高の伸びが身長増加に大きく寄与したのは3年余の測定のうち4～5カ月間で、Bが12.6歳から12.9歳頃である。身長の5年間のトレンドと日内変動の検討により、この時期が思春期における座高の最大発育期であろうと考えられた。そこで、Bの思春期における最大発育は、身長(下肢→座高)→体重の順で出現したと考えられる。
- (7) 座高の検討から、Bの測定期間の前半は下肢の発育が身長増加に寄与していたと考えられる。しかもその発育は夜間の睡眠中であり、入眠後比較的早い時間に起こることが示唆された。
- (8) 原時系列からAR成分が分離されたが、これは身長・体重の測定値が、過去の値とつながりを持つということを意味している。ARの次数は1、2または3であるので、1日前から3日前までの値が影響しているということであ



るが、ARの係数は1次の値が最も大きい場合が多い。よって、1日前の身長・体重の値がその日の身長・体重に最も影響を及ぼしていることが示唆された。また、ARの次数はBにおいて高く、Mでは年齢が進むとともに低くなる傾向が見られた。

- (9) 朝と夜の原時系列に現れた波動の大部分はAR成分として分離されたが、その大きさは原時系列の変動の激しさに比例していた。そのため身長では発育しているBのAR成分が大きく、体重ではBとMにおいて大きかった。但し、おとなMのAR成分は、子どもA、Bと異なる動態を示し、子どものAR成分には一部分に周期的波動が認められた。

- (10) 身長・体重のAR成分については未知の部分が多いが、検討すべき課題がいくつか明らかになった。また、現段階では次のようなことが仮説として考えられるので、今後検証していきたいと考えている。

- ① ARの次数は成長段階と関連を持ち、発育が旺盛なときほど次数が高く、老化によって次第に低くなり、やがて0になる。
- ② 子どものAR成分中に周期性が見られるが、これは発育を制御する機構の存在を示唆しているのではないか？

- (11) 原時系列から1週間の変動成分が分離されたが、各被験者に共通して週末に増加する成分が認められ、子どもの身体も大人の身体も、社会の1週間周期の影響を受けていることが示唆された。

- (12) 子どもA、Bの週変動成分には、週末以外に週の半ばにも増加が認められた。身長ではA、Bとも水曜日に増加する成分が存在し、体重では、Aにおいては明確ではなかったが、Bでは木曜日に増加する成分が存在した。さらにこの傾向は、測定値の曜日別増加量の計算からも量的に確かめられ、Bは1週間のうち土曜日から日曜日にかけての週末と、身長では水曜日、体重では木

曜日の週半ばに、発育が促進されるリズムのあることが示唆された。

- (13) 子どもの発育において見られた週末の増加は、睡眠時間が長いこと、食事や間食が自由であることに加えて、精神的にリラックスできることが関係しているのではないかと考えられた。

- (14) 子どもBにおいて顕著に見られた週半ばの増加は、Aでは僅かになり、大人では全く見られなかった。また、本研究以外の例で、Bよりも年齢の低い子どもに顕著な週半ばの増加が認められ、さらに乳児においては、体重の増加に4日前後の周期のあることが報告されている。以上のことから、発育に周期が存在し、それが社会の1週間周期の影響を受けて、週末と週半ばに発育促進が見られる1週間のリズムが生じるのではないかと推測された。また、1週間のリズムは、発育が終了した後は、平日と週末の生活の違いを反映したリズムに移っていくのではないかと考えられた。

以上は、解析した各成分から得られた結果であり、もしくは原時系列と絡めての検討結果である。1日2回の測定に現れた波動の正体は、日内変動によるものと、DECOMPによって分離されたトレンド、AR、週変動、誤差を含む観測雑音の各成分であった。ここでこれらを総合的に検討すると、発育というものの一端がおぼろげに見えてくる。

即ち、子どもは、生物としてプログラムされた発育を達成すべく、絶えず環境の影響を受けながらも、全く見当違いの方向に進んでいかにように過去の値に制御されながら、1週間の生活リズムの中で発育していく、といえるだろう。また日々の発育については、寝る子は育つ、と昔から体験的に言われてきたことについて、発育時系列データの解析により証明したといえる。但し、これは正しくは、あまり長く寝ても効果がない、という注釈がつくことになるのであるが。

生物の活動にはいろいろなリズムのあることが知られている。なかでもサーカディアンリズムは最も身近に観察される1日周期のリズムで、昼と夜、または睡眠と

覚醒のリズムである(村田, 草川 1978; 川村 1991)。身長と体重にも日中と夜間で大きな違いが見られた。1日2回、しかも起床時と就寝前に測定しなければならない理由は、身長・体重のこの日内変動を捉えることにあった。さらに、発育期の子どもに週末と週半ばの発育促進リズムが見られたことで、巷野(1978)が報告した4日前後の発育周期が実際に存在する可能性が強くなった。この3~4日の発育周期を仮定すると、乳児から幼児、思春期の発育途上の子どもから発育終了に近づいている子ども、そして大人へとリズムの変化していく理由が、うまく説明できるのである。

また一方では、いくら発育にリズムがあるとはいえ、外的な影響を受けてリズムが狂うことも考えられる。しかし、例えば体重が日中に著しく増加したり減少したりするような一時的なものは、その夜のうちに体重の減少量を増減することで調節されるのではないと思われる。しかし恒常的には、発育があまり勝手な方向へ行き過ぎないように調整している機構が、身体に存在するのではないかと考えられる。そのひとつが、AR成分として分離された波動ではないだろうか。

身体発育にフィードバックシステムが存在することは東郷(1981)が既に予測しており、Praderら(1963)やFisher(1988)のいう Catch-up Growth について、「疾病や栄養不良から回復する過程で遅れを取り戻す時見られるばかりでなく、実は健康な小児でも、小規模な発育の遅滞とそれに続く追いつき発育が常に起きている」として、短い測定間隔で観察される波動の意味を解説している。そして、こうした Catch-up Growth あるいは Catch-down-Growth (Tanner 1986) を起こさせる「粗調整機構」が身体にあるのではないかと推測している。またさらに、「身長・体重に現れる波動の背後には、きっと身体内で波動を示す現象があるに違いない。たとえば内分泌系や、さらには神経系の働きが波動を示し、それにある時間の遅れを伴って身長や体重に波動が伝播してくるのではないだろうか」とも述べている。ここで考えられ提起された問題は未だ完全な解決を見ないが、今後は、身長・体重測定値から分離されたAR成分についての検討と並行して考えてみたい。

ところが、こうした波動の解析を行わないで、Lampl (1983, 1993)、Lamplら(1992)、Lampl and Johnson (1993)、Johnson (1993)、Lampl (1993)は、子

どもの発育はある日突然起こるものであるとし、階段状に発育していくモデルを提唱している。しかしこれは、もし時系列解析を行えば、大部分がAR成分として分離することができるものではないかと思われる。AR成分を観察すると、「ある日突然」と彼らがいうような身長あるいは体重の急増は、トレンドを除くとその後必ず急減が見られるのであって、急増したままではない。Butler (1990) は、6カ月ごとに測定された身長から、増加しては下降する発育速度を見出し、'cyclical' に発育速度が加速減速を繰り返すと述べており、Harrison and Brush (1989, 1990)、Harrisonら(1990)は、身長発育に見られる個体変異について報告しているが、これも相当の部分が、実はAR成分として分離できる波動について述べられているのではないかと思われる。Lampl らは、個人の発育を短い測定間隔で丹念に追跡しようとはしているが、原時系列に現れる波動を解析していない。彼らの研究報告からも、発育の解析には時系列解析が必要であることを痛感する。

また、発育には、身体各部位によって最大発育の出現時期が異なり、その出現順にも個人差のあることが知られているが、殊に思春期の発育においては個人差が顕著である(Tanner 1957, 1976; Marshall and Tanner 1969, 1986; 木村 1979; 高石 1981)。また、そうした理由から、思春期における身長、体重などの最大発育年齢を個人別に求めることは、その個人の発育の特徴が引き出せるとして、多くの研究が報告されている(Shuttleworth 1939; Tanner 1957; Tanner et al. 1966; Bielicki and Welon 1973; Roche 1974; Lindgren 1976, 1978; Welon and Bielicki 1979; Cameron et al. 1982; Bielicki et al. 1984; Lindgren and Houspie 1989; Satake et al. 1989, 1993; Malina and Bouchard 1991)。さらに、身体各部位の最大発育の出現順も個人の発育の研究には欠かせないものであるとしているが、これに関しては個人を追跡して研究した例は数少ない(Roche 1974; Lindgren 1978; Welon and Bielicki 1979; Cameron et al. 1982; Satake et al. 1989, 1994)。しかし、これらの研究は、測定間隔が年1回か、せいぜい年2回の半年ごとのデータである。

測定間隔が異なると見えてくる発育の姿も異なることは、Togo and Togo (1989),

東郷 (1989)、そして著者らによって指摘されている (Kobayashi and Togo 1993; 東郷, 小林 1994)。これはエイリアシング (Gottman 1981) と呼ばれる現象で、時間と共に変化するものを測定間隔を変えて測定すると、まるで違ったもののように見えてくることをいう。そのため、毎日、1 カ月、半年、1 年ごとなど、さまざまな測定間隔で測れば、同一現象を測っていても異なる結果が出てくることになる。まして、身体各部位の最大発育期の微妙な出現順を検討するのであれば、1 年や半年ごとのデータでは問題がある (Togo and Togo 1989; 東郷, 小林 1994)。さらに、本研究における座高の最大発育期の検討から、座高の急増する期間は限られており、測定間隔が長いとその期間を特定することは不可能となることからわかるように、発育の出現順を決めるような目的の場合、長い間隔での測定は適さないといえる。測定間隔は、何を見たいかという目的によって決められなければならないが、今はまだ、どのように設定すれば目的を達せられるのか解らないことの方が多という現状であるから、先ずは短い間隔による測定を継続することから始めなければならないはずである。せめて、1 カ月に 1 度の測定による発育の解析が広く行われるようになれば (東郷 1987, 1989)、今まで議論されてきた最大発育の出現順についても、いくつかのパタンに分類できる可能性もあり、思春期における発育に影響を及ぼすいろいろな要因や発育の個人差が究明されるようになるものと思われる。

1 日 2 回の測定を長期に亘って行い、その発育記録を時系列解析した本研究は、発育の研究における新しい試みである。しかしそれだけに解明出来ないことも多く残されている。例えば身体に発育を制御している機構が存在することが示唆されたが、それが AR と結びつくものかどうか、またその AR の次数の解釈の仕方についても今後さらに研究を重ねなければならない。そしてそれは、発育に 3～4 日のリズムがあると推測されたことと、発育期の子どもの AR の次数が 3 であることとの関係など、発育現象として捉えられるものに AR がどのように関わっているかについての究明ともなるであろう。これらを検討するためには、今回設定した時系列解析モデルについても検討が必要となるかもしれない。また、骨はいつ成長して



いるのか、成長ホルモンが作用してから実際に骨が発育するのにどの程度の時間を要するかということも、専門分野での研究が待たれるが、発育の研究においても今後解明されていかねばならない課題である。

#### 4. 2 '測る'ということについて

発育の研究は、すべて測定から始まった。測定間隔によって、見えてくる発育の姿が大きく異なることは前節に記したが、さらに測るということを考えてみたい。

同一個人であるなら、測定を継続しているときは直に対象を見ている。しかし、測定が終了するとその測定値だけが頼りであり対象である人間が忘れ去られることがある。そうすると測定値は一人歩きしてしまう。そして、個人の発育に影響を及ぼしたに違いない数々のイベントも研究の対象から外され、生きた個人の記録が無味乾燥な数字の羅列となり、解析結果も（解析方法にもよるが）本当にその個人の発育を反映したものであるかどうかは疑わしいことになる。測られる対象をしっかり見据えていないと、大切な発育情報を見逃すことにもなりかねないといえよう。この意味では大勢を一度に測る横断的研究の場合にはなおさら気をつけなければならない。

また、測るということは、測られる側に大きな影響を及ぼすものであることを考慮しなければならない。本研究における対象A、Bは、1日2回という頻繁な測定であったうえに朝の測定は起床直後であったため、大変なプレッシャーがかかったようである。それを5年間以上にわたって継続した被験者Bは、本人が「測られたためにストレスで背が伸びなかった」と述懐した。しかし著者は最初、そのようなことがあるとは考えられなかった。確かにBの身長は5年の間、年間6cmという等速度で増加しており、本人が何より待ち望んでいた身長の急伸現象＝スパートが十分に起こらなかったことは、著者にとっても意外ではあった。それでもBの身長に、いわゆる思春期のスパートが特定できなかったことについては異常とは考えられず、7歳から17歳まで身長を年1回測定したSimmons and Greulich (1943) も、年間の

身長増加が長期にわたってほぼ同じ値を保ち、思春期の加速が見られなかった例を報告している。また深山ら（1980）も、女子大学生の、小学校以来の年1回の身体計測記録を分析した結果、思春期のスパートが見られない例が約30%含まれていたと報告している。これらは共に1年1回のデータであるから比較はできないが、それでもBが全く特異な例とはいえないと考えた。

だが、身長の伸びが徐々に鈍ってきて、そのような訴えを頻繁に聞くようになり、ほぼ一直線に増加してきた身長发育のグラフを繰り返し眺めているうちに、確かにBの言うような要因もあり得るのではないかと思えてきたのである。そして、逆にそのような観点から見ると、初潮年齢が14歳を過ぎていて晩熟型に属するBの身長が、晩熟型の場合は最終身長が比較的高くなるという Wellens ら（1992）の報告とは異なった結果となっている（1994年9月現在、15.5歳で157.5cm）ことも、精神的ストレスが身長发育に何らかの影響を及ぼしたことを裏付けるものかもしれない、と考えられた。Bは既に发育の最終段階に入っていて、もはや身長发育は期待できず、もしそれが事実であったとしても取り返しがつかない。測定継続が发育にどれ程の影響を及ぼしたのかを確かめる術はないが、'土曜日になるとホッとする'という言葉から、週末のリラックスという精神的な要因が发育と結びついている可能性が示唆されたことを考えると、5年以上にわたって起床直後と就寝前測定を毎日継続することが、その子どもの发育に何らかの影響を与えたとしても、決して不思議ではないと思うに至ったのである。

測るということが、測る側、測られる側にとって、たかが'計測'として片づけられないものを含んでいることを、そして、'Children grow only once.' ということを、今後も子どもの发育を研究する者として常に心しなければならぬ、と思い知らされた次第である。

#### 4. 3 发育から子どもを見る

前節で'測る'ということについて考えたが、一体人間はどこまで測ることができ

るのだろうか。

本研究では、子どもが日々どのように発育して、思春期から大人へと成長と遂げて行くのかを出来るだけ詳細に観察しようと、1日2回の測定を行った。その結果、4・1節に記したことが明らかになったが、このように子どもを客観的に観察して、そのデータを適当な方法で解析すれば、そこから発育を通して子どものいろいろな姿が見えてくることが分かった。

本研究以外にも、子どもの発育を定期的に測定した時系列データから、子ども達の健康に寄与する情報が得られた例をいくつか挙げる事ができる。例えば、小学生の毎月の体重記録を時系列解析して分離された季節変動から、肥満児および肥満の危険性を内在させている子どもは、夏に体重が増加する季節変動を持つことが確かめられた(荒居ら 1993; 小林ら 1992, 1993)。体重は、通常、秋、冬または春先に増加して、夏は夏やせという言葉もあるように増加しない。これが正常な季節変動であり、夏に体重が増加するというのは異常な季節変動、即ち異常なリズムである。異常なリズムが現れるということは必ずその子どもの生活に何らかの原因があるはずである。そこで明らかになったのは、肥満児の夏休みの過ごし方に原因があるのではないかということであった。ある小学校の養護教諭が調査したところ、小学生の夏休みにはプールがあるが、太っている子どもほどプールを嫌って出てこない。そのかわり家でファミコンなどをして遊んでいる、しかも気の向いたときにおやつを食べている、という生活が浮かび上がった。

また、某大学附属中・高に、ある年に入学した学年を3カ月ごとに測定してきたが、測定から5年ほど経った頃に、体重が異常に上がり下がりしている女子生徒が数名いることに気がついた。ダイエットの影響かもしれないと思い調査したところ、体重の変動の激しい生徒は保健室に来る回数が多い、ということに養護教諭が気づき、さらに、特に異常と思われる変動を示した生徒はいじめられていることがわかった。また、家庭に問題があり、生活も不規則になっていたという生徒も判明した。これらは、言葉では訴えられない状況が、体重の変動という身体記録を通して明らかになったということであり、定期的に身体測定をすることで、発育のみならず精神状態や生活状況までも察知できる場合のあることを示唆している。

また、初潮がいつ訪れるかということは、身体的にも精神的にも重要である。本研究における被験者Bの初潮は、体重の一時的減少がみられてから29カ月から30カ月後であり、Togo and Togo (1988)の発見した体重の増加速度のトロフからの初潮の予測法と一致していた。そこで、もしも学校現場で1カ月に1度の体重測定を継続するならば、初潮の発現時を予測することができるようになるかもしれない。いつ訪れるかわからない初潮を体重の変動から予測することができるになれば、子どもにとっても、親にとっても、また学校教育現場の教師にとっても価値のある健康情報となり得るであろう。

現在日本では、ほとんどすべての小学校で、健康診断の際に身体測定を行っている。しかし今、その測定のあり方を巡って議論が起きている。子どもたち、特に女子が体重測定をいやがり、そのために食事を制限することや、測定時の服装などが問題にされ、さらには教師側も、授業を削ってまで身体測定をする意味があるのかどうか、ということを言い出した。そのため毎月あるいは毎学期行ってきた測定を、回数を減らしたという学校も出てきたほどである。しかし、なぜそのような事態が発生したのかを考えると、実は、測るばかり測られて、本人にも、家庭にも、そして教師たちにも、何も役に立つものが返ってこないためではないだろうか。身体測定によって身体のいろいろな情報が得られ、それが自分の発育や健康に役立つことが分かれば、教師や親の考えも変わり、子どもは積極的に測定に参加するようになるのではないと思われる。そこで、身体測定から得られるものがあるということを知らせる教育も大切になってくる。「発育学」が人間を対象として測定することで発展する学問であるならば、被測定者の意向や被測定者およびその周囲への寄与を無視して発展することはできないからである。

親や教師、そして子ども自身にとって、今、この子どもは発育のどの段階にあるのか、これから先どうなっていくのかということは一大事であり、これが解れば進んで測られる方向に向かうに違いない。今までわからなかったのは今までの発育学の怠慢であろう。今後我々のすべきことは、短い測定間隔で測って時系列解析等の方法で解析し、発育というものの本質を解明することである。そのような研究が

進められれば、「発育から子どもを見る」という立場が教育のなかで確立し、教育自体を変えることになるかもしれない。吉田（1994）は、この教育と発育の相互作用について、上述したこと以外に「まだまだ発掘されることを待っているものがあると思われる」（科研費研究成果報告書－教育と発育の相互作用についての研究－p. 75）として期待する言葉を寄せている。

短い測定間隔で個人を長期間追跡観測する研究は、時間と手間と根気が必要であるため、一度に大勢を研究対象とすることはできないが、子どもの健康情報や教育情報として役立つ発育学を目指すためには、さらに地道な研究を積み重ねていく必要があると考えている。



## 謝 辞

本研究は、東郷正美教授が行なった1カ月1度の測定に対して、毎日測定すればもっといろいろなものが見えるのでは、と今思えば無謀な発言をしてしまったことが発端である。東郷教授は、「それなら自分でやってみたらいい」とおっしゃった。しまったと思ったがもう後へ引けなかった。測定中は苦勞もあったが、次第に興味が増し、結局5年余も継続した。しかし、'DECOMP'に出会わなかったらデータを解析することもできず、本研究は成り立たなかったであろう。DECOMPを发育の解析に使うヒントを下さったのも東郷教授である。

東郷正美教授の長年に亘る御指導、ご鞭撻に、心から感謝申し上げます。

文部省統計数理研究所の北川源四郎教授には、ご多忙中にもかかわらず、DECOMPに関する数々のアドバイスをいただき、深謝申し上げます。

東京大学教育学部体育学健康教育学科の宮下教授、武藤教授はじめ、諸先生方には修士の頃より御指導頂き、大変お世話になりました。研究室の方々にも大変お世話になり、厚く御礼申し上げます。

また、測定に協力してくれた本研究の被験者である我が子、麻衣子と裕子に、心から感謝し、これからの成長を祈ります。

1994年 9月

## References

- Akaike H (1980) Seasonal adjustment by Bayesian modeling. *Journal of Time Series Analysis*. 1(1): 1-13.
- Akaike H, Ishiguro M (1980) BAYSEA, A Bayesian seasonal adjustment program. *Computer Science Monographs*, 13, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo.
- Akaike H, et al. (1985) TIMSAC-84 Part 1. *Computer Science Monographs*, 22, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo.
- Albertsson-Wikland K, Rosberg S (1988) 24-hour growth hormone profiles in children: relation to growth. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 67: 493-500.
- Ashizawa K, Kawabata M (1990) Daily measurement of the height of two children from June 1984 to May 1985. *Ann. Hum. Biol.* 17: 437-443.
- Bayley N (1956) Growth curves for height and weight by age for boys and girls scaled according to physical maturity. *J. Pediatr.* 48: 187-194.
- Berkey CS (1982a) Comparison of two longitudinal growth models for preschool children. *Biometrics*. 38: 221-234.
- Berkey CS (1982b) Bayesian approach for a nonlinear growth model. *Biometrics*. 38: 953-961.
- Berkey CS, RB Reed, I Valadian (1983) Midgrowth spurt in height of Boston children. *Ann. Hum. Biol.* 10: 25-30.
- Bielicki T, and Welon Z (1973) The sequence of growth velocity peaks of principal body dimensions in girls. *Mat. Prace Anthropol.* 86: 3-10.

- Bielicki T, Koniarek J, and Malina RM (1984) Interrelationships among certain measures of growth and maturation rate in boys during adolescence. *Ann. Hum. Biol.* 11: 201-210.
- Bogin B (1979) Monthly changes in the gain and loss of growth in weight of children living in Guatemala. *Am. J. Phys. Anthropol.* 51: 287-292.
- Butler GE, McKie M, Ratcliffe SG (1990) The cyclical nature of prepubertal growth. *Ann. Hum. Biol.* 17: 177-198.
- Cameron N (1986) The methods of auxological anthropometry. In F Falkner and JM Tanner(eds.): *Human Growth: A Comprehensive Treatise*, Vol.3, 2nd edition. New York: Plenum Press, pp.209-225.
- Cameron N, Tanner JM, and Whitehouse RH (1982) A longitudinal analysis of the growth of limb segments in adolescence. *Ann. Hum. Biol.* 9: 211-220.
- Carlson HE, Gillin JC, Gordan P, Snyder F (1972) Absence of sleep-related growth hormone peaks in aged normal subjects and in acromegaly. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 34: 1102.
- Caruso-Nicoletti, M Malozowski, S Kibarian, M Barnes, KM Cassorla F, Cutler GB Jr. (1988) Short-term variations of growth rate and somatomedin-C levels in normal prepubertal children. *J. Pediatr. Endocrinol.* 3: 7-13.
- Cline AK (1974a) Scalar and planar-valued curve fitting using spline under tension. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 17: 218-220.
- Cline AK (1974b) Six subprograms for curve fitting using spline under tension. *Communication of the Association for Computing Machinery*, 17: 220-223.
- Costin G, Kaufman FR, Brasel JA (1989) Growth hormone secretory dynamics in subjects with normal stature. *J. Pediatr.* 115: 537-544.

- Count EW (1943) Growth patterns of the physique: An approach to kinetic anthropometry.  
Part 1. Hum. Biol. 15: 1-32.
- Day NE (1966) Fitting curves to longitudinal data. Biometrics. 22: 276-291.
- Deming J (1957) Application of the Gompertz curves to the observed pattern of growth in length of 48 individual boys and girls during the adolescent cycle of growth. Hum. Biol. 29: 83-122.
- Deming J, Washburn AH (1963) Application of the Jenss curve to the observed pattern of growth during the first eight years of life in forty boys and forty girls. Hum. Biol. 35: 484-506.
- Falkner F, Tanner JM (1986) Human growth, vols 1, 2, 3, 2nd edn. London: Plenum.
- Fearn T (1975) A Bayesian approach to growth curves. Biometrika 62: 89-100.
- Fisher DA (1988) Catch-up growth in hypothyroidism. N. Engl. J. Med. 318: 632-634.
- Gasser T, Kohler W, Muller HG, Kneip A, Largo R, Molinari L, Prader A (1984)  
Velocity and acceleration of height growth using kernel estimation. Ann. Hum. Biol. 11: 397-411.
- Gasser T, Muller HG, Kohler W, Prader A, Largo R, Molinari L (1985)  
An analysis of the mid-growth and adolescent spurts of height based on acceleration. Ann. Hum. Biol. 12: 129-148.
- Gersch W, Kitagawa G (1983) The prediction of time series with trends and seasonalities.  
Journal of Business and Economic Statistics, 1: 253-264.
- Gindhart PS (1972) The effect of seasonal variation on long bone growth. Hum. Biol. 44: 335-350.

- Glasbey CA (1979) Correlated residuals in non-linear regression applied to growth data. *Appl. Hum. Biol.* 5: 389-394.
- Gottman JM (1981) *Time-Series Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gray H, Faber HK (1940) Individual growth records of two healthy girls from birth to maturity. *Am. J. Dis. Child.* 59: 255-280.
- Grizzle JE, Allen DM (1969) Analysis of growth and dose response curves. *Biometrics* 25: 357-381.
- Harrison GA, Schmitt LH (1989) Variability in stature growth. *Ann. Hum. Biol.* 16: 45-61.
- Harrison GA, Brush G (1990) On correlations between adjacent velocities and accelerations in longitudinal growth data. *Ann. Hum. Biol.* 17: 55-57.
- Harrison GA, Brush G, Almedom A, Jewell T (1990) Short-term variations in stature growth in Ethiopian and English children. *Ann. Hum. Biol.* 17: 407-416.
- Hartman ML, Iranmanesh A, Thorner MO, Veldhuis JD (1993) Evaluation of Pulsatile of growth hormone release in humans: a brief review. *Am. J. Hum. Biol.* 5: 603-614.
- Hermanussen M, Sippell WG (1985) Changes of short term growth velocity (mini-growth-spurts) in 36 health children, measured twice weekly by knemometry. *Ann. Hum. Biol, Suppl 1*: 79a (Abstract).
- Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Sippell WG (1986) GH deficient children receiving GH replacement do not grow during intermittent infectious illnesses. *Acta Paediatr. Scand.* 15: 601-604.
- Hermanussen M (1987) How linear is growth? *Archs Dis. Childh.* 62: 763.



- Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J, Sippell WG (1987) Can the knemometer shorten the time for growth rate assessment? *Acta Paediatr. Scand. Suppl.* 337: 30-36.
- Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J, Sippell WG (1988a) Knemometry in childhood: A new technique for lower leg measurement. *Ann. Hum. Biol.* 15: 1-15.
- Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J, Sippell WG (1988b) Periodical changes of short term growth velocity ("mini growth spurts") in human growth. *Ann. Hum. Biol.* 15: 103-109.
- Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J, Sippell WG (1988c) Synchronization of growth hormone therapy. *Acta Paediatr. Scand. Suppl.* 343: 202-207.
- Hermanussen M, and Burmeister J (1993) Children do not grow Continuously but in spurts. *Am. J. Hum. Biol.* 5: 615-622.
- Hindmarsh P, Smith PJ, Brook CGD, Matthews DR (1987) The relationship between height velocity and growth hormone secretion in short prepubertal children. *Clin. Endocrinol.* 27: 581-591.
- Jazwinska EC, Adam K (1985) Diurnal change in stature: Effects of sleep deprivation in young men and middle-aged men. *Experientia* 41: 1533-1535.
- Johnson ML (1993) Analysis of serial growth data. *Am. J. Hum. Biol.* 5: 633-640.
- Karlberg J, Fryer JG, Engstrom I, Karlberg P (1987) Analysis of linear growth using a mathematical model. II. From 3 to 21 years of age. *Acta Paediatrica Scandinavica, Suppl.* 337: 12-29.
- Kitagawa G (1981) A nonstationary time series model and its fitting by a recursive filter. *Journal of Time Series Analysis* 2: 103-116.

- Kitagawa G, Gersch W (1984) A smoothness priors state space modeling of time series with trend and seasonality. *J. Amer. Statist. Ass.*, 79, No.386, 378-389.
- Kobayashi M, Togo M (1991) The time-series analysis of stature and body weight, measured twice daily in two children and one adult. 6th International Congress of Auxology, Abstracts. 21.
- Kobayashi M, Togo M (1993) Twice-daily measurements of stature and body weight in two children and one adult. *Am. J. Hum. Biol.* 5: 193-201.
- Kobayashi M, Kitagawa G, Togo M (1994) Time-series analysis of stature and body weight measured twice-daily in two girls using the AR process detection program "DECOMP". 7th International Congress of Auxology. Abstracts. 69.
- Kowarski A, Thompson RG, Migeon CJ, Blizzard RM (1971) Determination of integrated concentration of true secretion rate of human growth hormone. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 32: 356
- Lampl M (1983) Postnatal infant growth: leaps and bounds. *Am. J. Physic. Anthropol.* 60: 215-216A.
- Lampl M (1992) Further observations on diurnal variation in standing height. *Ann. Hum. Biol.* 19: 87-90.
- Lampl M, Veldhuis JD, Johnson ML (1992) Saltation and stasis: A model of human growth. *Science* 258: 801-803.
- Lampl M, and Johnson ML (1993) A case study of daily growth during adolescence : a single spurt or changes in the dynamics of saltatory growth ? *Ann. Hum. Biol.* 20: 593-603.
- Lampl M (1993) Evidence of saltatory growth in infancy. *Am. J. Hum. Biol.* 5: 641-652.

- Largo RH, Gasser T, Prader A, Stuetzle W, Huber PJ (1978) Analysis of the adolescent growth spurt using smoothing spline functions. *Ann. Hum. Biol.* 5: 421-434.
- Lindgren GW (1976) Height, weight, and menarche in Swedish urban school children in relation to socioeconomic and regional factors. *Ann. Hum. Biol.* 3: 501-528.
- Lindgren GW (1978) Growth of schoolchildren with early, average and late ages of peak height velocity. *Ann. Hum. Biol.* 5: 253-267.
- Lindgren GW, Hauspie RC (1989) Heights and weights of Swedish school children born in 1955 and 1967. *Ann. Hum. Biol.* 16: 397-406.
- Malina RM, Bouchard C (1991) Growth, Maturation, and Physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Marshall WA (1971) Evaluation of growth rates in height over periods of less than one year. *Archs Dis. Childh.* 46: 414-420.
- Marshall WA, Swan AV (1971) Seasonal variation in growth rates of normal and blind children. *Hum. Biol.* 43: 503-516.
- Marshall WA, Tanner JM (1986) Puberty. In F Falkner and JM Tanner(eds.): *Human Growth*, Vol.2. Postnatal Growth Neurobiology. New York: Plenum Press, pp.171-177.
- Marubini E (1978) The mathematical handling of longterm longitudinal data. In F Falkner and JM Tanner(eds.): *Human Growth: A Comprehensive Treatise*, Vol. 1, 1st edition. New York: Plenum Press, pp.209-225.
- Michaelsen FK, Skov L, Badsberg J, Jorgensen M (1991) Short-term measurement of linear growth in preterm infants; validation of a hand-held knemometer. *Pediatr. Res.* 30: 464-468.

- Miller JD, Tannenbaum GS, Colle E, Guyda H (1982) Daytime pulsatile growth hormone secretion during childhood and adolescence. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 55: 989-994.
- Plotnick LP, Thompson RG, Kowarski A, de Lacerda L, Migeon CJ, Blizzard RM (1975) Circadian variation of integrated concentration of growth hormone. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 40: 240.
- Prader A, Tanner JM, Harnack GA, von. (1963) Catch-up growth following illness or starvation. An example of developmental canalization in man. *J. Pediatr.* 62: 646-659.
- Preece MA, Baines MJ (1978) A new family of mathematical models describing the human growth curve. *Ann. Hum. Biol.* 5: 1-24.
- Preece MA (1986) The anthropometric considerations in the evaluation of growth promoting treatments. In *Pediatric Endocrinology, Past and Future*, edited by M.B. Ranke and J.R. Bierich (Munich: MD-Verlag), pp. 22-28.
- Rao CR (1975) Simultaneous estimation of parameters in different linear models and applications to biometric problems. *Biometrics* 31: 545-554.
- Roche AF (1974) Differential timing of maximum length increments among bones within individuals. *Hum. Biol.* 46: 145-157.
- SAS Institute, Inc. (1985) *SAS User's guide: Statistics, Version 5 Edition*. Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Satake T, Kikuta F, Ozaki T (1993) Ages at peak velocity and peak velocities for seven body dimensions in Japanese children. *Ann. Hum. Biol.* 20: 67-70.
- Satake T, Malina RM, Tanaka S, Kikuta F (1993) Individual variation in the sequence of ages at peak velocity in seven body dimensions. *Am. J. Hum. Biol.* 6: 359-367.

- Scammon RE (1927) The first serial study of human growth. *Am. J. Phys. Anthropol.* 3: 329-336.
- Shuttleworth FK (1937) Sexual maturation and the physical growth of girls age six to nineteen. *Monographs of the Society for Research in Child Development* (Washington: National Research Council), II, number 5, serial number 12.
- Shuttleworth FK (1939) The physical and mental growth of girls and boys age six to nineteen in relation to age at maximum growth. *Mon. Soc. Res. Child. Dev.* 4, no.3.
- Simmons K, Greulich WW (1943) Menarcheal age and the height, weight and skeletal age of girls 7 to 17 years. *J. Pediatr.* 22: 518-548.
- Strickland AL, Shearin RB (1972) Diurnal height variation in children. *J. Pediatr.* 80: 1023-1025.
- Takahashi Y, Kipnis DM, Daughady WH (1968) Growth hormone secretion during sleep. *J. Clin. Invest.* 47: 2079-2090.
- Takaishi M, and Kikuta F (1988) The changes of standing height in school girls of a private school in Tokyo during the last 20 years. In JM Tanner(ed.): *Auxology 88: Perspectives in the Science of Growth and Development*. London: Smith-Gordon, pp.203-206.
- Tanner JM (1962) *Growth at Adolescence*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp.12-14.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Takaishi M (1966) Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity and weight velocity: British Children 1965. *Arch. Dis. Child.* 41: 454-471, 613-635.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Marubini E, and Resele LF (1976) The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden Growth Study. *Ann. Hum. Biol.* 3: 109-126.



- Tanner JM (1981) A concise history of growth studies from Buffon to Boas. In: Human Growth. ed. by Falkner F & Tanner JM. Baillier Tindall, London. pp. 515-593.
- Tanner JM (1981) A History of the Study of Human Growth. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tanner JM (1986) Growth as a target-seeking function: Catch-up and catch-down growth in man. In F Falkner and JM Tanner(eds.): Human Growth: A Comprehensive Treatise. Vol. 1, 2nd edition. New York: Plenum, pp.167-180.
- Thorner MO, Vance ML, Hatman ML, Holl RW, Evans WS, Veldhuis JD, Van Cauter E, Copinschi G, Bowers CY (1990) Physiological role of somatostatin on growth hormone regulation in humans. *Metabolism* 39(Suppl 2): 40-42.
- Togo M, Morinaga E, Togo T (1977) Urinary hydroxyproline, creatinine and urea excretion during the growth of five siblings. *Ann. Hum. Biol.* 4: 439-447.
- Togo M, Togo T (1982) Time-series analysis of stature and body weight in five siblings. *Ann. Hum. Biol.* 9: 425-440.
- Togo M, Togo T (1988) Initiation time of adolescent growth spurt estimated by a certain trough in time-series analysis of monthly anthropometric and urinalysis data in five siblings. *Hum. Biol.* 60: 223-235.
- Togo M, Togo T (1989) Width of the observation interval in longitudinal studies. In JM Tanner(ed.): *Auxology 88: Perspectives in the Science of Growth and Development*. London: Smith-Gordon, pp.63-66.
- Valk IM, Langhout Chabloz AME, Smals AGH, Kloppenborg PWC, Cassorla FG, Schutte EAST (1983) Accurate measurement of the lower leg length and the ulnar length and its application in short term growth measurement. *Growth*, 47: 53-66.

- Valk IM, Langhout Chabloz AME, Van Gilst W (1978) Intradiaily variation of the human lower leg length and short term growth—a longitudinal study in 14 children. *Growth*, 47: 397–402.
- Van Cauter E, Caufriez A, Kerkhofs M, Van Onderbergen A, Thorner MO, Copinschi G (1992) Sleep, awakenings, and insulin-like growth factor-I modulate the growth hormone (GH) secretory response to GH-releasing hormone. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 74: 1451–1459.
- Wales JKH, Milner RDG (1987) Knemometry in assessment of linear growth. *Arch. Dis. Child.* 62: 166–171.
- Wellens R, Malina RM, Roche AF, Chumlea WC, Guo S, Siervogel RM (1992) Body size and fatness in young adults in relation to age at menarche. *Am. J. Hum. Biol.* 4: 783–787.
- Whitehouse RH, Tanner JM, Healy MJR (1974) Diurnal variation in stature and sitting height in 12–14-old boys. *Ann. Hum. Biol.* 11: 103–106.
- Wingard J (1970) The relation of growth from birth to two years to sex, parental size and other factors, using Rao's method of the transformed time scale. *Hum. Biol.* 42: 105–131.
- Zadik Z, Chalew SA, McCarter J Jr, Mesitas M, Lowarski AA (1985) The influence of ahe on the 24-hour integrated concentration of growth hormone. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 60: 513–516.

赤池弘次, 中川東一郎 (1987) ダイナミックシステムの統計的解析と制御.

サイエンス社, pp.1-9, 30-62.

赤池弘次 (1988) 時系列論 (尾崎統編). 日本放送出版会, pp.1-15.

荒居和子, 小林正子, 田中茂穂, 東郷正美 (1993) 小学生における体重の季節変動  
と肥満度との関係. 民族衛生, 59: 179-185.

石黒真木夫 (1981) ベイズ型季節調整モデル. 数理科学 213: 57-61.

石黒真木夫 (1986) ベイズ型季節調整プログラム BAYSEA. 統計数理 34(2):  
241-254.

石黒真木夫 (1988) 統計的モデル構成と AIC - 時系列論 (尾崎統編). 日本放送  
出版会, pp.82-91.

石黒真木夫 (1988) 予測と AR モデル - 時系列論 (尾崎統編). 日本放送出版会,  
pp.129-139.

岩城淳子 (1993) 起床時・就寝時身体計測値の時系列解析による発育の研究.  
(修士論文)

岡島佳樹, 東郷正美 (1994) 乳幼児の発育の時系列解析. 教育と発育の相互作用  
についての研究 - 平成5年度科学研究費補助金(総  
合究(A))研究成果報告書, 22-27.

川畑昌子, 芹沢玖美 (1987) 二児童の身体高径の一年間の成長の追跡. 日本人類学  
雑誌 95(2): 195-198.

木村邦彦 (1979) 人類学講座8, 成長. 雄山閣出版, pp. 84-87.

- 北川源四郎 (1986) 時系列の分解 - プログラムDECOMPの紹介 -,  
統計数理 34(2): 255-271.
- 北川源四郎 (1988) カルマンフィルタ - 時系列論(尾崎統編), 日本放送出版会,  
pp.91-101.
- 小林正子 (1990) 1日2回測定した身長・体重のBAYSEAによる時系列解析,  
(修士論文)
- 小林正子, 東郷正美 (1991) 1日2回測定による発育の評価 - 時系列解析プロ  
ラムBAYSEAを用いて, 第57回日本民族衛生学  
会総会講演集, 140-141.
- 小林正子 (1992) 週末に発育する子供, 医学のあゆみ 161(8): 525.
- 小林正子, 荒居和子, 東郷正美 (1992) 肥満児をつくる夏の体重増加,  
第57回日本民族衛生学会総会講演集, 170-171.
- 小林正子, 東郷正美, 竹本泰一郎, 田川宜正, 田原靖昭 (1993)  
肥満児をつくる夏の体重増加(II), 第58回日本民族衛生学会総会  
講演集, 46-47.
- 巷野悟郎 (1978) 成長における周期的現象, 小児医学 11(6): 1078-1093.
- 佐竹 隆, 菊田文夫, 尾崎 公 (1989) 個人発育からみた身長・体重の最大発育  
年齢の出現順について, 人類学雑誌 97(2): 189-199.
- 高石昌弘, 大森世都子, 宮部黎子, 岩本幸弓 (1969) 思春期身体発育のパターンに  
関する研究, 第二報, 女子の身体発育速度および体重発育速度および  
初潮年齢について, 小児保健研究 26: 280-285.

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 . pp.315-348.

東郷正美 (1981) 发育研究の最近の展開-個人の发育と集団の发育, 医学のあゆみ  
118: 395-402.

東郷正美 (1987) 月次データの時系列解析による发育の研究-もう一つの发育学,  
学校保健研究 29(Suppl.): 41-44.

東郷正美 (1989) 時系列解析による子どもの发育, 体育の科学 39: 834-839.

東郷正美 (1994) 時系列解析プログラム"DECOMP"を用いた发育研究,  
教育と发育の相互作用についての研究 - 平成5年度科学研究費  
補助金(総合研究(A))研究成果報告書, 2-3.

東郷正美, 小林正子 (1994) 发育研究における測定間隔, 教育と发育の相互作用に  
ついての研究 - 平成5年度科学研究費補助金(総合研究(A))  
研究成果報告書, 4-7.

深町智代, 杉原美子 (1980) 学令期女子の身長年間増加量曲線のパターンと初潮時  
身長における个体差, 日本女子体育大学紀要 10: 35-43.

松林鎭三 (1932) 女子身体发育に関する研究, 民族衛生 2: 3-88.

村田光範, 草川三治 (1978) ホルモン動態の周期性, 小児医学, 11(6):  
1052-1077.

吉田章宏 (1994) 「教育と发育の相互作用」について, 教育と发育の相互作用に  
ついての研究 - 平成5年度科学研究費補助金(総合研究(A))  
研究成果報告書, 65-75.



## 付 録

### Aの身長3年分

Original & TrendAR

AR (朝)

AR (夜)

Weekly cycle (朝)

Weekly cycle (夜)

### Bの身長5年分

Original & Trend

AR (朝)

AR (夜)

Weekly cycle (朝)

Weekly cycle (夜)

### Mの身長5年分

Original & Trend

AR (朝)

Weekly cycle (朝)

Weekly cycle (夜)

### Aの体重3年分

Original & Trend

AR (朝)

AR (夜)

Weekly cycle (朝)

Weekly cycle (夜)

### Bの体重5年分

Original & Trend

AR (朝)

AR (夜)

Weekly cycle (朝)

Weekly cycle (夜)

### Mの体重5年分

Original & Trend

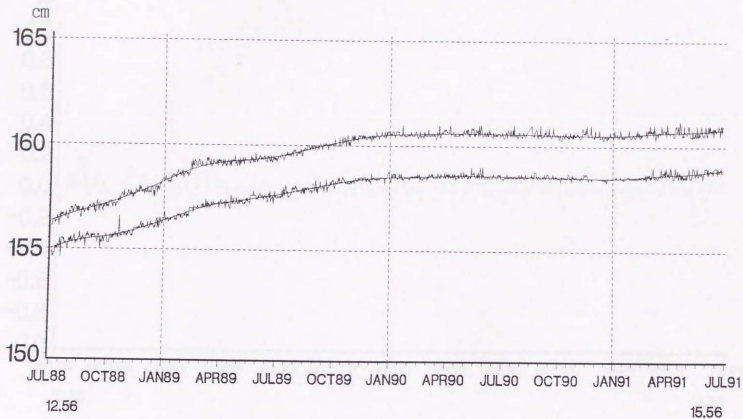
AR (朝)

AR (夜)

Weekly cycle (朝)

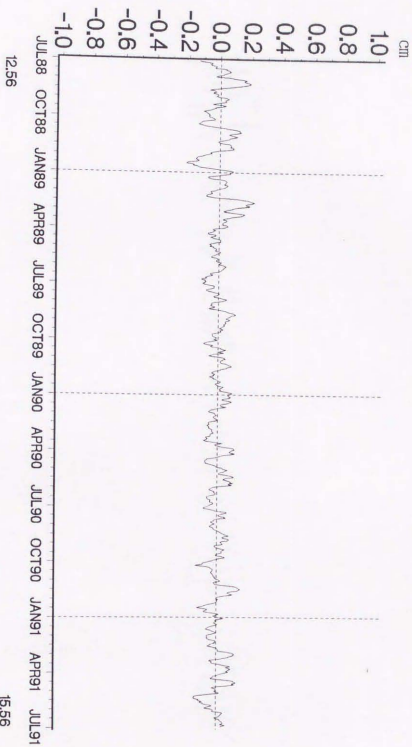
Weekly cycle (夜)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
ORIGINAL & TREND FACTOR OF STATURE IN A



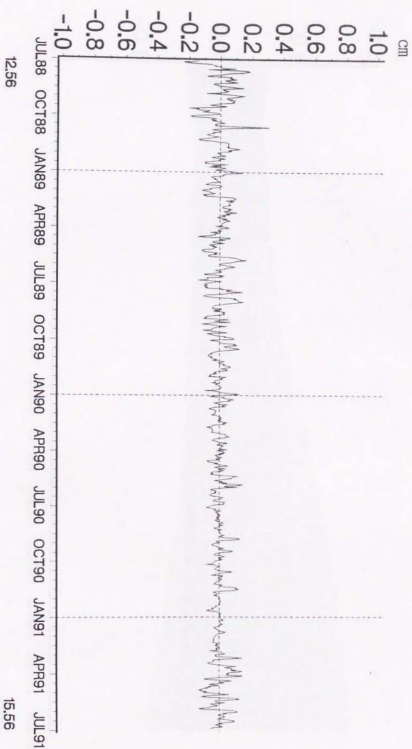
DECOMP.G:AST3  
DOUT.DATA:ASTMST,EST

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF MORNING STATUTE IN A



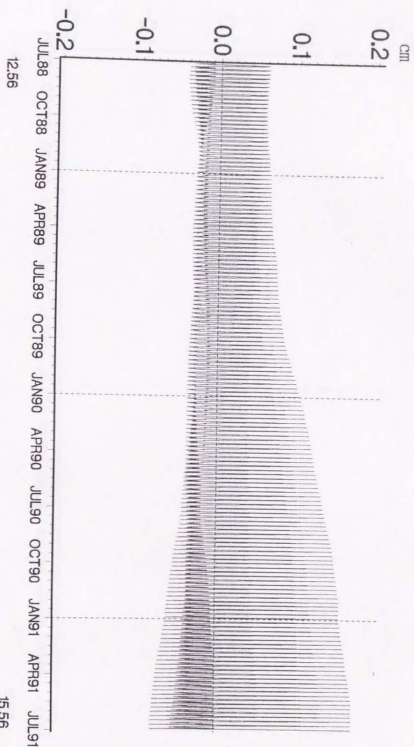
DECOMP: C:\AST3  
DOIT: DATA\AST3\LIST

# TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP) AR PROCESS OF EVENING STATURE IN A



DECOMP: GJAST3  
DOIT: DATA KINNET.SST

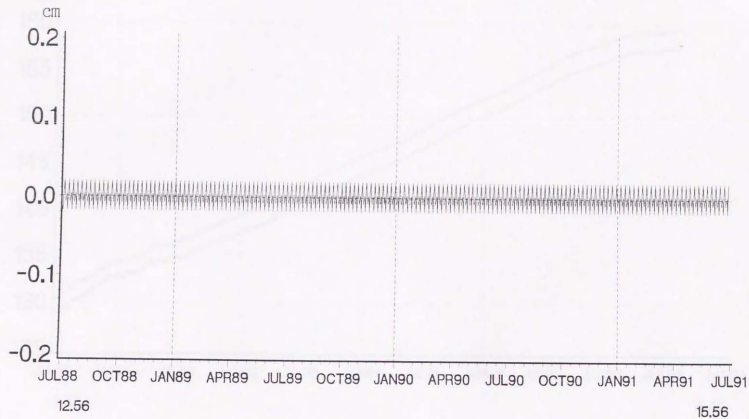
# TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP) WEEKLY FACTOR OF MORNING STATURE IN A



DECOMP C:\ST3  
DOUT DATA\BMS7.1257

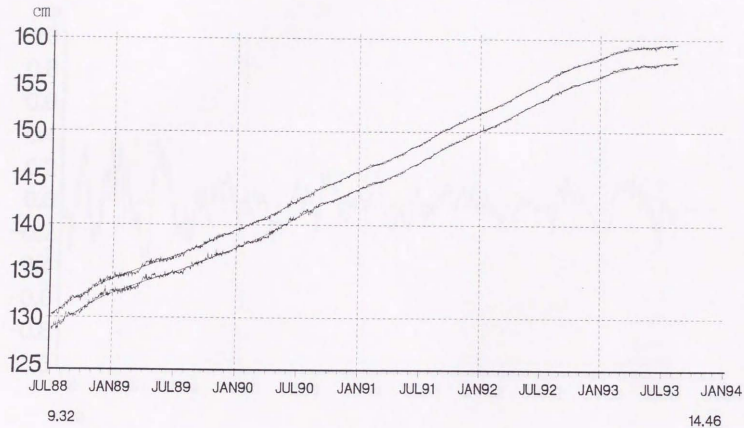


TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF EVENING STATURE IN A



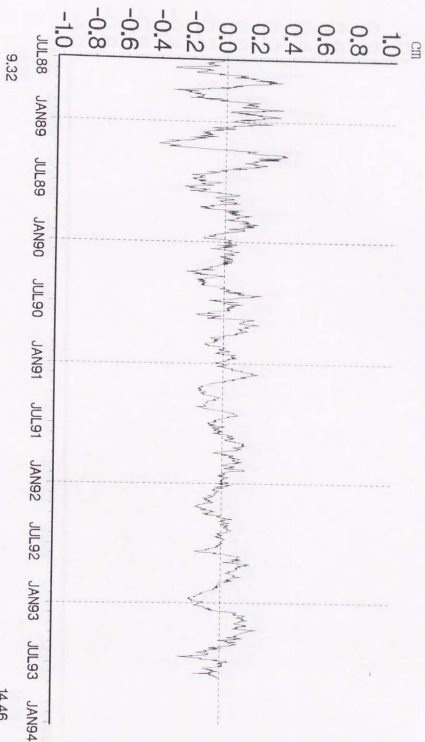
DECOMP, G:AST3  
DOUT, DATA:ASTMST, EST

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
ORIGINAL & TREND FACTOR OF STATURE IN B



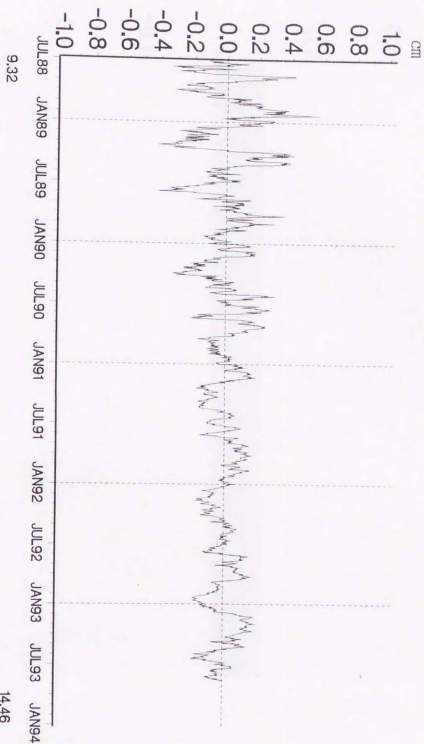
SAS, GPRO (DECOMPX)  
OUT, DATA: BGNST, EST)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF MORNING STATURE IN B



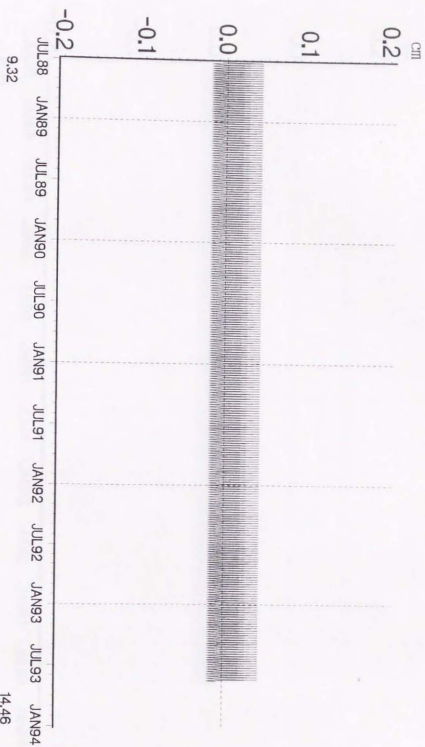
SAS (DECOMP)  
DECOMP: AR PROCESS (1988-1994)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF EVENING STATURE IN B



SAS (DECOMP)  
DWIT (MATHS) (EST)

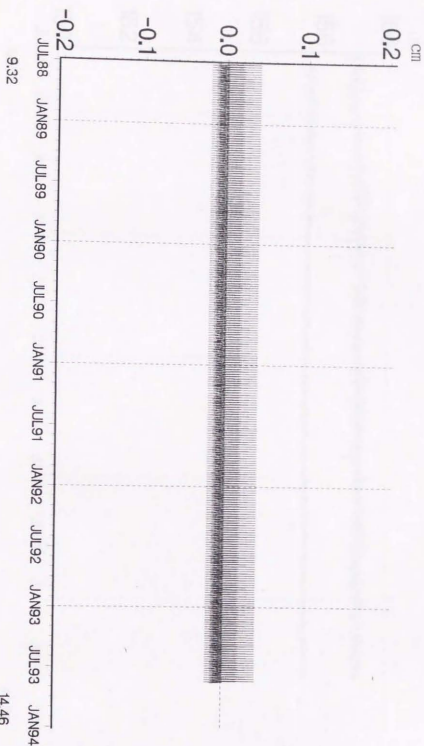
TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
CYCLIC FACTOR OF MORNING STATURE IN B



SAS (DECOMP)  
DIFF. DATA (RECENT, LAST)

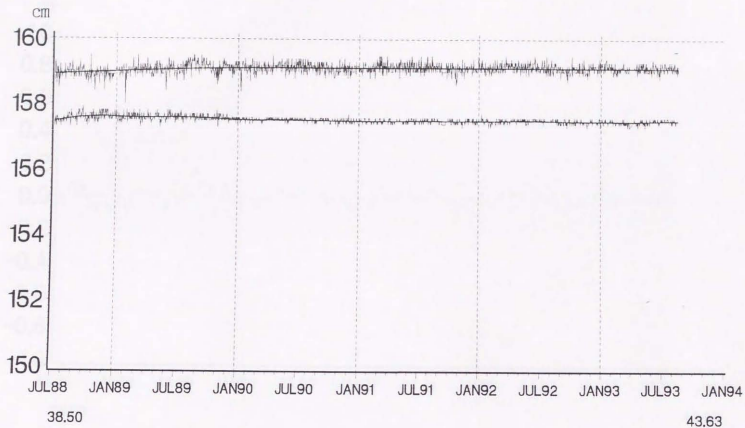


TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
CYCLIC FACTOR OF EVENING STATURE IN B



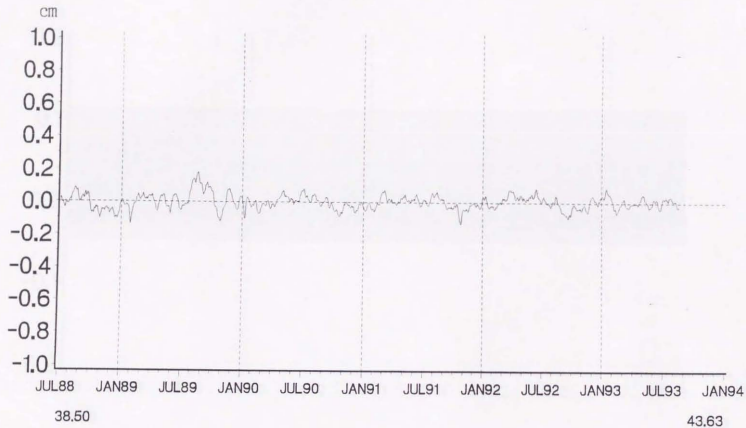
SAS (DECOMP)  
INPUT DATA (SERIES, SST)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
ORIGINAL & TREND FACTOR OF STATURE IN M



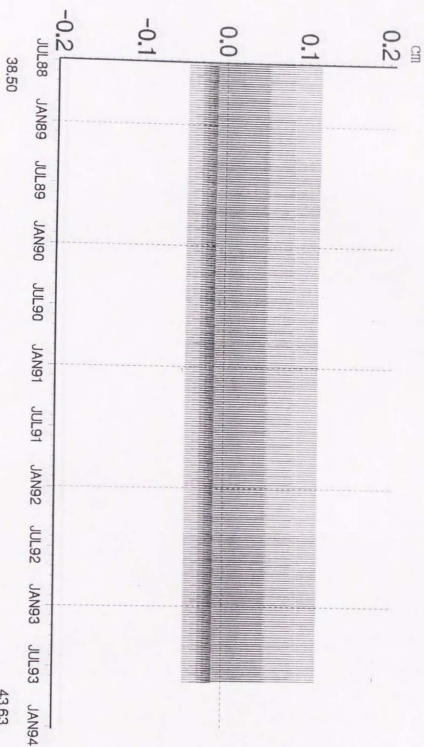
DECOMP.G:MST5)  
DOUT,DATA:MEHST,EST)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF MORNING STATURE IN M



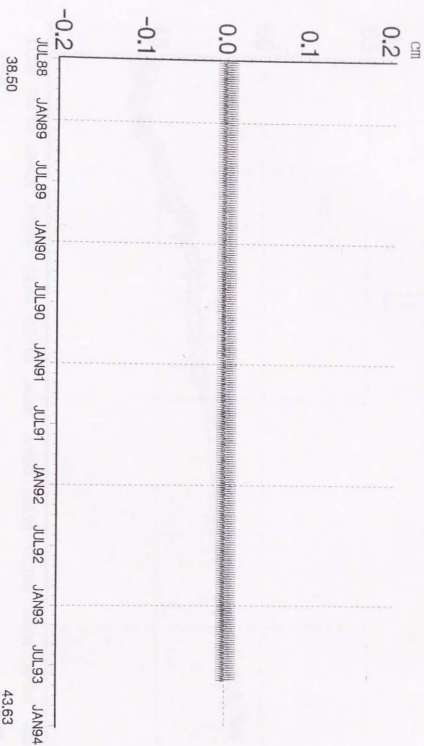
DECOMP, G:MST5)  
DOOT, DATA:M5MST, EST)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
CYCLIC FACTOR OF MORNING STATURE IN M



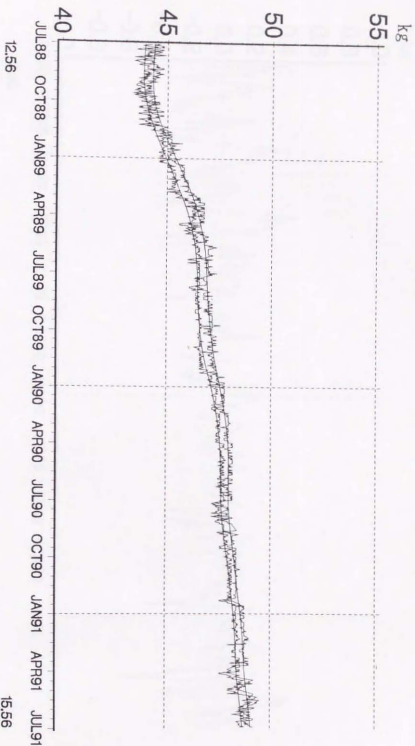
DECOMP (2.4.83)  
DIFF. DATA (SERIAL. 1.5.87)

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
CYCLIC FACTOR OF EVENING STATURE IN M



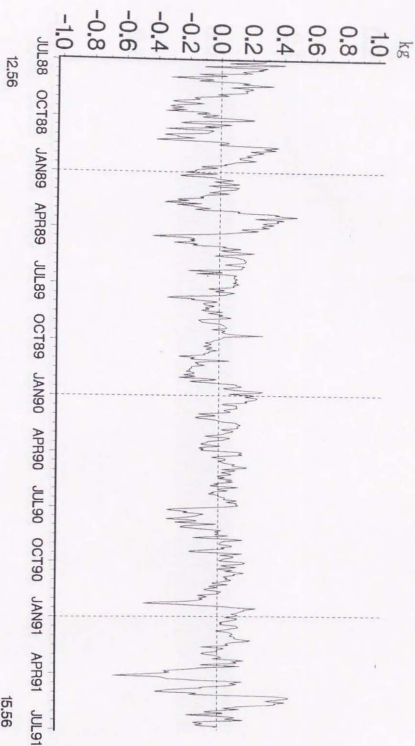


TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
ORIGINAL & TREND FACTOR OF WEIGHT IN A



DECOMP FACTS  
DATE: JUL19 1990 12:56

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF MORNING WEIGHT IN A

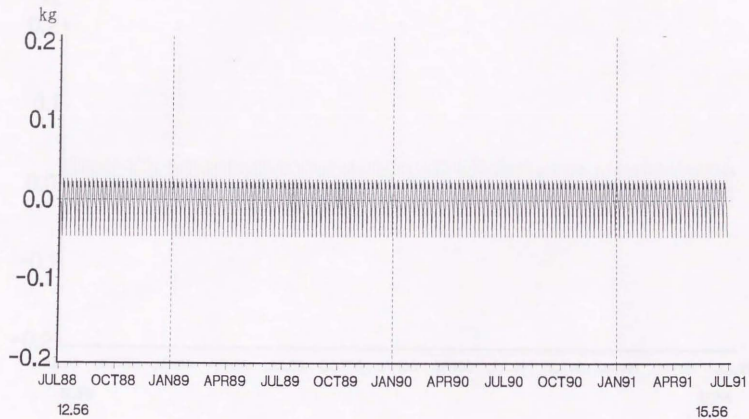


12.56

15.56

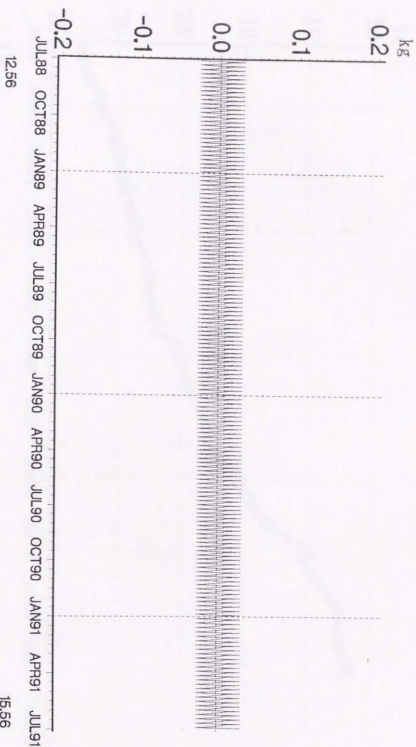
DECOMP 02-1573  
DATE: 10/10/88 BY: JST

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF MORNING WEIGHT IN A



DECOMP.G:AST3  
DOIT.DATA:ASMST.EST

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF EVENING WEIGHT IN A

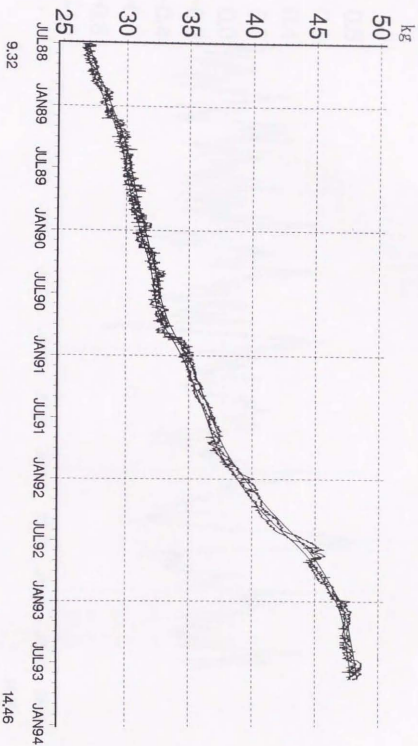


12.56

15.56

DECOMP: GJAN73  
DOUT: DATA: JANNT: EST

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
ORIGINAL & TREND FACTOR OF WEIGHT IN B



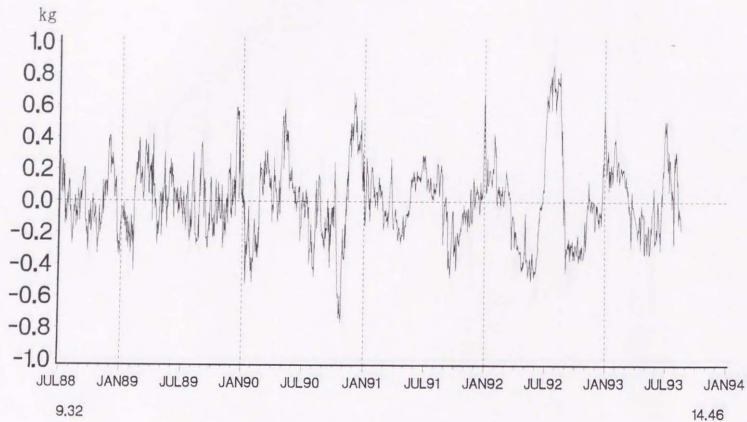
9.32

14.46

DECOMP.GLBWTS  
0001.MATHESWAT.LBWT

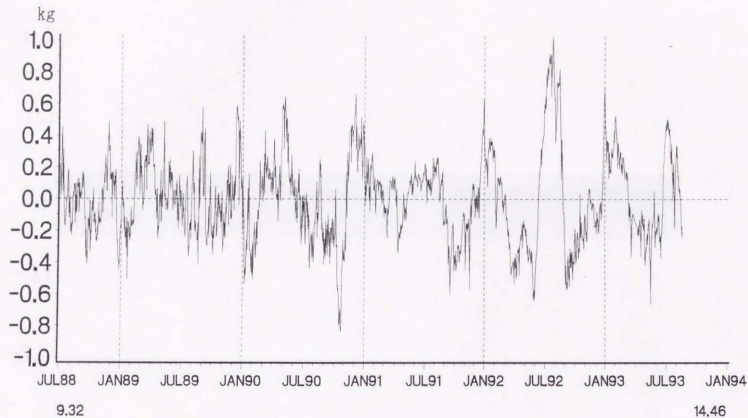


TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF MORNING WEIGHT IN B



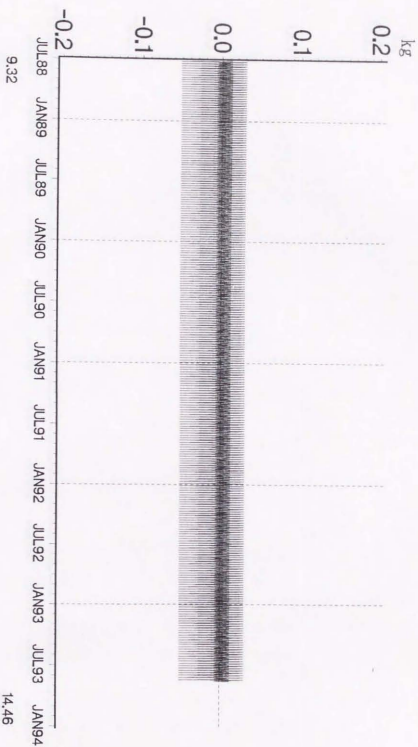
DECOMP: G: BWTS  
DOUT: DATA: 16RHWI, ENT

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF EVENING WEIGHT IN B



DECOMP.G:EWTS  
DOUT.DATA:BSNWT,EWT

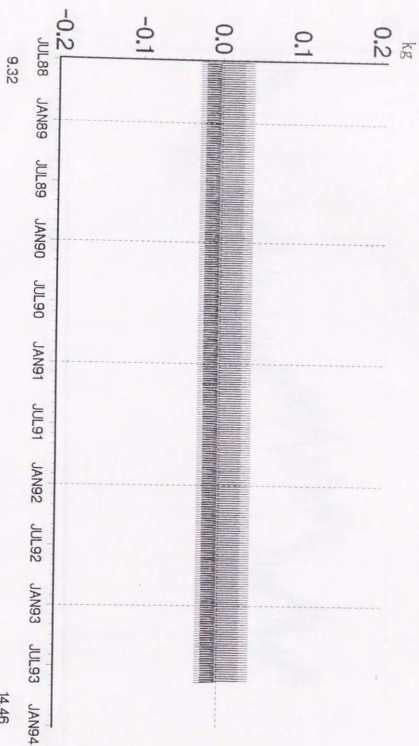
TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF MORNING WEIGHT IN B



9.32

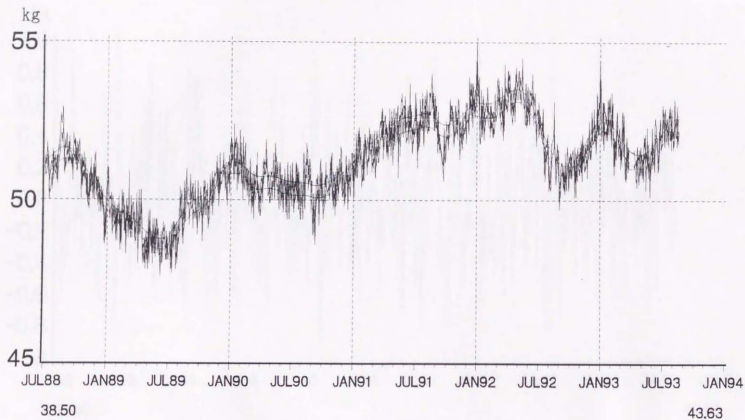
14.46

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF EVENING WEIGHT IN B



DECOMP: CHARTS  
DOOT.DM1A:SEMW1.SMT

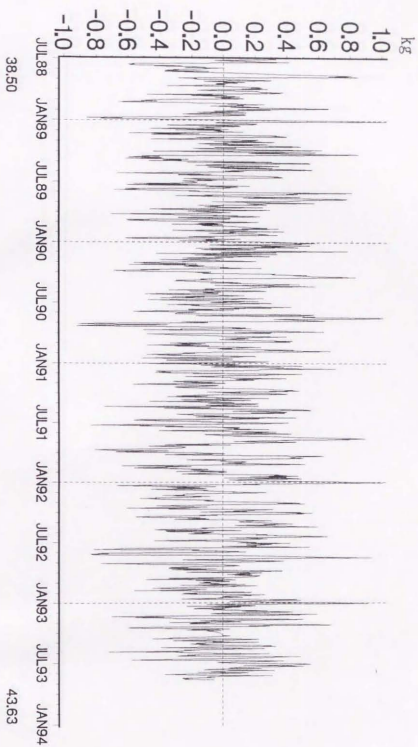
TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
ORIGINAL & TREND FACTOR OF WEIGHT IN M



DECOMP.C:WMTS  
DOIT.DAT:NEWMT.SWT

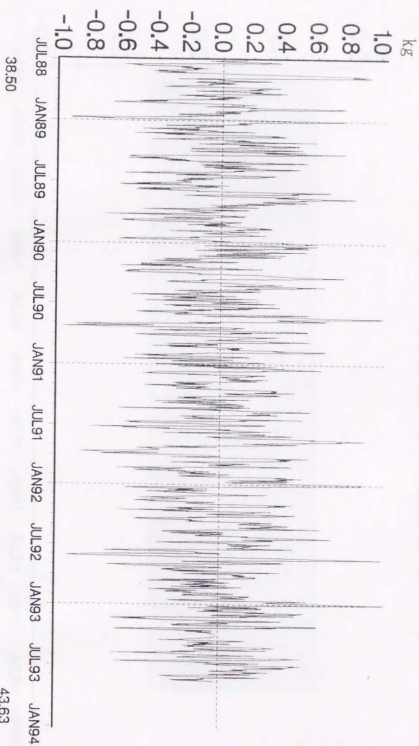


TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF MORNING WEIGHT IN M



BEHIND: C:\NCS  
DOIT.DAT\198907.DAT

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
AR PROCESS OF EVENING WEIGHT IN M

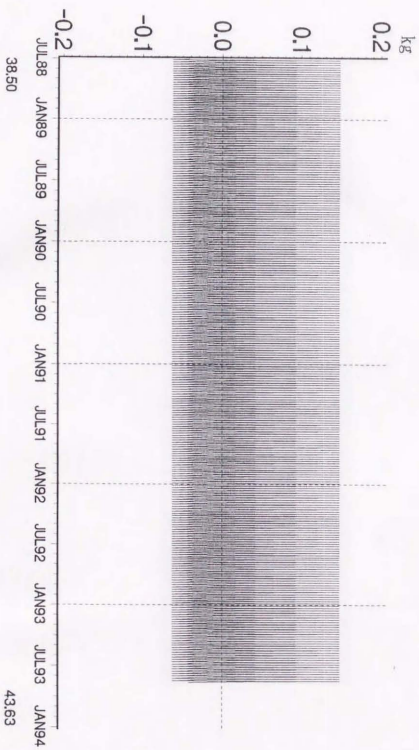


38.50

43.63

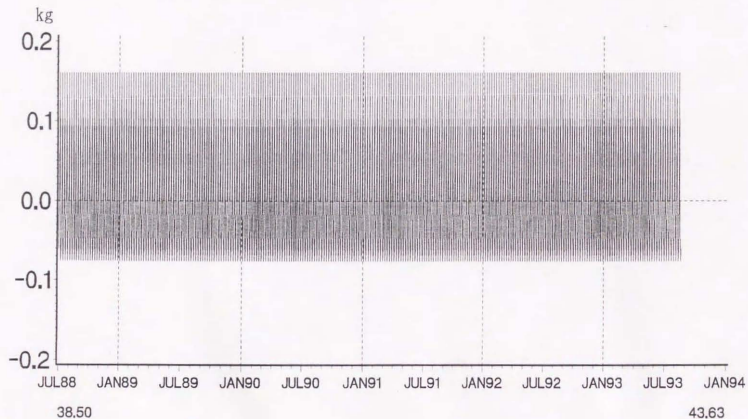
DECOMP: C:\MATE  
DOIT.DAT1-MS94T.1247

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF MORNING WEIGHT IN M



DECOMP-G-NANTS  
DOOT, DATA-WKENT, JSTT

TIME-SERIES ANALYSIS (DECOMP)  
WEEKLY FACTOR OF EVENING WEIGHT IN M



DECOMP.G:WETS  
DOUT.DATA:MSHW,EW

# ANALYSIS OF THE EFFECTS OF THE 1962-63 WINTER DROUGHT

