

Body Mass Index における親子相関

小須田 和 彦

はじめに

ヒトの量的形質、特に形態に関する形質についての遺伝的研究は数多く報告されている。とりわけ、身長・体重についての研究は知的能力と並んで多くの調査研究が知られている。一方、性的成熟などの成長速度を含めた生理的、行動的形質に関する調査研究は比較的少ない。これまでの研究から明らかにされた事は、ヒトに限らず多くの生き物で、身長の遺伝力（ヘリタビリティ）が体重のそれより高い事である。すなわち、身長は体重と比べると遺伝的関与が大きく、環境要因にあまり左右されないという事である。また、また知能における遺伝力が体重はもとより身長より高いかもしくは身長のそれと同程度であるということである。

3年前、著者は、ヒトの性的成熟の指標とし、あまり研究されておらずデータが殆どない女子における最初の生理である初潮（menarche）年令、男子における精通、すなわち初めての射精（first ejaculation）年令について調査研究をした。アンケート調査によるデータに基づき分析した結果、初潮ならびに精通年令における遺伝的関与が非常に大きい事を報告した（Kosuda, 2004; 2005）。すなわち、初潮年令についての親子相関を調べたところ相関係数は0.43であり、精通年令についても、 $r = 0.48$ という非常に高い相関が見られた。さらには、性的成熟年令、特に女子における初潮の低年令化が日本においては未だ止まっていない事を報告した。すなわち、初潮年令の平均値は母親世代にあっては13.25才であったのにたいして、子世代における平均は12.42才で、その差異は統計的に有意なものであった。一方、精通年令についても、初潮同様に、子世代の平均値12.80才は有意に親世代の13.09才より低かった。

また一昨年、身長並びに体重における親子相関を調査し、身長における親子相関が0.31から0.45と体重における親子相関0.11から0.26より著しく高いことを報告した（Kosuda, 2006; 2007）。さらに、父親の身長166.2 cmが彼等の息子における身長171.7 cmより0.1%レベルで有意に低いこと、母親の身長155.3 cmが彼女らの娘における身長158.4 cmより統計的に有意に低いことを見出した。この事は、日本における成人身長の伸びがいまだ進行し続けていることを示している。

近年、特に日本をはじめとする先進国において食生活の変化や運動量の減少により顕著になっ

てきた、肥満やメタボリックシンドロームに大きな関心が集まってきている。ただ単に身長、体重だけでなく、体脂肪率、皮下脂肪量、BMI とかの新たな指標が関心を集めるようになってきた。生活習慣病や寿命に及ぼす BMI (Body Mass Index) などの新しい指標が注目されるようになって来た。生活習慣病、心臓血管系の病気、ガンに及ぼす BMI の影響についても関心が高まってきている。

今回の調査研究の目的は、BMI における親子相関から遺伝力 (ヘリタビリティ, heritability) を推定すると共に、BMI に及ぼす加齢の影響を調べることにある。

調査対象と方法

調査研究の対象は城西大学の経済学部と女子短期大学の主に 1, 2 年次の学生で、この調査には、私の講義の受講生に協力してもらった。本人および両親の現時点における身長と体重をアンケート調査する方式を採用した。自己報告によるアンケート調査法は必ずしも真実のデータが得られない可能性を内在している。たとえば、Stewart (1982) や Bostrom and Diderichsen (1997) によれば、男性は女性より身長を高く報告する傾向がある。今回の調査でも、女性は自己の体重もしくは母親の体重を報告しながらない傾向が見られた。そのため、男子学生や父親の調査数より女子学生本人や母親の標本数が少なくなったり、身長より体重のデータが少なくなったりした。しかしながら、得られた結果から見ると概ね正しいデータが報告されたと判断される (小須田, 2006)。

アンケートでは兄弟姉妹の身長体重も同時に調べられたが、今回は親子相関だけに限り、兄弟 (姉妹) 相関については別の機会に報告することとする。今回の調査分析では親子の身長・体重の両方のデータが共に得られたものだけが分析された。そのため、親と子の標本数, N , は常に一致しており、分析に用いられたデータ数は、アンケート調査に協力してくれた学生数より少なくなっている。

Body Mass Index (BMI) は、 $BMI = \text{体重 (kg)} / [\text{身長 (m)} \times \text{身長 (m)}]$ で定義されている。欧米では BMI が 25 以上の場合に肥満と判断されるが、日本肥満学会によれば、成人の正常な BMI は男女を問わず 20 から 24 とされ、24 から 26.4 は過体重、BMI が 26.4 以上は肥満とされる。BMI が 20 以下の場合には過少体重 (やせ) とされる。また、BMI は年令と共に増大するものとされ、中学生の正常範囲は男子で 18 から 21、女子では 18 から 23 とされている。これからわかるように、青少年においては、BMI は男子より女子で多少大きな数値をとるとされる。

広義のヘリタビリティあるいは遺伝力 (broad-sense heritability; h_B^2) は、ある形質における表現型分散 V_p (phenotypic variance) における遺伝分散 V_G (genetic variance) の割合、すなわち、 V_G/V_p を示す。表現型分散は遺伝分散と環境分散 (environmental variance; V_E) の和

で表される。すなわち、

$$\text{表現型分散 } V_P = \text{遺伝分散 } V_G + \text{環境分散 } V_E \quad \text{式(1)}$$

遺伝分散は相加的分散 (additive variance; V_A) と優性分散 (dominance variance; V_D) ならびにエписシス (相互作用) 分散 (epistatic or interaction variance; V_I) の和であるから、式(1)は次のようになる (Falconer, 1969)。

$$V_P = V_A + V_D + V_I + V_E \quad \text{式(2)}$$

エписシス分散は遺伝子型と環境との間に特別の相互作用がない限り 0 になり、多くの場合、エписシス分散が 0 のことが多い。その場合には、式(2)は

$$V_P = V_A + V_D + V_E \quad \text{式(3)} \quad \text{となる。}$$

狭義のヘリタビリティ (narrow-sense heritability; h_N^2) は表現型分散における相加的分散の割合、すなわち、 V_A/V_P を指す。狭義のヘリタビリティが大きければ大きいほど、親と子は似る。環境分散が大きければ大きいほど、親子間の相関は小さくなる。狭義のヘリタビリティを推定する方法のひとつとして、親子間の相関係数 (correlation coefficient; r) を求める方法がある。親子間の共分散を $C_{OV}(OP)$ 、親並びに子世代における分散をそれぞれ V_P 、 V_O とおけば、任意交配が仮定すれば、

$r = C_{OV}(OP)/\sqrt{V_P \cdot V_O} = \frac{1}{2} V_A/V_P = \frac{1}{2} h^2$ となる。すなわち、 $h^2 = 2r$ となる (木村, 1960)。したがって、ヘリタビリティは親子間の相関係数を 2 倍すればよい事がわかる。

結果ならびに論議

BMI における親子間の相関が母—娘母—息子、父—息子、父—娘に分けて示されている (表 1—表 4)。表 1 には BMI における 145 人の男子学生とその父親の平均値と標準偏差並びに父子間の相関係数がまとめられている。父子間の相関係数 0.215 は、比較的高い値を示している。この相関は統計的には 5% レベルで有意である。このことは、男子学生の BMI が高ければ、彼らの父親の BMI も高く、男子学生の BMI が低ければ彼らの父親の BMI も低くなることを意味してい

表 1 BMI における父—息子の相関

	(N=145)	
	平均値	標準偏差
父	23.66	2.82
息子	21.20	2.24
相関係数 (父—息子)	$r=0.215$	

表 2 BMI における母—息子の相関

	(N=146)	
	平均値	標準偏差
母	23.15	0.30
息子	19.98	0.21
相関係数 (母—息子)	$r=0.217$	

表3 BMIにおける父-娘の相関

	(N=108)	
	平均値	標準偏差
父	25.21	3.00
娘	26.00	2.45
相関係数 (父-娘)	$r=0.262$	

表4 BMIにおける母-娘の相関

	(N=108)	
	平均値	標準偏差
母	21.62	2.60
娘	19.98	2.19
相関係数 (母-娘)	$r=0.269$	

る。言い換えれば、父親がやせていれば息子もやせる傾向があり、父親が肥満型であれば息子も肥満型になる傾向がある。したがって、推定される遺伝力は0.43となる。男子学生のBMIの平均値は21.20で、父親の平均値23.66より2.46ポイント低くなっている(表5)。この差異は統計的に有意水準をはるかに超えている($t=9.25$, d.f.: 144, $p<0.001$)。ここで注意しなければいけないことは、学生のBMI値は年齢が18才か19才の時のものであるのに対して、彼らの父親のBMI値は40代後半から50代前半のものである点である。この事は、親子間に見られるBMIの差異は必ずしも本質的なものではなく、一代に相当する約30年が経過する間に加齢による肥満によるものが大半であると思われる(小須田, 2006)。

表2には男子学生とその母親のBMIについての分析結果が示されている。母子間の相関係数は0.217となり、統計的に5%レベルで有意である。このことは、BMIの高い男子学生の母親もBMIが高い傾向があると言える。また、ヘリタビリティは0.43と推定される。

一方、表3に女子学生とその父親のBMIにおける平均値、標準偏差並びに父子間の相関係数が与えられている。ここでも、父子間の相関は0.262とかなり高い値となっている。この相関は統計的に1%レベルで有意である。推定されたヘリタビリティは0.52である。

表4には、女子学生とその母親のBMIについての分析結果が示されている。母子間の相関係数は0.269とBMIの相関としてはもっとも高い数値を示している。この相関係数も1%レベルで有意である。この結果は、母親のBMIが高ければ彼女らの娘のBMIも高くなり、母親のBMIが低ければ、娘のBMIも低くなることを意味している。別の言い方をすれば、母親がやせ型であれば娘もやせ型になる傾向が強く、母親が肥満型であれば娘も肥満型になる傾向が強いということである。ヘリタビリティは0.54と推定された。女子学生のBMIは平均値で19.98となっており、母親の平均値21.62より1.6ポイントほど低くなっている(表6)。この差異は統計的に0.1%レベルで有意である($t=5.83$, d.f.: 107, $p<0.001$)。この事は、BMIが加齢とともに増大

表5 父親と息子のBMI

	父親	息子
平均	23.66	21.20
標準偏差	2.82	2.25
観測数	145	145
	$t=9.25$	
	$p<0.001$	

表6 母親と娘のBMI

	母親	娘
平均	21.62	19.98
標準偏差	2.60	2.19
観測数	108	108
	$t=5.83$	
	$p<0.001$	

する事を明白に示している。

以上の結果から、BMIに見られる親子相関は0.21から0.27（平均0.24）である事が示された。したがって、BMIのヘリタビリティは0.43—0.54（平均0.47）と推定された。推定されたヘリタビリティは特に低くもなく高くもない程度のものである。また、性別に関係なく加齢と共にBMIが高くなることははっきりと示された。

娘を持つと、体型により関心が高くダイエットに余年のない娘の影響により、母親も父親も、息子を持つ両親よりBMIが低くなる事が予想された。事実、娘を持つ母親のBMI、21.62の方が息子をもつ母親のBMI、22.05より低かった（表7）。しかしながら、この差は統計的に有意ではなかった。おなじく有意ではなかったが、娘を持つ父親のBMI、23.15の方が息子を持つ父親のBMI、23.66より低かった（表8）。

表7 息子の母親と娘の母親のBMIの比較

	息子の母	娘の母
平均	22.05	21.62
標準偏差	2.65	2.60
観測数	146	108
$t=1.30$		
$p>0.05$		

表8 息子の父親と娘の父親のBMIの比較

	息子の父	娘の父
平均	23.66	23.15
標準偏差	2.82	3.17
観測数	145	108
$t=1.35$		
$p>0.05$		

日本肥満学会のBMIの分類基準によれば、青少年におけるBMIは、男子より女子の方が低いですが、成人においては男女差がないとしている。しかしながら、父親と母親のBMIの平均はそれぞれ23.66と22.05であった（表9）。また、男子学生と女子学生のBMIもそれぞれ21.20と19.96であった（表10）。今回得られたデータによると、男子学生と女子学生との間には統計的に有意な差が見出されただけでなく、成人である父親のBMIも母親のBMIよりはるかに高く、その差も統計的に有意であった。この結果は、女性が男性より、特に若い女子学生は男子学生より、体型をスリムに保つことにより熱心であることを暗示している。

表9 父親と母親のBMI

	父親	母親
平均	23.66	22.05
標準偏差	2.82	2.62
観測数	145	146
$t=1.65$		
$p<0.001$		

表10 息子と娘のBMI

	息子	娘
平均	21.20	19.98
標準偏差	2.25	2.19
観測数	145	108
$t=1.65$		
$p<0.001$		

数年前、筆者は今回と同じ方法により、性成熟年齢（女性における初潮年齢と男性における精通年齢）の親子相関を調査研究した。その結果、初潮年齢と精通年齢の親子相関が非常に高いこ

と、特に精通年齢において非常に高いことを報告した (Kosuda, 2004; 小須田, 2005)。また、男女ともに、性成熟年齢の若年化が未だ止まっていないことを明らかにした。しかしながら、調査方法が性的成熟年齢を子世代はもとより 20 年から 30 年前の親世代のデータを学生による自己報告に基づくものだったから、その結果について疑問を投げかける研究者もいた。昨年、身長・体重のヘリタビリティを調査研究した結果、こうした調査方法が信頼でき妥当なものであったことが確かめられ、そうした疑問は払拭されたといえる。すなわち、身長および体重のヘリタビリティがそれぞれ、0.73、0.37 と推定され、従来の研究報告と一致した事が報告された。

表 11 には今回の BMI における親子相関の結果が、初潮年齢、精通年齢、身長並びに体重に関する結果と一緒に挙げられている。BMI の親子相関が中程度であること、初潮年齢と精通年齢で表された性成熟年齢の親子相関が非常に高いこと、身長の親子相関が体重におけるそれよりかなり高いことが明瞭に示されている (表 9)。BMI のヘリタビリティが中程度であることは、BMI が身長と体重の二つのパラメーターで決まることからある程度予想されたことである。

表 11 BMI 並びに身長、体重、および性成熟年齢における親子相関の比較

	BMI		身 長		体 重		精 通		初 潮	
	r	N								
父一息子相関	0.21	145	0.34	145	0.17	145	0.55	210		
母一息子相関	0.22	146	0.45	147	0.26	146	0.42	210		
父一娘相関	0.26	108	0.31	119	0.11	108			0.37	105
母一娘相関	0.27	108	0.35	121	0.20	109			0.49	105
平 均	0.238		0.363		0.186		0.485		0.433	

しかしながら、Sale *et al.* (2005) はアフリカ系アメリカ人を調査して、BMI と身長のヘリタビリティがそれぞれ 0.64 と 0.43 であることを報告しており、BMI が身長よりも高いヘリタビリティを持つこともあることを示している。

Maes *et al.* (1997) は BMI における親子間の相関係数が 0.19 と報告している。したがって、そのヘリタビリティは 0.38 と推定される。また、Coady *et al.* (2002) も BMI のヘリタビリティの推定値として 0.37 を報告している。今回推定された BMI の推定値 0.46 は彼等の推定値の中間となっている。

Coady *et al.* (2002) は、一卵性双生児間、二卵性双生児間、兄弟間の相関がそれぞれ、0.74、0.32、0.25 と報告している。一卵性双生児間の相関が高いこと及び一卵性双生児間の相関が二卵性双生児間よりも非常に高いことは、BMI における遺伝的関与が大きいことを示している。双生児による調査研究は、二卵性双生児 (dizygotic twin) が遺伝的には兄弟と同じであるのに対して、一卵性双生児 (monozygotic twin) が全く同じ遺伝子をもつ事実に基づいている。しかしながら、二卵性双生児は生まれ育つ時間を共有するため、兄弟より強い相関が得られるこ

とが多い。Pietilainen *et al.* (1999) は 4884 組の双生児を対象にして、二卵性双生児の場合、男一女における相関が、男一男あるいは女一女における相関より低いことを報告している。また、双生児の BMI が低く痩せていることを報告している。

興味深いことに、Montero *et al.* (2000) によれば、若い時に BMI が 18.5 以下の女性はおよそ 20 年後には平均 21.4 kg 体重が増加するのに対して、若い時に BMI が 27 以上だと年をとってもわずかに 5.4 kg 体重が増加するにとどまるという。

Anderas (1985) は 60 歳以上の成人では、BMI が 26-27 の時に死亡率が最も低くそれより高くなっても低くなくても死亡率が上昇することを報告している。Welborn *et al.* (2000) も同様な結果を得ている。Tokunaga *et al.* (1990) も中程度の BMI のヒトの有病率が最も低く、それより高くても低くても病気になりやすいことを報告している。これは中間型の個体が最も適応度が高い中間型最適モデルの代表的な例である。最近、酒井ら (2007) は中間的 BMI を持つヒトの性的活動が高いのではないかと調査したが、期待したような結果は得られなかった。

謝 辞

このアンケート調査に協力してくれた、私の講義の受講生の協力なくしてこの調査研究はないことを明らかにして、彼らに謝意を表したい。

要 旨

本学学生並びに彼らの両親を対象としたアンケート調査によって得られたデータに基づいて、BMI (Body Mass Index) の親子相関が調べられヘリタビリティが推定された。父一息子、父一娘、母一息子、母一娘に分けて親子相関が求められたが、BMI の親子相関はいずれも中程度で 0.21-0.27 の範囲でありその平均は 0.238 であった。したがって、ヘリタビリティは 0.47 と推定された。BMI のヘリタビリティの推定値 0.47 は性的成熟年令 (初潮・精通) における 0.92 や身長 0.73 よりも低いものの、体重の 0.39 より高いものとなった。男子学生と彼らの父親の BMI の平均値は 21.20 と 23.66 で、その差は統計的に 0.1% レベルで有意であった。おなじく、女子学生の BMI は 19.98 で彼女らの母親の BMI, 23.15 より有意に高かった。このことは、BMI が加齢により増加する傾向がはっきり示された。統計的に有意ではなかったものの、娘を持つ父親並びに母親の BMI が息子を持つ両親のそれより低かったことは興味深い。体型に関心が高い娘の言動に影響され父親も母親も共にダイエットに留意したことがその理由であろう。

引用文献

- Andres, R. 1985 Mortality and obesity; rationale for age-specific height-weight table. In "Principles of geriatric medicine and gerontology" eds. Andres R., Bierman, E. L. and W. R. Hazzard, p. 311-318.

- Bostrom, G. and F. Diderichsen 1997 Socioeconomic differentials in misclassification of height, weight and body mass index based on questionnaire data. *International J. of Epidemiology* 26: 860-866.
- Coady, S. A., C. E. Jaquish, R. R. Fabsitz, M. G. Larson, L. A. Cupples and R. H. Myers. 2002 Genetic variability of adult body mass index: a longitudinal assesment in framington families. *Obes. Res.* 10: 675-681.
- Falconer, D. S. 1969 *Introduction to quantitative genetics*. Oliver & Boyd, Edinburgh and London.
- 木村資生 1960 *集団遺伝学概論* 培風館
- Kosuda, K. 2004 Parent-offspring correlations of sexually developmental time in a Japanese human population. *Xth European Society of Evolutionary Biology (Krakow, Poland)*, Abstracts p. 189.
- 小須田和彦 2005 ヒトの性成熟年齢における親子相関 *城西大学研究報 (自然科学編)*, 28: 1-10.
- 小須田和彦 2006 ヒトの身長・体重における親子相関 *城西大学研究報 (自然科学編)*, 30: 1-13.
- Kosuda, K. 2007 Parent-offspring correlation of sexually matured time, body height and weight in a Japanese human population. *XIth International Congress of Auxology (Tokyo)*, Abstract p. 105.
- Maes, H. H., M. C. Neale and L. J. Eaves 1997 Genetic and environmental factors in relative body weight and human adiposity. *Behav. Genet.* 27: 325-351.
- Montero, P., C. Bernis, C. Varea and S. Arias 2000 Lifetime dietary change and its relation to increase in weight in Spanish women. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 24: 14-19.
- Pietilainen, K. H., J. Kapiro, A. Rissanen, T. Winter, A. Rimpela, R. J. Viken and R. J. Rose 1999 Distribution and heritability of BMI in Finish adolescents aged 16y and 17y: a study of 4884 twins and 2509 singletons. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 23: 107-115.
- 酒井・坂口・長谷川・上田 2007 体格指数と性行動の関係 *日本動物行動学会第26回大会講演要旨集* p. 49.
- Sale, M. M., B. I. Freedman, P. J. Hicks, A. H. Williams, C. D. Langefeld, C. J. Gallagher, D. W. Bowden and S. S. Rich 2005 Loci contributing to adult height and body mass index in African American families ascertained for type 2 diabetes. *Ann. Hum. Genet.* 69: 517-527.
- Sanchez-Andres, A. and M. S. Mesa 1994 Heritabilities of morphological and body composition characteristics in a Spanish population. *Anthropol. Anz.* 52: 341-349.
- Stewart, A. L. 1982 The reliability and validity of self-reported weight and height. *J.Chronic Disease* 35: 295-309.
- Tokunaga, K., Y. Matsuzawa, K. Kotani, Y. Keno, T. Kobatake, S. Fujioka and S. Tarui 1991 Ideal body mass index with the lowest morbidity. *Int. J. Obesity* 15: 1-5.
- Wellborn, T. A., M. W. Knuiman and H. T. Vu 2000 Body mass index and alternative indices of obesity in relation to height, triceps skinfold and subsequent mortality: the Busselton health study.

Parent-offspring Correlations of Body Mass Index in a Japanese Human Population

Kazuhiko KOSUDA

Abstract

Parent-offspring correlation of body mass index (BMI) was studied in a Japanese human population, based on self-reported data. Parent-offspring correlation coefficients in BMI are 0.21–0.27 and its mean value is 0.248. Thus, the estimated heritability in BMI is calculated to be 0.47. There is a significant genetic component for the magnitude of BMI. The heritability of body weight and height was 0.39 and 0.73, respectively (Kosuda, 2006; 2007). The heritability of BMI is moderate-to-substantial in comparison with those of body weight and height. The result of this study reinforces the finding that the heritability of sexually developmental time expressed by the age at menarche in female and the age at the first ejaculation in male is remarkably high (Kosuda, 2004; 2005). The mean BMI of boy students was calculated to be 21.20, whereas the one for their fathers was 23.66. The difference is statistically highly significant. The BMI of girl student and their mother is 19.98 and 23.15, respectively. This difference is also highly significant. These facts indicate that BMI in males is significantly higher than that in females and that BMI increases with age. It is very interesting that the BMI of parents with girl students was higher than that of parents with boy students, although the difference is not significant. Parents with young girl students may take care of themselves, influenced by their daughters who are very interested in their figures.

附表

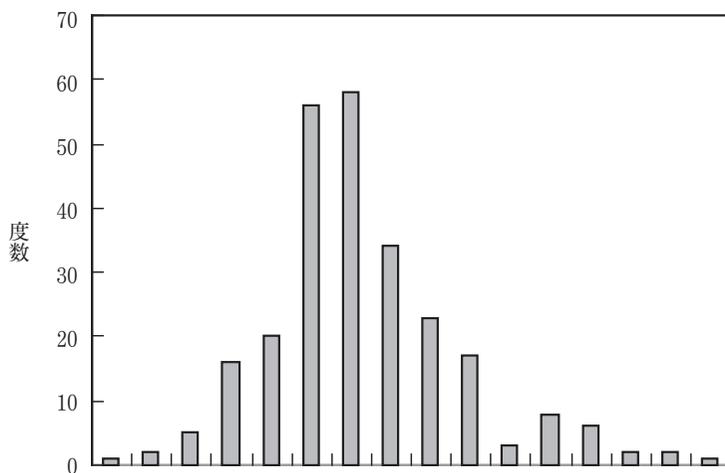


図1 母親の BMI の分布

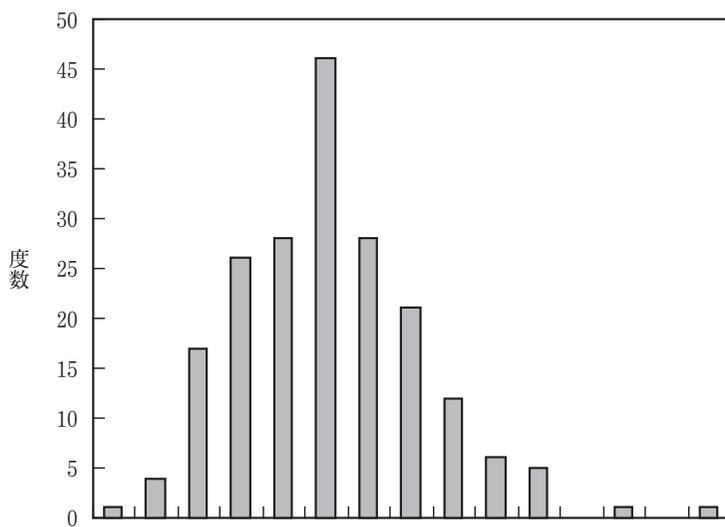


図2 父親の BMI の分布

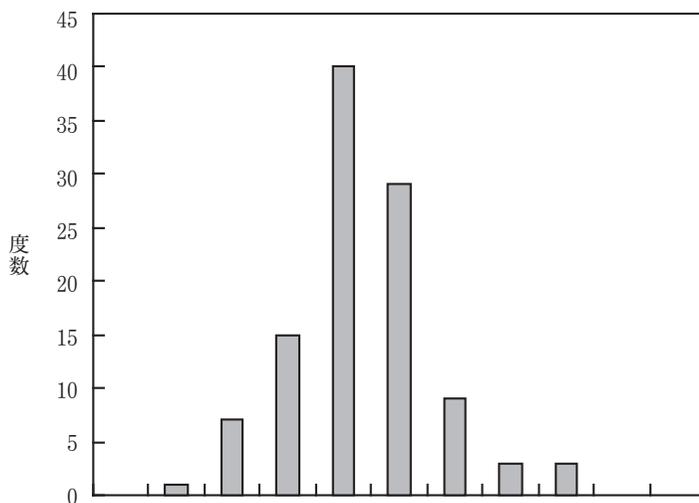


図3 娘の BMI の分布

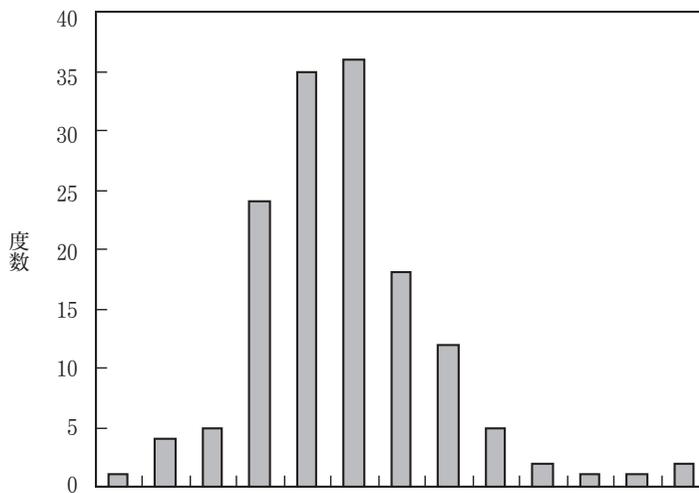


図4 息子の BMI の分布