

## 児童・生徒の人体浮力の経年的変化

合屋 十四秋 (体育教室)

### Cross-sectional Study of Floating Ability in Children aged from 9 to 15 years old.

Toshiaki GOYA (Aichi University of Education, Dept of Physical Education)

#### はじめに

水泳の初心者指導をする場合、推進技能を学習させる以前の段階では、浮くことと呼吸法が重要なポイントとなる。特に、浮力は身体を水中で水平に保つのに必要な因子である<sup>2)</sup>。人体が水中で安定した姿勢を保って浮いていられるためには、個人が最大限に息を吸った状態（最大吸気時）から浮きの姿勢に入らなければならない<sup>4)</sup>。だるま浮きでは比重が0.9875以上でないと淡水では浮くことができないとも言われている<sup>5)</sup>。Whiting<sup>14)</sup>は、最大吸気時の状態でも「ほんとうに沈む人」がいることを報告している。浮き、沈みを指導する場合、指導者は息をいっぱい吸った状態と吐いた状態ではどの程度浮力の差ができるのかを把握し、学習者に経験させておく必要がある。すなわ

ち、個人個人が水中で自分の浮力がどの程度であるのかを確かめ、浮き沈みのコントロールができるようにさせることが大切である。

表1 被検者

Age	Boy	Girl
9	13	16
10	14	15
11	15	12
12	9	11
13	4	3
14	4	4
15	6	4
Total	51	54

しかし、これらの人体浮力の測定は、Spring Balance Method がほとんどである。この方法では水中体重の最も代表的なデータを得るためには9~10回の測定が必

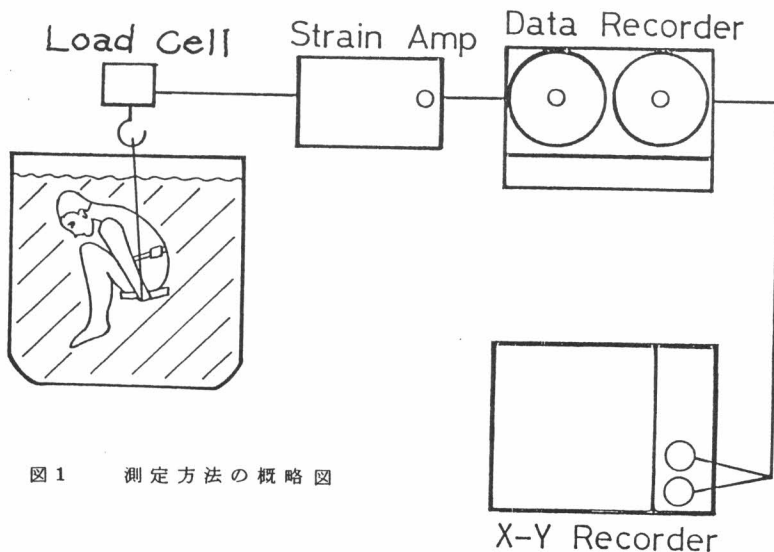


図1 測定方法の概略図

要である<sup>1)</sup>。

本研究では水中体重をロードセルを用いて測定し、児童・生徒の水中における最大呼気時および最大吸気時の身体密度の経年的変化を明らかにし、水泳指導における基礎的、実践的資料を得ることを目的とした。

方法

被検者は小学校3年から6年までの男子51名、女子54名と中学校1年から3年までの男子14名、女子11名であった(表1)。

空中体重は神戸衡機製不定量増おもり付き特殊衡機精密はかりで測定した。水中体重の測定は、図1に示した方法によった。被検者は、1~2kgの重りをつけたベルトを腰に装着してブランコに乗り、水中に頭まで没するように指示した。水中体重の記録は、ロードセル(共和電業製 LU20KA)からの出力をストレインアンプ(新興通信工業製 DSA 601B)で増幅しデータレコーダー(SONY NFR-3915)およびX-Yレコーダー(渡辺測器製 WX-4404)に接続した。最大呼気(吸気)時の水中体重は、数回の安静呼吸をしたのち、最大限に呼気(吸気)させ、ブランコが最も安定するまで数回の測定を行なわせた。

身体密度は、水中体重秤量法で測定した水中体重

表2 年齢別にみた身体計測値の平均と標準偏差

		身長		体重		肺活量	
Boy		cm		kg		cc	
Age	N.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
9	13	127.9	5.5	25.000	3.04	1752	330.67
10	14	133.4	5.4	29.680	3.21	2143	298.51
11	15	138.5	5.7	32.420	3.65	2464	520.27
12	9	138.6	4.3	33.790	4.24	2887	516.57
13	5	156.0	5.1	43.105	4.14	2927	435.59
14	4	157.3	8.0	45.400	7.15	3090	94.34
15	6	166.4	3.2	51.949	4.90	3790	330.05

		身長		体重		肺活量	
Girl		cm		kg		cc	
Age	N.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
9	16	127.7	5.6	25.280	2.67	1575	276.18
10	15	132.7	5.7	28.760	4.14	1803	319.72
11	12	138.8	6.6	32.380	4.34	1842	220.07
12	11	144.3	5.8	36.670	4.10	2283	326.73
13	3	148.1	4.0	42.240	3.87	2357	318.99
14	4	153.1	2.7	44.699	3.24	2743	273.71
15	4	157.7	4.6	47.461	5.66	2460	296.98

より(1),(2),(3),(4)から算出した。

$$\text{浮力} = \text{空中体重} - \text{水中体重} \dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{最大呼気} & \quad \text{空中体重} \\ \text{(吸気)} & = \frac{\text{空中体重} - \text{水中体重} \dots\dots (2)}{\text{時の身体密度} \quad \text{水の密度}} \end{aligned}$$

肺活量は、回転式肺活量計を用いて測定した。また、肺残気量を酒井ら<sup>2)</sup>による(3)式により求め、肺内空気を除いた身体密度を(4)式から算出した。

表3 年齢別にみた最大呼気(吸気)時における水中体重および身体密度の平均と標準偏差

		最大呼気時の 水中体重		身体密度		最大吸気時の 水中体重		身体密度	
Boy		(g)				(g)			
Age	N.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
9	13	646.92	290.95	1.0227	.01018	-766.85	285.18	.9667	.01233
10	14	698.14	204.73	1.0223	.00706	-767.07	248.62	.9732	.00741
11	15	751.60	316.17	1.0202	.01062	-809.73	235.79	.9719	.00581
12	9	1297.44	314.23	1.0362	.01011	-721.22	418.07	.9754	.01171
13	5	2314.20	397.61	1.0490	.00543	-721.00	340.30	.9766	.00775
14	4	2077.75	173.67	1.0416	.00580	-937.25	163.67	.9731	.00209
15	6	2697.50	204.97	1.0476	.00303	-918.33	333.44	.9755	.00654

		最大呼気時の 水中体重		身体密度		最大吸気時の 水中体重		身体密度	
Girl		(g)				(g)			
Age	N.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
9	16	599.63	184.03	1.0214	.00712	-634.75	229.06	.9725	.00912
10	15	505.40	229.42	1.0160	.00840	-717.07	199.43	.9739	.00583
11	12	694.33	370.92	1.0175	.01109	-701.50	318.19	.9746	.00886
12	11	850.18	200.77	1.0204	.00647	-824.73	268.60	.9744	.00598
13	3	1406.33	26.71	1.0279	.00421	-801.00	400.96	.9743	.01012
14	4	1584.00	98.21	1.0299	.00285	-1136.00	219.65	.9688	.00332
15	4	1393.50	345.38	1.0233	.00614	-1104.00	371.79	.9701	.00833

$$\text{肺残気量} = \text{肺活量} \times 0.29 \dots \dots (3)$$

$$\text{身体密度} = \frac{\text{空中体重} - \text{水中体重}}{\text{水の密度}} - \text{肺残気量} \dots \dots (4)$$

**結果**

表2に小学校児童（9～12歳）105名、中学校生徒（13～15歳）22名の身長、体重、肺活量の平均

と標準偏差を性別に示した。男女とも身長、肺活量は全国平均値<sup>9)</sup>とほぼ一致したが、12歳男子の体重は有意に小さかった。(p < 0.01)

表3は、最大呼気（吸気）時の水中体重および身体密度の平均と標準偏差を性別、年齢別に示したものである。表4、表5は最大呼気（吸気）時の身体密度の最大値、最小値、および平均と標準偏差を性別、年齢別に示したものである。最大呼気

表4 年齢別にみた最大呼気時における身体密度の平均と標準偏差

Age	Boy				Girl			
	N.	B.D.	Max.-Min.	S.D.	N.	B.D.	Max.-Min.	S.D.
9	13	1.0227	1.0421-1.0041	.01018	16	1.0214	1.0331-1.0090	.00712
10	14	1.0223	1.0311-1.0091	.00706	15	1.0160	1.0319-1.0038	.00840
11	15	1.0202	1.0388-1.0014	.01062	12	1.0175	1.0357-1.0013	.01109
12	9	1.0362	1.0577-1.0201	.01011	11	1.0204	1.0318-1.0099	.00647
13	5	1.0490	1.0549-1.0408	.00543	3	1.0279	1.0338-1.0241	.00421
14	4	1.0416	1.0503-1.0353	.00580	4	1.0299	1.0346-1.0270	.00285
15	6	1.0476	1.0515-1.0437	.00303	4	1.0233	1.0314-1.0173	.00614

B.D. Body Density

表5 年齢別にみた最大呼気時における身体密度の平均と標準偏差

Age	Boy				Girl			
	N.	B.D.	Max.-Min.	S.D.	N.	B.D.	Max.-Min.	S.D.
9	13	.9667	.9813-.9364	.01233	16	.9725	.9861-.9541	.00912
10	14	.9732	.9855-.9590	.00741	15	.9739	.9846-.9579	.00583
11	15	.9719	.9834-.9615	.00581	12	.9746	.9918-.9634	.00886
12	9	.9754	.9948-.9574	.01171	11	.9744	.9830-.9606	.00598
13	5	.9766	.9888-.9657	.00775	3	.9743	.9883-.9648	.01012
14	4	.9731	.9750-.9697	.00209	4	.9688	.9744-.9662	.00332
15	6	.9755	.9786-.9683	.00654	4	.9701	.9842-.9628	.00833

B.D. Body Density

図2 最大呼気時における身体密度の経年的変化

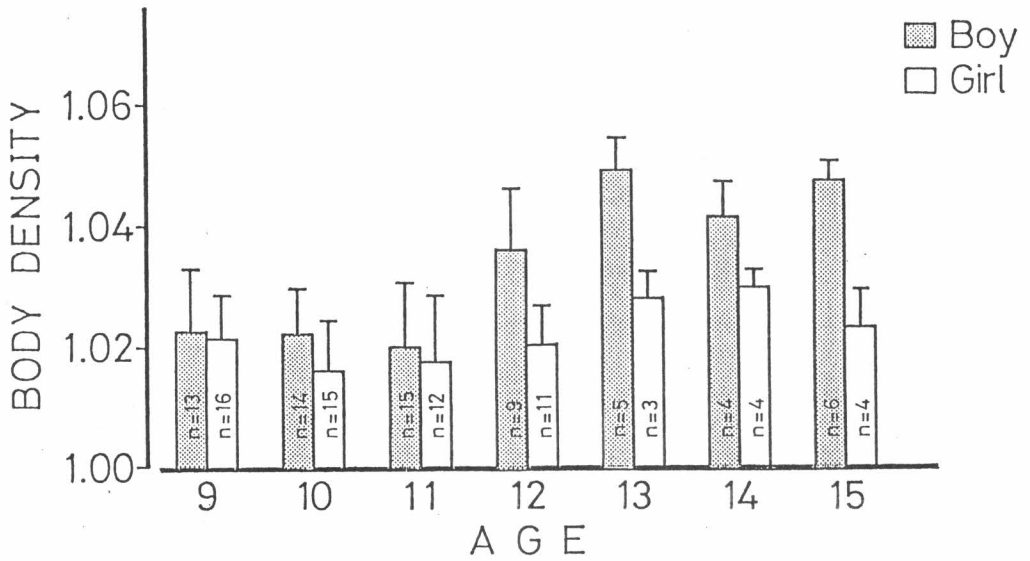
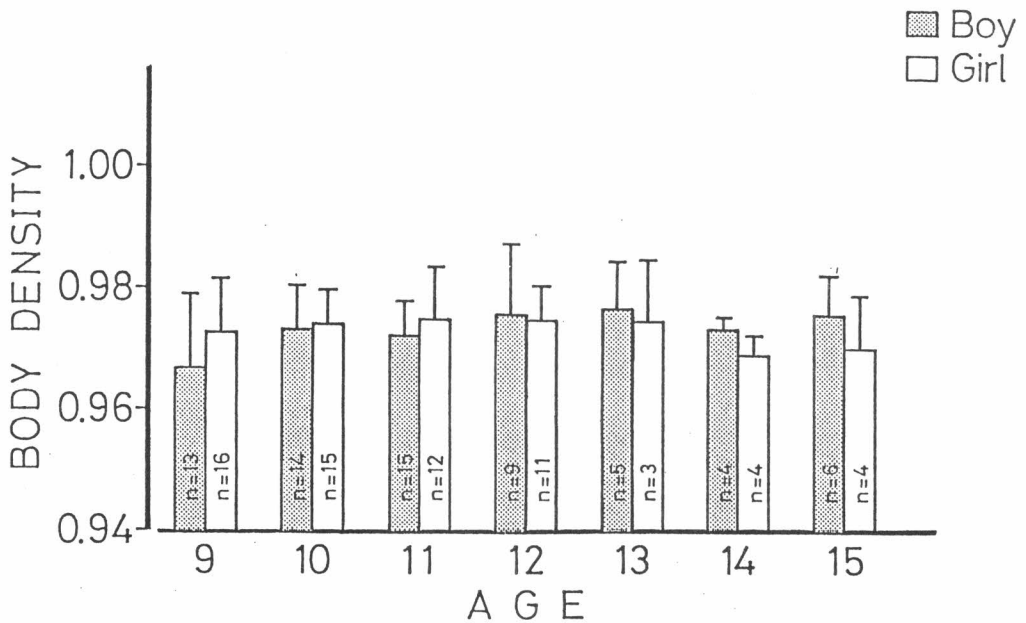


図3 最大呼気時における身体密度の経年的変化



時の身体密度は男子が1.0014から1.0577、女子が1.0013から1.0357の範囲で1.0よりも大きな値を示し、経年的に増大する傾向にあった。いずれの年齢も男子が女子よりも大きな値を示し、特に12、

13歳以降性差が顕著となった(図2)。最大吸気時の身体密度は男子が0.9364から0.9948、女子が0.9541から0.9918の範囲で1.0よりも小さな値を示し、わずかながら経年的に増大する傾向にあっ

た。女子は13歳以降、身体密度が小さくなる傾向がみられた(図3)。

### 考察

物体は比重が1.0以下であればすべて水に浮く。しかし、ヒトが水の中で浮くには呼吸のやり方いかんによって幾分状況が変わる。内田<sup>10)</sup>は浮くことをFloatとFloatingとに分けて定義している。すなわち、ひと息で可能な時間だけ浮くFloatと呼吸を続けながら浮き続けるFloatingを区別している。それによれば、最大吸気した時の剰余浮力が1.5Kg重以上の者がFloatingできたと報告している。これは重力と浮力が釣りあっていれば水中で静止状態となるが、剰余浮力1.5Kg重というのは重力と逆方向、すなわち人体が水中で静止した状態から上向き方向に1.5Kg釣り上げる浮力が働いていると考えればよい。それに対してFloatは最大吸気した時の浮力が重力よりもわずかでも大きければ成立する。これは最大吸気した時のFloatではごく僅かな例を除いて男女共にほとんどの者が浮くという報告<sup>12)13)</sup>からも明かである。本研究ではFloatの状態での人体浮力を測定した。Rork et al<sup>5)</sup>は、最大呼気時の平均身体密度は1.0177、最大吸気時のそれは0.9812であり、体脂肪、体表面積、肺活量と身体密度との間に高い相関があり、これが人体浮力を決定すると報告している。しかし、これは被検者が水泳の熟練者で成人女子である。児童、生徒を対象とした報告<sup>12)13)</sup>によれば、Floatに相当する最大吸気でのだるま浮きでは男女とも10~13歳頃までが最も浮きやすく、これ以降性差が顕著になり女子の方が浮く能力が高いことを明らかにしている。

本研究の結果、最大吸気の状態では9~15歳の男女ともに身体密度は1.0より小さな値を示した。人体を物体として考えた場合、身体密度は1.0以下であれば浮くと考えられる。最大吸気での身体密度の最大値は男子13歳の0.9948、女子12歳の0.9918であった。最小値は男子9歳の0.9364、女子9歳の0.9541であり、年齢が低い方が浮きやすい傾向にあった。

今回、だるま浮きの可否については判定を行っていないが、男子で3名、女子で2名浮きにくい者

がみられ、その身体密度は0.9875よりも大きな値を示した。すなわち、個人が最大限に息をいっぱい吸った状態から安定しただるま浮きができるための身体密度は、Sandon<sup>6)</sup>のいう0.9875あたりであることが推察される。これは身体密度が1.0に近くなればなるほどだるま浮きで絶対静止の状態になる(重心と浮心が鉛直線上に重なる)までの時間が長くなることが予測され、水中での止息時間との関係からある程度の剰余浮力を伴った身体密度が必要となるためであろう。特に、最大呼気の場合最大吸気に比べて止息時間が非常に短く、被検者のみならず検者の測定に対する慣れが重要である。

最大呼気の状態では9~15歳の男女ともに身体密度は1.0より大きな値を示した。男女ともRork et al<sup>5)</sup>の平均値1.0177よりも小さな値を示し、成人と児童、生徒の身体組成の違いがみられ、児童、生徒の方が成人に比べ沈みにくいようである。しかし、児童にとって最大呼気状態を保って水中で止息することの困難さが多く、測定にかなりの時間を費やさなければならぬ問題点がある。最大吸気時の身体密度の経年的変化は男女とも僅かずつではあるが増大する傾向にあり、女子では12, 13歳まで経年的に増大してピークを示し、15歳以降は減少した。男女の比較では12, 13歳以降、双方の差が大きくなる傾向がみられた。これは、思春期による性差を反映したものと考えられる。すなわち、女子の場合、身体密度は最大吸気及び最大呼気のいずれの場合でも12, 13歳以降男子に比べ顕著な差がみられたことから、この年齢あたりから浮きやすい体つきになっていくことが推測できる。

### まとめ

9歳から15歳までの男女127名を対象として最大呼気時および最大吸気時の水中体重の測定を行い、その時の身体密度を算出して経年的に検討した結果、以下のことが明らかになった。

(1) 9歳から15歳では、息をいっぱい吐いたときの身体密度は男子が1.0014から1.0577、女子が1.0013から1.0357の範囲にあり、大多数の男女が水に沈む。

(2) 9歳から15歳では、息をいっぱい吸ったときの身体密度は男子が0.9364から0.9948、女子が0.9541から0.9918の範囲にあり、大多数の男女が水に浮く。しかし、息をいっぱい吸った状態でも沈む者が男女ともに若干名みられた。

(3) 最大呼気時および最大吸気時の身体密度は、男女ともほぼ経年的に増大する傾向にあったが、女子では12,13歳以降男子に比べ浮く能力が顕著に増大する傾向にあった。

### 参考・引用文献

- (1) Katch F.I.: Apparent body density and variability during underwater weighing, Res. Quart., 34(4); 993-999, 1968.
- (2) Lane E.C and J.C. Mitchem: Buoyancy as predicted by certain anthropometric measurements, Res. Quart., 35(1); 21-28, 1963.
- (3) 水野忠文, 高橋華王: 日本人の体容積に関する研究, 体育学研究 4(2); 1-9, 1960.
- (4) 宮畑虎彦, 小林一敏: 浮身のコントロール, 第3回キネシオロジーセミナー資料, 1-13, 1976.
- (5) Rork R. and F.A. Hellebrandt: The floating ability of women, Res. Quart., 8; 19-27, 1937.
- (6) Sandon F.: A note on the specific gravity of the living human body, Ann. of Eugenics, 6(12); 372-376, 1935.
- (7) 末利博: 浮身の分析, 体育の科学, 10; 284-287, 1958.
- (8) 酒井敏夫: 生体比重より見た1,2の知見, 体力科学, 11; 34, 1962.
- (9) 杉原潤之輔, 梅田利兵衛, 門山智恵: 人体の浮力の個人差と泳力の関係について—東京教育大学体育学部男子学生に関して, 体育学研究 13(5); 288, 1969.
- (10) 東京都立大学身体適性学研究室編, 日本人の体力標準値—第3版, 不昧堂, 1980.
- (11) 内田整子: 水泳のfloatingの基礎的考察, 東京教育大学修士論文要旨, 1-12, 1975.
- (12) Whiting H.T.A.: Variations in floating

ability with age in the male, Res. Quart., 34(1); 84-90, 1962.

- (13) Whiting H.T.A.: Variations in floating ability with age in the female, Res. Quart., 36(2); 216-218, 1964.

- (14) Whiting H.T.A. (杉原潤之輔, 坂田勇夫, 田崎常之訳): かなづちの水泳指導—その科学的アプローチ, 泰流社, 13-69, 1977.