

ダイバーのフィンキックによる常用推進力 について (第1報)

山口仁士*¹

水中でダイバーが使用する機器を設計する場合、ダイバーの作業能力の限界を知り、その範囲内で操作できるものにすることが必要である。

ここでは最も基本となるフィンキックによる推進についてその常用出力を求めた。推力は、3.3 kgから9.3 kgまで8段階に変化させたが、常用として持続的に出力できるのは6.5 kg程度までであることがわかった。

また、酸素摂取量や呼気量は常用限度以上の推力を発生させた場合でも増加するが、心拍数は頭打ちになる傾向がつかめた。

Studies on the Normal Thrust Force of a Diver's Fin-Kick (1st Report)

Hitoshi Yamaguchi*²

For the design of diver-operated machines, data on human working capacity underwater are essential.

This paper deals with the diver's fin-kick thrust force, which is the most fundamental parameter of performance underwater.

Thrust force was tested in eight grades from 3.3 kg to 9.3 kg, and it was found that the usual output limit was 6.5 kg. It was also found that oxygen uptake and respiratory volume both increase with the thrust load, but the heart rate does not increase linearly in the highly loaded zone.

*¹ 潜水技術部

*² Diving Science and Technology Department

1. はじめに

潜水作業時のダイバーには、深度相当の水圧に起因する高圧環境独特の生理的・心理的な影響の他、水中で運動することによる流体抵抗・浮力などの特殊な負荷がかかる。また実際の潜水においては、ウェットスーツやドライスーツなど体の動きに制限を与えるものが着用される。^{1) 2)} さらに深海での潜水になると潜水器も自給気式でない場合が多く、呼吸ホース、通信ケーブルを大きなヘルメットにつけて作業をするのが殆どであり、そのような重装備状態では陸上で得られるような高い作業能力を発揮するのが困難である。そのため作業時に使用する種々の水中機器は、単純で堅牢な構造にする他、重量、容積、形状などについても、陸上のものと異なった考慮がはらわれたうえで設計されねばならない。この設計指針を数値化してゆく第1歩として、ダイバーの水中作業能力を知ることが必要となってくる。³⁾

ここでは、ダイバーが重力・浮力のバランスのとれた中性浮力の状態で作業する場合、最も基本的な動作となるフィンキックによる遊泳をとりあげ、持続的に発生できる常用推進力の上限を定量的に求めた。

フィンキックによる推進を扱うとき、そのスピードを問題にする場合^{4) 5)}と、推進力そのものを問題にする場合の2種があるが、ここでは後者である。産業潜水の場合、いかに速く泳げるかより、ある一点にとどまって自分の体や作業の対象物を支えていることが出来るかが問題になる場合が多いからである。故に、定位置でのフィンキックにより、kg単位で計測される一定の推進力を発生させ、それを一定時間維持できたか否かを判定の基準とし、心拍数や酸素摂取量などの生理的指標は参考値とした。

2. 方 法

2.1 測定架台

定位置でのフィンキックによる推進力を定量的に計測するため、図1のような測定架台を製作した。

カウンターウェイト①の重量は細いワイヤーを介して測定架台のボード②に伝わる。ボードは下端部が架台とヒンジで結合されており約±10度の

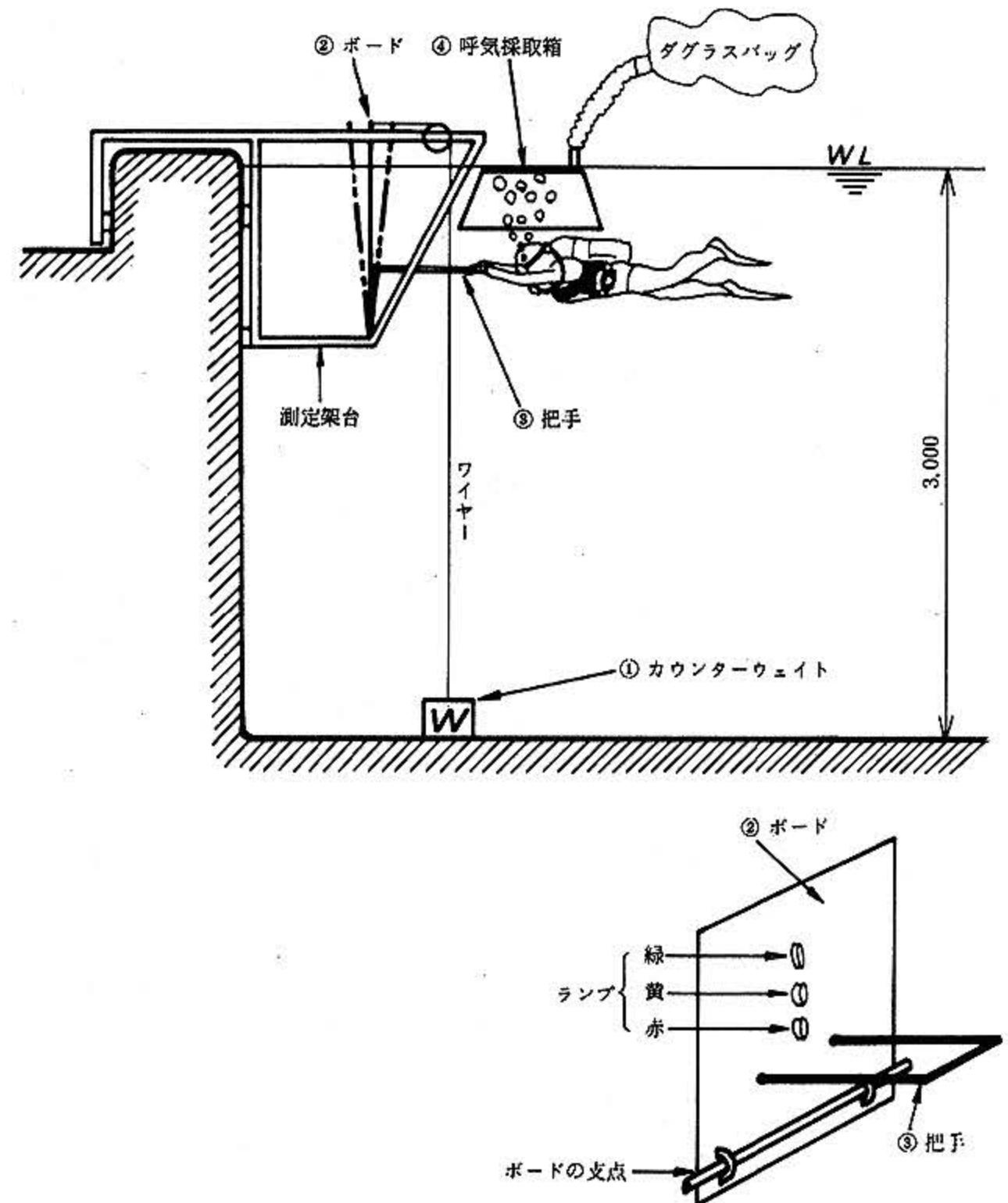


図1 測定装置
Test device

範囲で前後に動くのでボードは手前に倒れようとする。ダイバーはボードについている把手③を両手で握り、フィンキックによる推進力を発生して押し戻し、ボードを垂直に保とうとする。把手の位置にかかる力はカウンターウェイトを調整して、予め設定してある。

ボードのダイバー側には3個のランプがついており、推進力が不足してボードに押し返された場合は赤、余分な推進力により押しすぎた場合は緑のランプが点灯し、それを見てダイバーが推進力の調整をできるようにしている。残りの黄色のランプは作業開始、終了時に点滅させてダイバーに合図を送るためのものである。

ボードがダイバーを押す力はそのままダイバーがボードを押す力になるわけであるが、この力を以下推進負荷と呼ぶ。

推進負荷は3.3 kg, 4.0 kg, 5.0 kg, 6.1 kg, 6.5 kg, 7.0 kg, 8.0 kg, 9.3 kg, の8通りとした。

2.2 推進成功率

ダイバーがボードを垂直に保っているか、押しすぎているか、押し戻されているかを上記ランプ

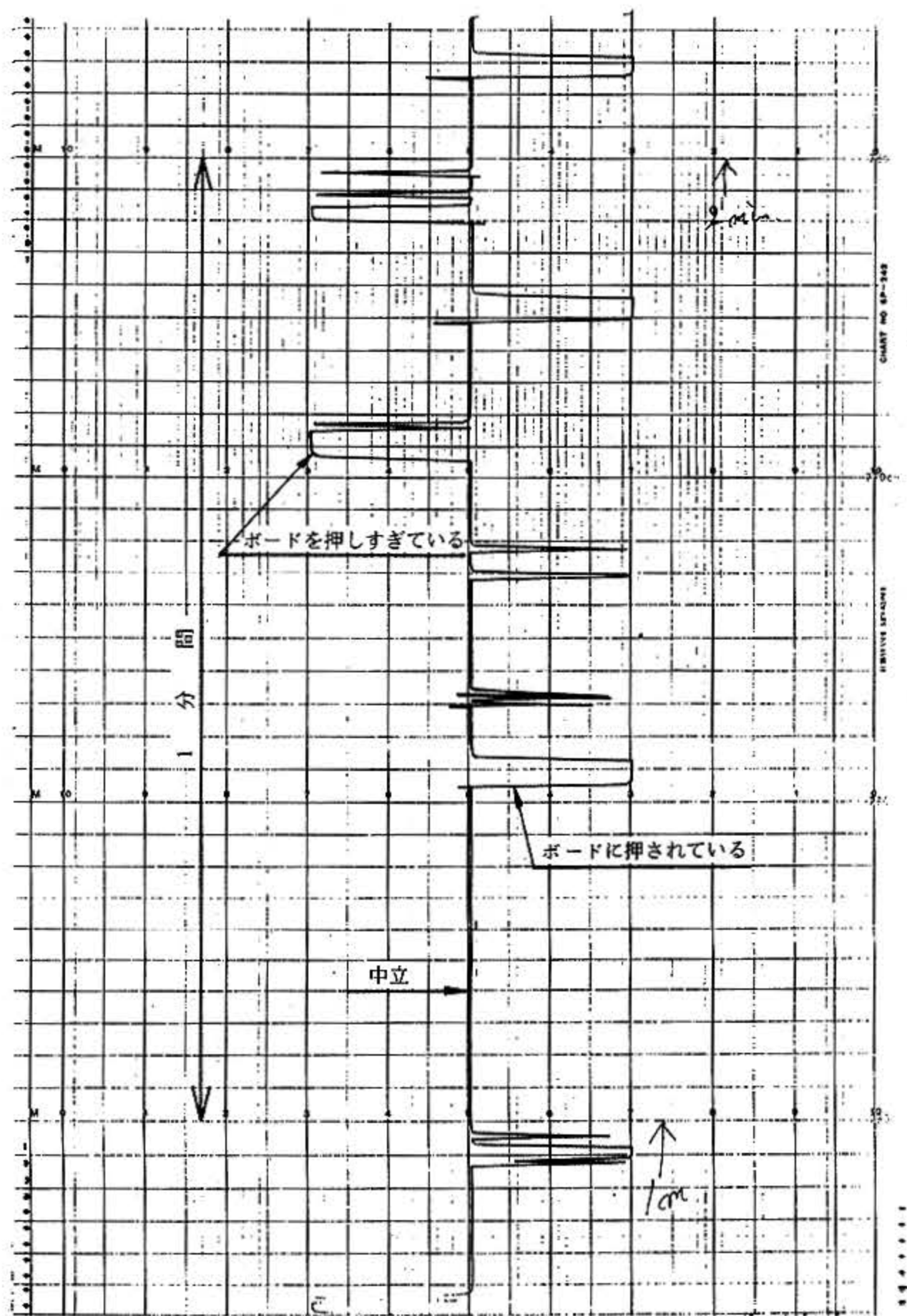


図2 推進成功率データ記録例

Recording example of performance ratio

と連動させて0, +, -の信号に変えて導出し、図2のようにレコーダに記録させた。図2中「ボードを押しすぎている」状態と「中立」の状態を推進作業が成功したものと考え、これらの時間が計測時間（1分間）中どれくらいの割合であったかをパーセントで表し、これを推進成功率とした。

このデータは実験の都合上、4.0 kg, 5.0 kg, 6.5 kg, 8.0 kgの4つの推進負荷の場合のみである。

2.3 心拍数、毎分換気量、酸素摂取量

被験者に、ある一定の負荷を与えた場合の生理的反応の指標として、心拍数、毎分換気量、酸素摂取量のデータは他の実験と比較するうえでも欠くことができない。

安静時は心拍数のみをとったが、作業時は推進成功率の他、心拍数、毎分換気量、酸素摂取量のデータをそれぞれ取得した他、それらの計算に必要な水温、気温、気圧、炭酸ガス産生量を計測し

表1 ダイバー遊泳負荷調査表

Data recording sheet

実験番号	198 年 月 日 時			天候					
被検者	昭和 年 月 日 生			満 歳 カ月					
身長	cm	体重	kg	体表	m ²	体温	℃		
気温	℃	湿度	%	水温	℃	水深	m	気圧	mmHg
作業状況	押 引			kg					
装備品	潜水呼吸器			(スクーバポンプ ℓ)					
	潜水服								
	フィン								
	BC			有 無					
心拍数	陸上 安静		水中 安静						
	椅坐位		仰臥位		伏臥位				

水中作業時（作業開始後5分目及び7分目から1分間、都合2回計測する）

心拍数	_____ beat / min
呼吸量(実測値+サンプル量) ATPS	ℓ + _____ ℓ = _____ ℓ / min
酸素 % _____ %	炭酸ガス % _____ %
酸素消費量	STPD _____ ℓ / min
呼吸量(実測値+サンプル量) BTPS	_____ ℓ / min

た。また、被験者の体調の目安として、安静時の体温も計測した。(表1)

心拍数のデータは、水密を保った電極3点を胸部に張りつけ、胸部誘導方式により有線で導出した。

呼気ガスの採取には、図1中の呼気採取箱④を使用し、水上置換法にてダグラスバッグに集めたのち分析した。被験者の呼気は、水中を通過する際の炭酸ガスの水への溶解込みがあるので、分析値は正しい炭酸ガス量を示さない。そこで溶解込み率を事前のテストで測定し、結果の計算に使用した。(溶解込み率を29%として、呼気ガス分析時の炭酸ガスのパーセント濃度を1.40倍にした。)

2.4 計測要領

安静時のデータとして陸上安静と水中安静の2つを計測した。前者は陸上で約20分の安静の後に、椅坐位と仰臥位で心拍数を1分間計測した。後者は、潜水呼吸器などを全部装備した状態で入水し、水底で5分間伏臥位を保った後、心拍数を1分間

		第1回目		第2回目	
陸上安静	測定	水中安静	測定	作業	計測
20分	1分	5分	1分	5分	1分

図3 計測手順

Measuring process

計測した。

作業中のデータとしては、水中安静後、作業を開始して5分経過後から1分間、7分経過後から1分間のデータをそれぞれとり、2回の平均値を求めた。これら一連の計測手順を図3に示す。

2.5 潜水装備品

ダイバーの装備は最も軽装のものとし、開放式スクーバ(14ℓボンベ、日本アクアラング製スピロレギュレータ付)、フィン(日本アクアラング製

ラピッドフィンNo.3)、マスク(日本アクアラング製F型2眼マスク)を装備した。着衣は水泳パンツのみで、その他水中で中性浮力を保つためBC(Buoyancy Compensator)を装着した。

2.6 実験用プール

計測には深さ3m、広さ約25m×25mのプールを用い、被験者は約90cmの水深を保った。

2.7 被験者

被験者は18歳から23歳までの5名の健康な男子で、それぞれ潜水に関する教育・訓練を十分に受けている。

3 結果と考察

計測前の体温測定では、各被験者とも異常はなく、健康な状態を確認できた。

表2 心拍数、毎分換気量、酸素摂取量データ

Data (Heart rate, respiratory volume, oxygen uptake)

荷 重 (kg)		被 験 者	3.3	4.0	5.0	6.1	6.5	7.0	8.0	9.3
作 業	H R (b/min)	A	97.5	123.0	131.0	120.0	146.0	153.0	153.5	149.5
		B	93.5	113.0	103.5	133.5	147.5	148.5	129.0	157.5
		C	109.5	124.5	169.0	151.0	174.0	176.0	179.0	156.5
		D	108.5	128.0	131.5	148.0	165.0	148.0	177.5	152.5
		E	95.5	123.5	116.0	152.0	152.0	(データとれず)	182.5	194.5
	平 均 値		100.8	122.4	130.2	140.9	156.9	156.4	164.3	154.0
	(標準偏差)		(7.7)	(5.6)	(24.6)	(13.8)	(12.1)	(13.3)	(22.8)	(3.7)
	・ V _E BTPS (ℓ/min)	A	16.9	18.2	30.0	30.0	21.6	43.0	38.1	48.8
		B	18.1	36.9	29.6	38.9	73.6	65.7	76.9	89.9
		C	17.0	15.3	33.1	27.9	32.8	44.9	53.9	70.9
		D	18.2	25.4	37.5	33.9	32.6	22.1	58.1	54.0
		E	14.8	17.0	18.0	36.5	29.1	(データとれず)	62.5	70.2
時	平 均 値		17.0	22.6	29.6	3.4	37.9	53.9	57.9	67.6
	(標準偏差)		(1.4)	(8.9)	(7.2)	(4.5)	(20.4)	(13.1)	(14.1)	(16.5)
	・ V _{O₂} STPD (ℓ/min)	A	0.98	1.20	1.67	1.61	1.39	2.31	1.98	2.42
		B	1.13	1.42	1.38	2.01	2.35	2.52	2.32	2.99
		C	1.09	1.05	1.85	1.58	1.69	2.50	2.20	2.45
		D	1.18	1.48	2.01	1.92	1.50	2.20	2.44	2.43
		E	1.04	1.28	1.40	2.32	2.18	(データとれず)	2.99	2.52
	平 均 値		1.08	1.29	1.66	1.89	1.82	2.38	2.39	2.69
	(標準偏差)		(0.08)	(0.17)	(0.28)	(0.31)	(0.42)	(0.15)	(0.38)	(0.36)

水温は実験期間を通し 28.0℃から 34.5℃の間であった。故に水温の違いによる各被験者間の潜水徐脈の効果⁶⁾も殆どないと思われ、心拍数のデータへの影響は少ないと考えられる。

測定時の被験者の水深は(平均値, 標準偏差) = (0.93, 0.02) mであり、広いプールを使用したので水面の波や流れの影響は全くないと考えられる。

スクーバ, マスク, フィン, BCなどは全員が同じ物を使用したため, 装備品の差異によるデータへの影響はない。

また, 陸上で自転車エルゴメータによる最大負荷試験を事前に行ったところ, 最大心拍数は(平均値, 標準偏差) = (183, 6.7)であり, 各被験者の心肺機能には大差ないと考えられる。

得られたデータのうち, 心拍数, 毎分換気量, 酸素摂取量を表 2 に, 推進成功率を図 4 に示す。また, 心拍数, 毎分換気量, 酸素摂取量それぞれの平均値, 標準偏差, 回帰直線(3.3~6.5 kg対応)を図 5, 6, 7 に示す。

測定中の被験者の様子は, 6.5 kg以下の場合には比較的余裕をもって推進負荷を受け止めていたが,

7.0 kgでは多少押し返され気味で, 8.0~9.3 kgになると殆ど受け止められず, 呼吸状態も明らかなハイパーベンチレーションが見られた。

負荷別の推進成功率の結果(図 4)から明らかなように, 4.0 kg, 5.0 kg, 6.5 kgの3群の成功率には有意差はないが($P = 0.05$), 8.0 kgの群を含めると大きな有意差がでてくる。故にこの2群は別グループと考えられる。ところで4.0 kgという推進負荷はかなり小さい負荷で, ダイバーはゆったりとしたフィンキックで対応しうることから, 6.5 kgまでは長時間にわたりダイバーが発生できる推進力であると考えられ, このあたりまでを常用出力とみなしうる。

逆に8.0 kgの推進負荷を与えた場合は成功率が激減することにより, ダイバーはその推進負荷に対応できず8.0 kgの推進力を出せなかったものと考えられる。

このことにより, 6.5 kgを超える推進負荷を与

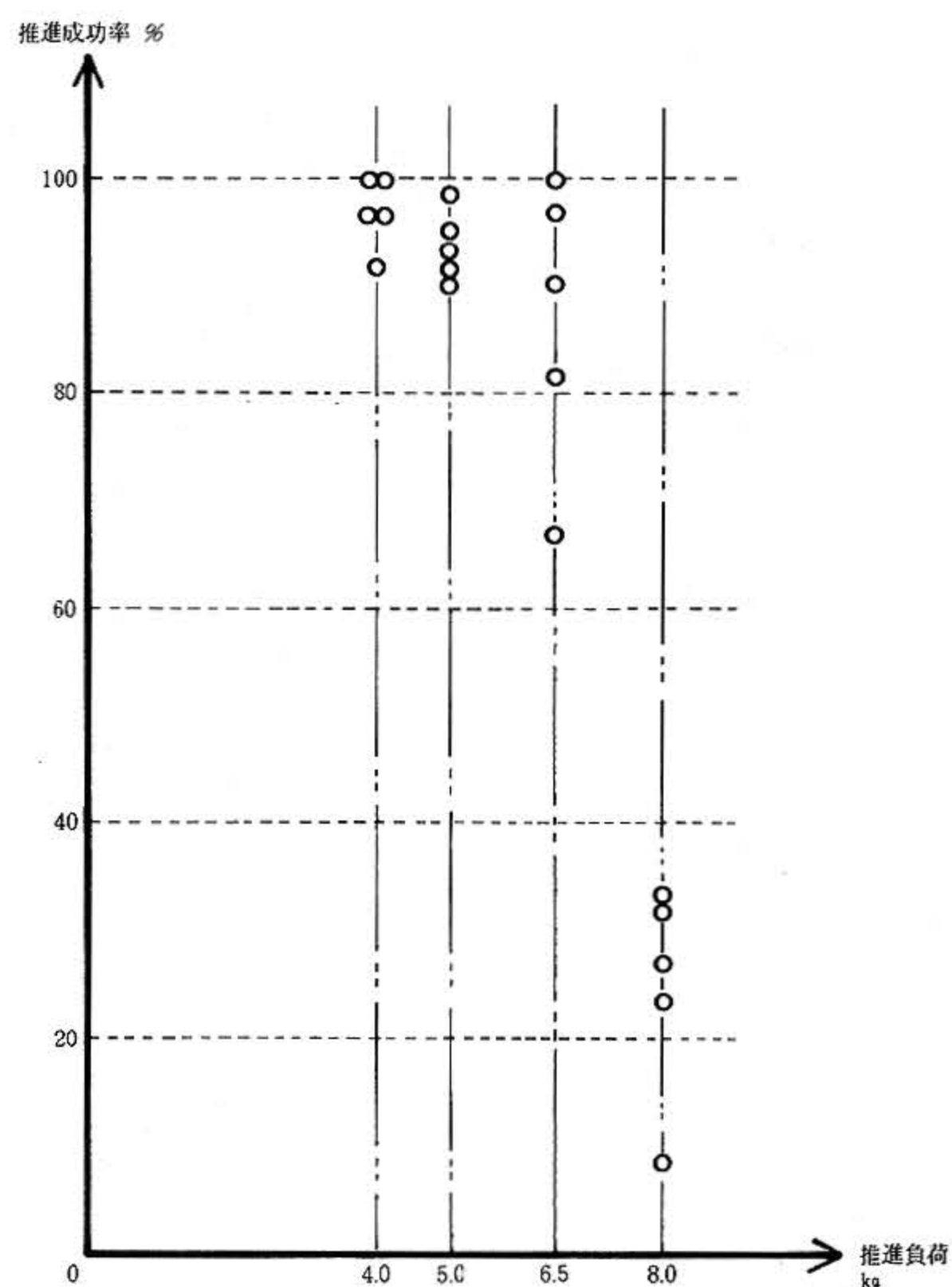


図4 推進成功率
Performance ratio

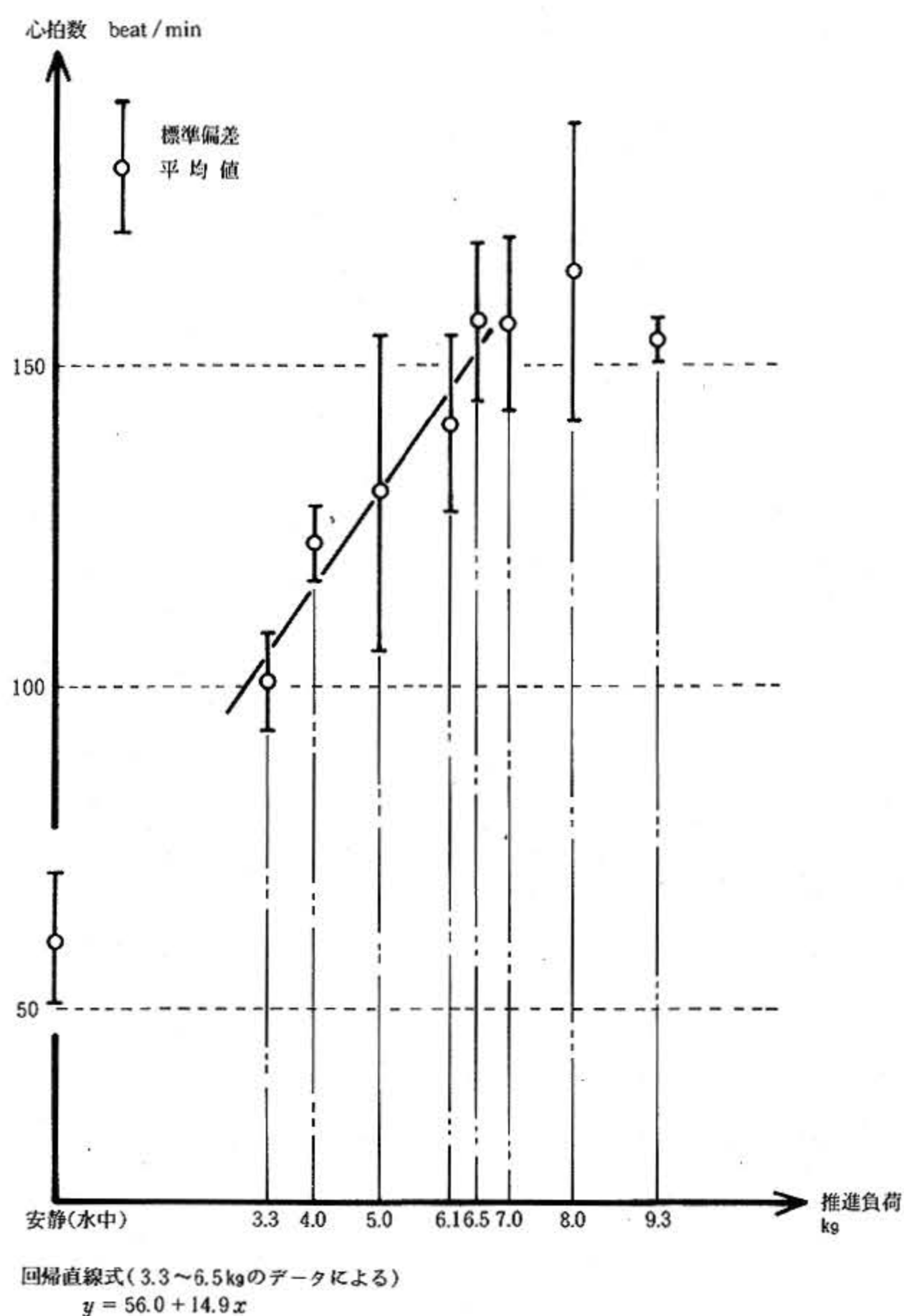


図5 心拍数
Heart rate

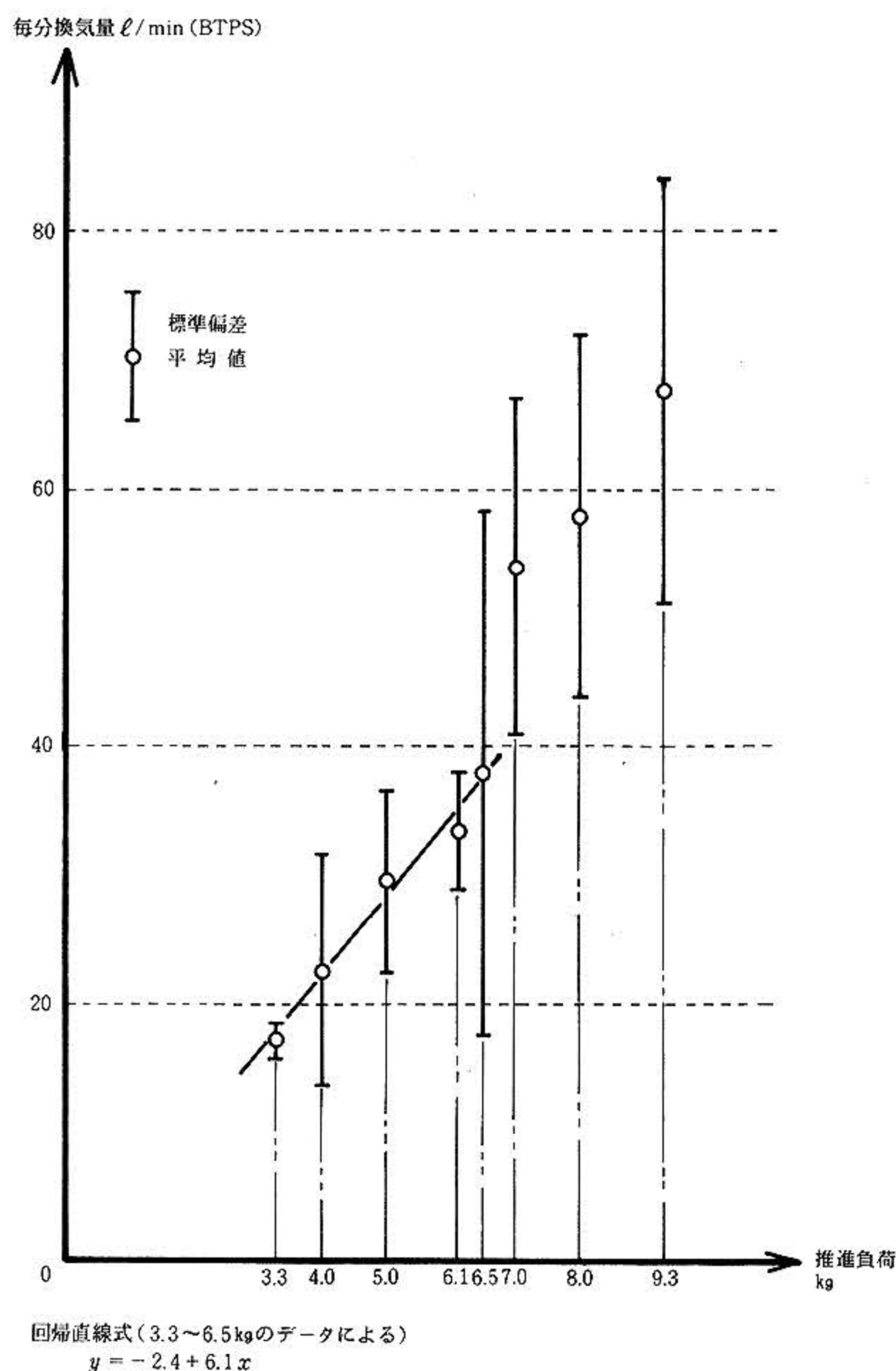


図6 毎分換気量
Respiratory volume

えた場合、その負荷に見合った仕事をしていないことが推測される。故に、図5, 6, 7において、推進負荷 7.0 kg, 8.0 kg, 9.3 kg の場合の各対応値は便宜的に現在の場所に記入しているが、各図の横軸のスケールは歪んでいると考えなければならない。

以上のことより、図5, 6, 7では回帰直線のデータに 6.5 kg を超える推進負荷の場合の対応値を入れていないが、6.5 kg 以下では非常に良い直線性を示している。

さらに、酸素摂取量が $2 \ell/\text{min}$ 程度までは水泳時、陸上歩行時共に呼吸数が同程度になるという報告⁴⁾があるが、図7において酸素摂取量を $2 \ell/\text{min}$ としたときの推進負荷は 6.8 kg となり、このことを安定した運動状況と考えると、常用推進力限度 6.5 kg は無理のない値と考えられる。

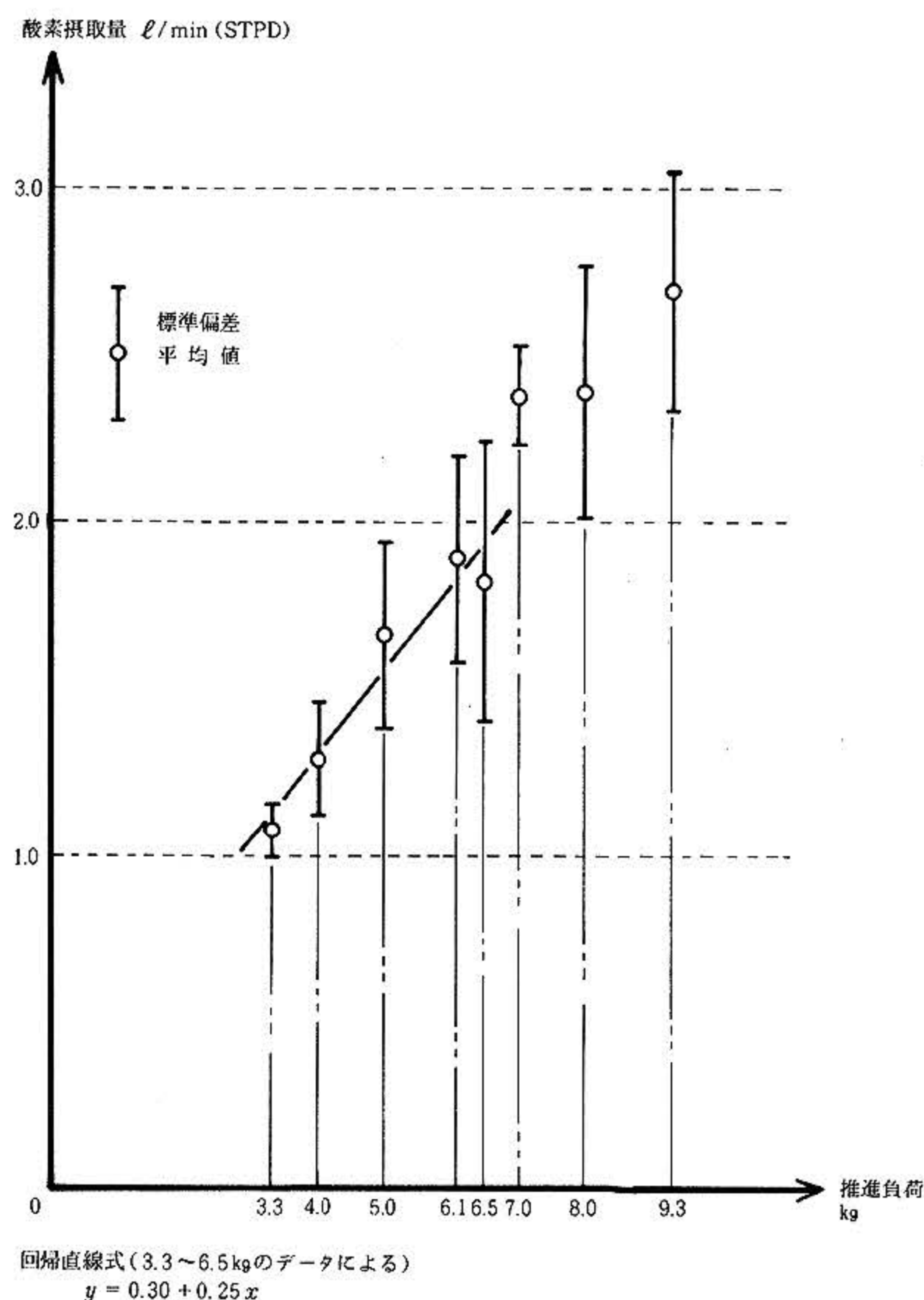


図7 酸素摂取量
Oxygen uptake

5 おわりに

今回の測定で、ダイバーの常用推進力限度の一部が数値化されて出てきたが、今後はウェットスーツやドライスーツなどの潜水服を着用した場合や、深度（水圧）が変化した場合などについて一つずつデータを収集し、水中機器の設計に役立てたい。

最後に、本研究を行うにあたって測定機器の設計・工作に協力頂いた菊地秀治研究員、被験者としてハードな測定を正確にこなしてくれた5名のダイバー要員に御礼申し上げる。

文 献

- 1) Arthor J. Bachrach, Glen H. Egstrom. Human Engineering Consideration in the Evaluation of Diving Equipment. Working Diver, 203~218, 1974.

- 2) Arthor J. Bachrach, Glen H. Egstrom. Human Performance Underwater. Diving Medicine. 183~196, 1976.
- 3) Birger G. Andersen. Human Engineering Guide For The Design of Diver-Operated Hand and Power Tool. 1~141. U.S. Department of Commerce. Springfield VA 22151, 1972.
- 4) J. Dywer. Estimation of oxygen uptake from heart rate response to undersea work. Undersea Biomedical Research. Vol. 10. No.2, June 1983. 77~87, 1983.
- 5) A.A. Pilmanis, J.K.C. Henriksen and H.J. Dywer. An Underwater Ergometer for Diver Work Performance Studies in the Ocean ERGONOMICS, Vol. 20, No.1.51~55, 1977.
- 6) David L. Costile, Peter J. Cahill and Duane Eddy. Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures. J. Appl. Physiol., 22(4). 628~632, 1967.

(原稿受理：1986年5月12日)