

## 下肢運動の難易と能率

所員 淡路圓治郎

### 1. 実験の目的

作業の難易に應じて、吾々の身體運動の能率が如何に變化して行くかを見ることは、適度作業 (optimal work) を定めるのに極めて必要である。従來、上肢若しくは上半身の運動に關しては、作業の難易と能率との關係が屢々研究せられたが、下肢若しくは下半身の運動に就ては、此問題は遺憾乍ら閑却せられてゐた。職業生活に於て吾々の營む身體運動が上肢若しくは上半身のみに限られる場合は、手工或は坐業等の小範圍に止まり、多くの身體運動は全身の参加を要求するやうであるから、此點に於て下肢若しくは下半身の運動能率を併せ考察することは、必ずしも無用のことではない。殊に困難作業の研究の目的には、比較的に多大の筋肉の努力を強請する下肢若しくは下半身の運動を選び、作業の難易と能率との關係を窺ふことは、極めて適切なることである。

本實驗は、如上の意圖に基き、下肢に困難なる筋肉作業を課し、作業の難易度を變化して、その運動能率に及ぼす影響を確め、また兼ねて作業疲勞過程の變化を明にし、かくて作業の適度限界を定めんがために試行せられた。

### 2. 実験の方法

被験者は余の考案に係る廻轉脚力計 (ergometric cycle) の鞍上に坐し、両手にて把手を握つて上半身を支へ、兩足は踏板に懸けて、後部の廻轉輪を全速力にて廻轉せしめられる (第一圖参照)。

廻轉脚力計の後輪には、外縁を一周して凹溝があり、之に鐵線を張り種々の抵抗重錘が懸けられる。この重錘の重さの如何によつて、被験者の兩脚の廻轉作業に難易の別が生じる。この實驗に用ひられた重錘の種類は八種で、0 k.g., 2 k.g., 4 k.g., 6 k.g., 8 k.g., 10 k.g., 12 k.g., 14 k.g. であつた。本實驗の多くの被験者では、16 k.g. の重錘を懸けるこゝ、運動抵抗が大に過ぎて、全く作業不能に陥つた。それで 14 k.g. 以上の抵抗重錘を用ひるこゝは差控へた。

被験者は、是等種々の抵抗状態に於て、30 秒宛十回の全速力廻轉作業を營ませられる。各 30 秒間の運動成績は後輪の廻轉數によつて測られたが、この廻轉數は、後輪の一部に裝置した電流斷切器が豫め作られた電回路を斷續するこゝによつて、極めて容易に且つ確實に電氣度數計の數字となつて現れる (電流斷切裝置と電氣度數計に就ては第二圖参照のこゝ)。

被験者は 30 秒間の廻轉作業を終る毎に、60 秒宛その儘の姿勢で休憩せしめられ、かくの如く

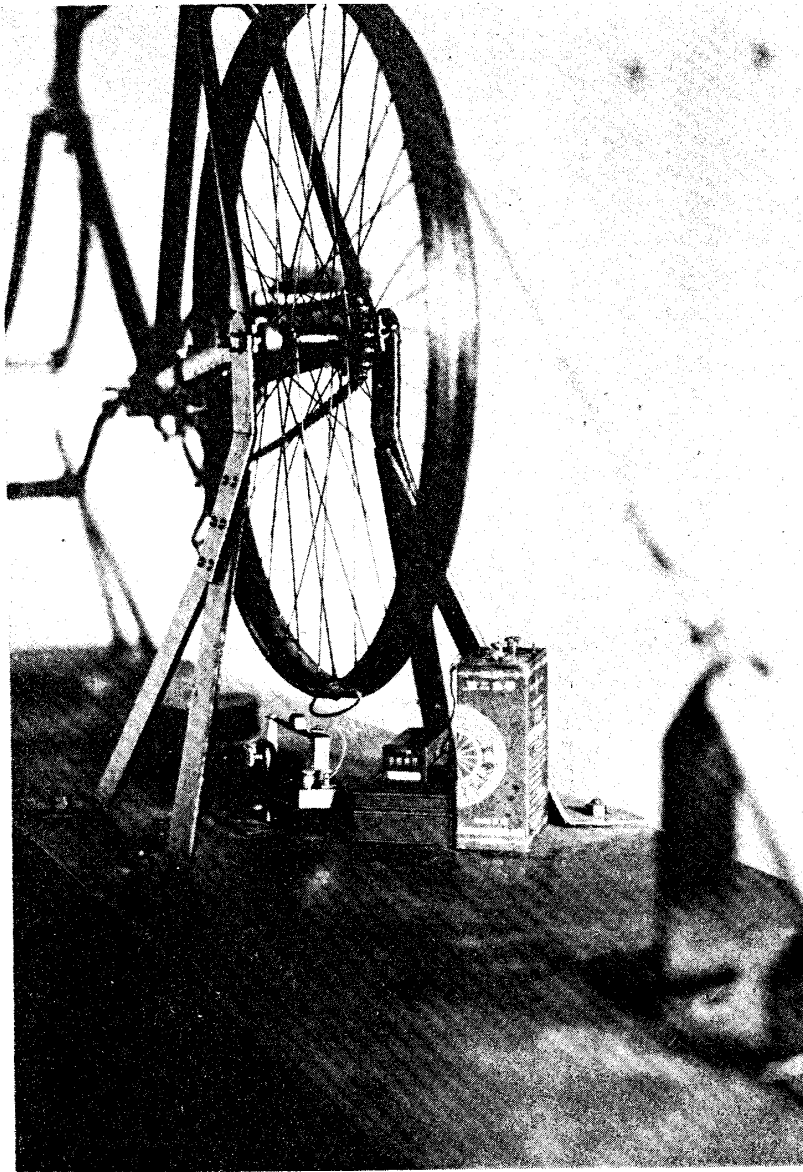


第一圖 廻・轉脚力計

にして廻轉作業と休憩とを交互に十回反復する。従つて一度の實驗には常に14分間を費した。一回130秒間の廻轉作業は一見短かすぎるやうであるが、この作業が元來非常に努力を必要とし、體力の消耗が甚しく、抵抗重錘のない場合でも、十回作業後には被験者は著しく疲勞し、殊に抵抗重量が10 k.g. 以上に及ぶ時は、作業後には全く疲憊して了ふのが普通であつたので、已むを得ず30秒を以て單位と定めたのである。

被験者は20歳より35歳に到る強健な壯年男子十名で、體力も心臓力も倍に普通以上のもののみであつた。是等の被験者は五名宛二部に分たれ、第一組の人々は、第一日には0 k.g. 作業、第二日には2 k.g. 作業、その後順次抵抗重量を増して、第八日には14 k.g. 作業に及んだが、第二組の人々は之とは逆に、先づ第一日に14 k.g. 作業、第二日には12 k.g. 作業、その後順次に抵抗重量を減じて、第八日には0 k.g. 作業に到つた。孰れの人々の場合にも、八日間の實驗に入るに先立ち、一日の練習作業が課せられて、各人の體力並びに耐久力が考査せられた。練習作業を課せられた被験者は十五名に及んだが、五名の者は體力の不足並びに心臓の虚弱其他の理由によつて排棄せられ、茲に報告する十名のみが被験者として採用せられたのである。

余の被験者に於ては、一日14分間の脚力計廻轉作業が翌日まで疲勞を残留するが如きことは無かつたやうであるが、多くの場合各實驗は數日の間隔を置いて繼續せられたのであるから、前日の



第二圖 電流斷切装置と電氣度数計

作業よりの影響は別に顧慮するを要しない。

本實驗は昭和四年十一月より五年二月に亘り、大體冬期に施行せられたが、室内には暖房装置があり、また被験者は多くの場合作業によつて發汗しむしろ暑さを感じる程であつて、肌衣一枚こなつて作業した位であるから、寒氣よりの影響は著しくはなかつたらうと思はれる。

## 3. 実験の結果 (1)

十名の被験者の八種の抵抗重量制に於ける 30 秒間の脚力計廻轉回数を十回の反復作業につき平均して列記するに、第一表の如くである。

第一表 各種抵抗重量制の能率 (30 秒間の平均廻轉數)

抵抗重量 被験者		0 k.g.	2 k.g.	4 k.g.	6 k.g.	8 k.g.	10 k.g.	12 k.g.	14 k.g.
第一組	T <sub>1</sub>	144.5	149.9	149.9	145.6	138.4	124.5	98.4	59.7
	T <sub>2</sub>	144.3	152.4	149.1	129.4	82.9	83.7	70.0	79.4
	K <sub>1</sub>	135.7	154.7	146.7	110.6	106.6	68.4	57.6	77.7
	W	167.2	168.5	162.4	104.3	98.6	93.6	88.7	77.1
	T <sub>3</sub>	167.2	168.5	161.8	150.1	138.2	120.4	115.0	110.3
第二組	A	146.7	139.8	128.7	117.7	114.2	91.6	90.6	62.8
	K <sub>2</sub>	174.1	176.6	167.9	147.5	136.3	124.4	104.6	103.3
	M	179.8	174.0	158.9	130.2	121.0	74.6	61.4	52.3
	H	196.1	180.0	163.5	133.9	123.7	113.1	110.5	99.0
	N	189.1	173.8	164.3	152.7	138.4	127.6	115.7	97.5
平均値		164.2	163.3	155.3	132.2	119.8	102.7	90.9	81.9
M. V.		17.27	10.01	9.28	13.76	15.40	19.31	15.23	15.50

第一表の結果によれば、抵抗重錘なき場合には、30 秒間の平均廻轉數は 164.2 であるが、抵抗重錘をかけその重量を増すにつれて廻轉數は減少し、抵抗重錘 14 k.g. の場合には、平均廻轉數は僅に 81.9 に過ぎなくなつてゐる。作業が困難を加へ努力を要するこゝが大なるにつれて、一般に脚力計廻轉能率が減弱して行くこゝは明瞭である。

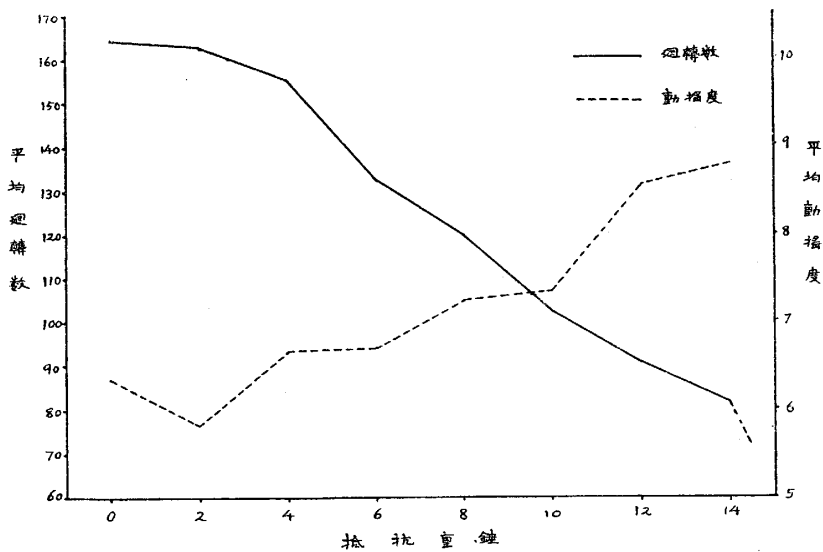
實驗順序の倒逆した五名宛二組の被験者の平均成績に就て見ても(第二表参照)、また十名の被験者各自の平均廻轉數に徴しても、大體作業の難易度と能率の多寡とは符合するこゝは斷言が出来る。

第二表 實驗順序と廻轉能率 (兩組の比較)

抵抗重量 被験者		0 k.g.	2 k.g.	4 k.g.	6 k.g.	8 k.g.	10 k.g.	12 k.g.	14 k.g.
第一組(→)	平均	151.3	157.8	153.9	128.0	112.8	99.1	85.2	90.8
	M.V.	11.70	6.66	6.48	16.64	20.20	18.66	17.14	17.76
第二組(←)	平均	177.1	168.8	156.6	136.4	126.7	106.0	96.8	82.9
	M.V.	13.40	11.64	11.22	10.88	8.40	18.54	16.48	20.36

然し乍ら、仔細に點檢すれば、抵抗重量の變化と作業能率の増減とは、必ずしも嚴密に一致してはゐない。抵抗重量の等差級數的増大に伴つて、作業能率は對數曲線様の經過をこつて低減し、16k.g.に到れば全く作業不能に陥つてゐるのである。第三圖の凸狀實線はこの關係を圖示したものである。

なほ個々の被験者に就て云へば、作業の困難化に伴ふ能率の減少は必ずしも徐々ではなく、ある時期に於て突然の低下を示す場合があつた。例へば  $T_1$  は 6 k.g. までは作業能率に大差がなかつたが、8 k.g. に到つて幾分低下し、その後は著々さ減弱して、14 k.g. に於ては最高能率の僅に 40% を示すに過ぎず、16 k.g. に達すれば作業不能に陥入つた。然るに  $T_2$  は 6 k.g. に於て既に幾分不成績となり、8 k.g. に到れば急激に減弱して最高能率の約半分となり、その後は能率に變化なく、14 k.g. に及んでも略々同様の状態を維持し得た。その他の被験者に於ても、作業の困難化に伴ふ能率の減少は十人十態で、徐々に低下するものもあれば、突如急激に減弱するものもあり、しかもその減弱期が人毎に異つてゐた。斯る個人差の生ずる理由は、もこより一部分は各人の心身の状態が實驗日毎に一樣ではなく、偶然の事情によつて動搖變化してゐたことにも存するであらうが、また各人の體質及び性能に相異があり、適度作業難度若くは適度作業速度の範圍が必ずしも同様でなかつたことにも基くのであらう。



第三圖 各種抵抗重量制の能率比較

次に脚力計廻轉作業は、抵抗重量の輕微なる時は、30秒宛十回の作業を通じて、比較的によくその能率を維持するが、抵抗重量の増すにつれて、能率の動搖が激しく、不規則となる傾があつた。今此關係を明にするために、各種抵抗重量制に於ける十回の作業系列の廻轉回數の動搖程度を、平均錯差量によつて表示し、比較對照すれば、第三表の如くである。表中の數字は、各回の廻轉回數の平均廻轉回數よりの脱逸度の平均値を示すものである。

第三表 各種抵抗重量制の能率の動揺度

抵抗重量		0 k.g.	2 k.g.	4 k.g.	6 k.g.	8 k.g.	10 k.g.	12 k.g.	14 k.g.
第一組	T <sub>1</sub>	10.40	7.10	2.94	5.70	7.28	10.50	16.72	10.10
	T <sub>2</sub>	4.56	4.00	10.48	8.28	8.56	8.28	4.60	4.56
	K <sub>1</sub>	3.90	3.04	4.44	8.20	3.80	6.08	8.16	8.24
	W	4.32	4.00	2.62	10.56	11.80	3.00	6.48	4.74
	T <sub>3</sub>	8.24	4.25	3.68	4.52	7.24	5.32	7.80	10.48
第二組	A	2.96	3.38	2.84	5.04	6.28	11.44	10.08	12.36
	K <sub>2</sub>	9.08	4.70	7.52	25.0	3.90	4.60	8.12	9.36
	M	3.52	6.00	4.06	5.60	7.20	7.92	11.00	12.02
	H	8.48	15.80	13.70	7.80	11.70	8.92	5.60	4.40
	N	8.12	6.04	14.50	8.78	4.66	7.40	7.30	11.70
平均値		6.35	5.83	6.67	6.69	7.24	7.34	8.55	8.79
M. V.		2.49	3.21	3.89	1.92	2.07	2.10	2.39	2.44

第三表に従へば、能率の動揺の比較的少ないのは 2 k.g. 抵抗重量制の場合であり、抵抗重量の増加につれて能率の安定が失はれ、高下の差が甚しくなり、作業が漸次亂雑に移り行くことが知られる。之は主として作業の困難化に伴ふ疲勞増大の効果であらう。此関係を圖示すれば、第三圖墨線の如くであるが、抵抗重量の等差級数的増加に従ひ、作業は幾分凹線狀の経過をこつて、不規則の度を加へて行くやうに見受けられる。

最後に被験者の脚力には個人差があり、平均廻轉回数が可成り多いものもあれば、また少ないものもあつた（第一表参照）。T<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>、H、N の如きは、比較的脚力が大で耐久性も強いが、T<sub>2</sub>、K<sub>1</sub>、A の如きは、能率も低く動揺も大である。しかし、また W や M の如く、ある場合には成績がよいが、他の場合には不成績なものもないではない。之等は恐らく偶然の事情に禍されたものであらう。廻轉能率の大小と能率動揺度の大小との間に如何なる関係があるかは明ではない。平均廻轉回数の多い被験者でも、T<sub>3</sub>、K<sub>2</sub> の如く、能率動揺度の少ないものもあれば、また H、N の如く不規則なものもある。T<sub>3</sub>、K<sub>2</sub> の如きは、作業の最初はむしろ體力を保留し、之を徐々に放出して終に到る迄持續すべく努めたが、H、N 等は最初に全力を注いで作業し、疲勞すれば力を抜き、恢復を俟つて再び力を絞り出すが如き態度で作業した。かゝる作業態度の相異が恐くはかゝる事態を招致したのであらう。

## 4. 実験の結果 (2)

作業の経過を考察するために、十回連続作業の各作業期の廻轉數の増減變化の状態をば、八種の抵抗重量制につき比較するに、次の第四表の如くである。表中の數字は十名の被験者の各 30 秒間に於ける脚力計廻轉數の平均値を示すものである。

第四表 各種抵抗重量制の作業経過の比較 (十人平均)

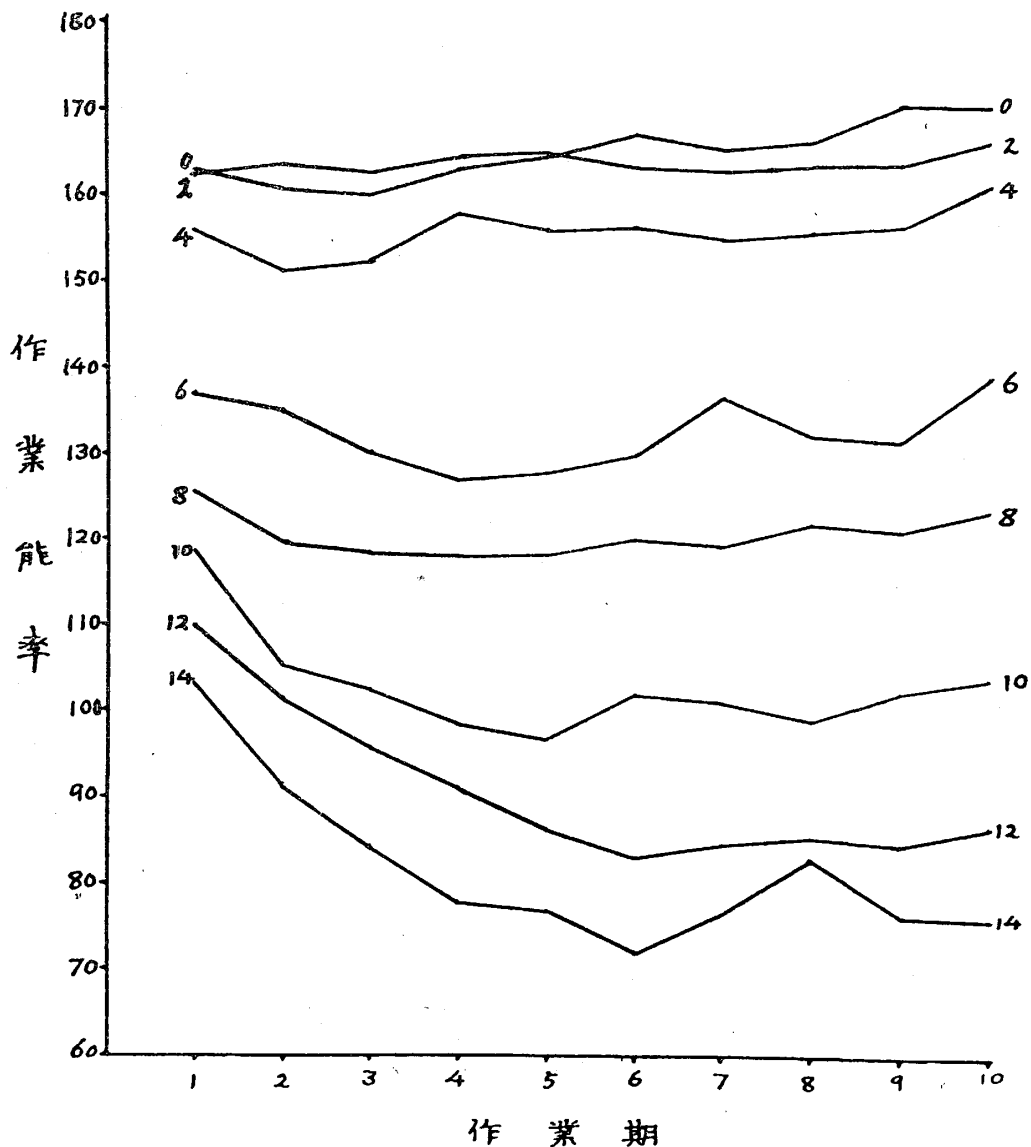
抵抗重量 作業期	0 k.g.	2 k.g.	4 k.g.	6 k.g.	8 k.g.	10 k.g.	12 k.g.	14 k.g.
1	162.9	162.1	155.8	136.9	125.3	118.6	109.9	103.1
2	160.5	163.3	151.0	135.0	119.7	105.2	101.3	91.3
3	159.7	162.2	152.2	129.9	118.3	102.5	95.7	84.1
4	162.7	164.0	157.8	126.7	117.9	98.3	91.0	77.8
5	164.0	164.6	155.7	127.5	118.1	96.4	86.2	76.8
6	166.8	162.8	155.9	129.5	119.8	101.5	83.0	72.0
7	164.7	162.3	154.3	136.1	119.0	100.7	84.6	76.6
8	165.6	162.8	155.1	131.8	121.4	98.4	85.1	82.8
9	169.9	163.0	155.9	131.1	120.9	101.9	84.3	76.1
10	169.6	165.6	160.5	138.6	122.9	103.3	86.3	75.9

なほ比較の便宜上、上表の各種抵抗重量制の第一回期の 30 秒間の廻轉數を 100% と定め、その後の能率の變化の百分比を求めて見るに、第五表となる。

第五表 各種抵抗重量制の作業経過の比較 (百分比)

抵抗重量 作業期	0 k.g.	2 k.g.	4 k.g.	6 k.g.	8 k.g.	10 k.g.	12 k.g.	14 k.g.
1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	98.5	100.7	96.9	98.6	95.5	88.7	92.1	88.5
3	98.0	100.1	97.6	94.8	94.5	86.4	87.1	81.5
4	99.8	101.4	101.2	92.5	94.0	82.9	82.8	75.4
5	100.6	101.5	99.9	93.1	94.2	81.2	78.4	74.4
6	102.3	100.4	100.1	94.5	95.4	85.5	75.5	69.8
7	101.1	100.1	99.0	99.4	95.0	84.9	76.9	74.2
8	101.6	100.4	99.5	96.2	96.8	82.7	77.4	80.3
9	104.2	100.5	100.1	95.7	96.4	85.7	76.7	73.8
10	104.1	102.1	103.0	101.3	98.8	86.9	78.5	77.1

先づ第四表に従へば、抵抗重量の大なるもの程、作業成績は低小で、抵抗重量の小なるものに比すれば、作業當初即ち第一回作業の成績に於て既に確然たる相違があり、その後作業の反復繼續につれて、益々低劣となり行くことが知られる。例へば抵抗重量が 0 k.g. の場合には、第一回より第十回に到る迄、常に比較的に高能率を維持し得てゐるのであるが、抵抗重量が増加すれば、常に第一回の作業に於て既に幾分低劣なる成績を示すのみに止まらず、作業の反復繼續によつて成績は一層著しく低下し、作業の後半期には甚しく不成績となる。而して抵抗重量の大なる場合程、この低下の度合が急激である。この関係を作業曲線によつて圖示すれば、第四圖の如くである。



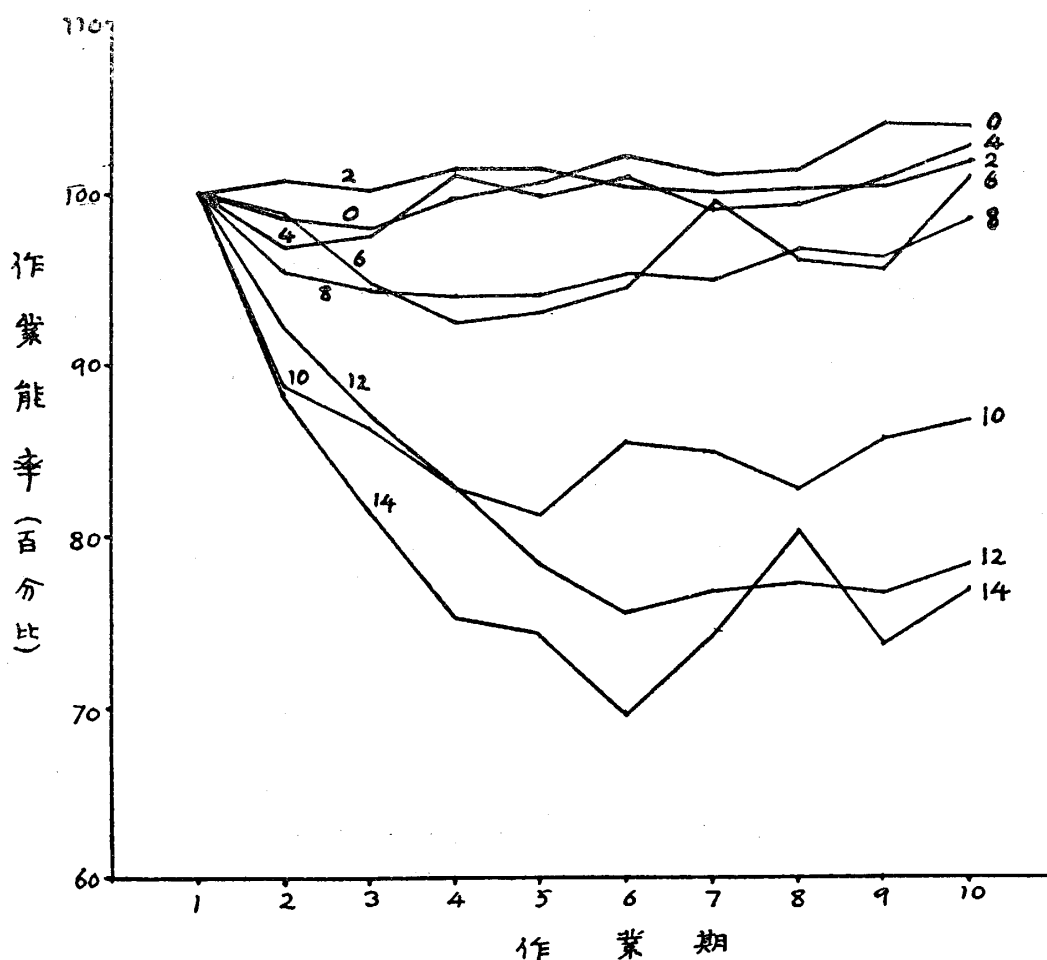
第四圖 各種抵抗重量制の作業経過の比較



第四圖を眺むれば、抵抗重量の僅小なる場合には、十回繼續作業の作業曲線は比較的平坦で同一水準に近く止まつて居り、殊に 0 k.g. 制並びに 2 k.g. 制に在つては、練習効果を感じきものが作業中に現はれ、作業曲線は、中半期以後終期に近づくにつれて、反つて上昇を示してゐるが、抵抗重量が大なるに随ひ、この傾向が失せ、作業曲線は平均水準に於て低下を來たすのみならず、漸次右下りを示し、しかも抵抗重量の大なるもの程、傾斜の度を増してゐるやうである。

されば、抵抗重量の増加、換言すれば作業の困難化は、單に作業能率の一般不良化を招致するのみならず、作業の経過そのものに悪影響を及ぼし、能率を尻下らしめる傾があるを云はねばならぬ。従つて作業の困難化の悪結果は、作業が長期に亘れば亘るだけ、著しい譯である。

なほこの關係を明示するために第五表を圖示すれば、第五圖の如くである。



第五圖 各種抵抗重量制の作業経過の比較(百分比)

第五圖は各種抵抗制の能率變化を、その第一回作業を基準として、百分比で示したものであるが、八種の作業曲線は右方即作業の終期に近づくにつれて、扇地紙形に開き、能率の隔絶度合の増し

て行くところが顯著である。尤も第五圖では、すべての曲線を通じて、最後の兩三回期の作業能率が幾分上昇してゐるやうに見えるが、之は生理的な「馴れ」Gewöhnung 若くは心理的な「努力」Antrieb によるものであらう。蓋し被験者の内省によるに、この實驗に於て、孰れの抵抗重量制に就て云ふも、作業の最も耐え難く感ぜられるのは四、五、六、七回目であり、特に抵抗重量の大なる場合には、この際呼吸も絶え絶えとなり非常に胸苦しく感じるが、この期をすぎれば呼吸も多少安まり、作業も幾分調子つき、殊にあゝ兩三回にて作業も終ると思へば、心が勇み奮發心を生じて努力し得たを報じてゐる。更にまた實驗者の觀察によるも、作業中半期には被験者は氣息奄々となり、一分間の休憩を終つてもなほ息苦しげに見えるが、作業終末期には元氣づき、呼吸の苦しさも甚しくなく、しかも暫く休憩すれば須臾にして治まるやうに見受けられた。

然し乍ら、作業曲線の全形状から觀れば、作業の困難化が、作業線をその出發水準より引き下ろし、傾斜せしめる傾があることは否定は出来ない。

### 5. 實驗の結果 (3)

0 k.g. 抵抗重量制が、2 k.g. 制に比較して、能率に於ても作業の経過に於ても、期待する程高くない、殆んど差異を存せず、ある場合には反つて不成績を示せるところがあり、殊に能率の動搖度は 2 k.g. 制に比して大である事實は、一見不合理のやうに思はれるが、之には別に理由がある。

0 k.g. 制の平均廻轉數は 164.2 で、2 k.g. 制の 163.3 と略々等しく、また作業曲線は最初は 2 k.g. 制の方が高く好成绩のやうに見える。之は全く本實驗に使用した廻轉脚力計そのものの性質に基づく現象であつて、理論上は恐らく 0 k.g. 制はもつとずつ好成绩を示すべき筈であつたらうと思はれる。

余の廻轉脚力計の廻轉輪は、支柱にて支へられて宙に浮いてゐるために、自轉車なごの場合に比して、抵抗が極めて少く、重錘を用ひない場合には、廻轉作業によつて慣性を生じ、従つて踏板が足の運動よりも早く廻轉し、爲に被験者は足を踏板より踏みはづして、作業が中斷され停頓するところが屢々であつた。また足を踏みはづさないやうに注意するために、全速力を出すことが出来ず、能率が十分に現はれない嫌があつた。即ち脚足部の抵抗が過小に失し、廻轉運動が律的に行はれず、不快に感ぜられた。之が恐らく 0 k.g. 制の能率をして 2 k.g. 制を遙に凌駕せしめなかつた理由であらうと察せられる。

廻轉輪に抵抗重錘を掛ければ、慣性による滑りは止み、足を踏みはづすやうなことはなくなつた。足に踏みこたえがあり、運動が律的に最も心持よく行はれるのは、2 k.g. の抵抗重錘を掛けた場合であつた、被験者の内省によるも、2 k.g. 制が抵抗も比較的少く、滑りもなく、作業が最も快適であつた。

斯る特別の事情がなければ、2 k.g. 制よりも 0 k.g. 制の方が遙に好成绩であり、兩者の能率の

懸隔は一層大なるものがあつたであらう。廻轉脚力計の構造を改良し、後輪の慣性効果を減殺するならば、必ずや 0 k.g. 制の方が作業の能率に於てもまた規則性に於ても、優良なる成績を示すに至るに違ひない。なほこの推察を裏書する事實としては、先の第四圖若くは第五圖に於て、0 k.g. 制の作業曲線は、作業の前半期に在つては、2 k.g. 制のそれよりも幾分低下してはゐるが、後半期には反つて上昇し好成績を示してゐる。即ち 0 k.g. 制の場合には、被験者は終に到る迄十分の餘力を存し、甚しく疲勞してはゐないやうである。或はまた作業当初には、餘り勢ひ込むために足を屢々踏みはづして不成績を示すが、些少疲れて足の運動が幾分鈍くなるこゝ、廻轉軸の工合が好調子となり、作業能率が高まるのであるかも知れない。

抵抗重量を増すにつれて能率は低下するが、4 k.g. 制迄は作業は可成り平易であり、6 k.g. 制並びに 8 k.g. 制になれば相當に努力を要し、10 k.g. 制以上は頗る困難のやうである。第四圖及び第五圖の作業曲線を比較考察しても、この關係は解るが、また被験者の内省報告によつても、更にまた被験者の作業中並びに作業後の呼吸状態を觀察しても、上の關係が推知せられる。被験者が苦しさの餘り作業を半途に於て瞬時中止し、また下肢が運動不能に陥つたために作業末期を遂に放棄するに至つたやうなことは、10 k.g. 制以上の場合には折々は現はれたが、8 k.g. 制の場合には比較的稀であり、6 k.g. 制以下の場合には皆無であつた。(尤も作業を中止しても一分間の休憩を経れば、次の作業を営むには妨ぎはならなかつた)。

如上の事實から、今後この廻轉脚力計を作業の實驗に使用する場合には、抵抗重錘は 2 k.g. 乃至 8 k.g. を選ぶのが適當であることが明きなつた。

なほこの實驗に於ける困難作業の遂行に伴ふ作業中並びに作業後の被験者の生理的過程、殊に呼吸脈膊その他の變化に就ては、次の機會に報告を譲ることにする。

附 言 本實驗は東大心理學科學生高橋春藏君の勞力に負ふ所が多であり、また航空心理部技手高木貫一君の援助による所が少くない。記して以て感謝の意を表はしたい。