自然治癒力の評価と測定

——冬期富士山頂における疲労回復実験から——

The Evaluation and the Measurement of Spontaneous Recovery Obtained
From an Experiment on Recovery of Fatigue at Mt. Fuji in Hard Winter.
Senseki TAKANO, Miki HINAIDI, Takefumi TAKAHARA and Masami MIYATA.
(Research Institute of Oriental Life Science and National Hygiene, Kyoto)

東洋厚生科学研究所

高野千石, 日内地美樹, 高原建文, 宮田正巳

I 緒言

1951から1952年にかけて、高野¹⁾らは厳冬の富士山頂において、福岡山の会の会員の越冬訓練において、特に低酸素圧寒冷下の労働が人体の疲労に及ぼす影響を尿を材料とする Cupriferochrome 反応²⁾を用いて研究し、特に被検者の易疲労性、抗疲労性、疲労回復特性など、主として労働が被検者の体質、素因と関連する部分について疲労の側面から検討を試みた。

その詳細な実験内容や測定方法については原報³⁾にゆずるが、この実験から得られた結果は、労働がある量を越えると疲労現象が出現し、労働負荷が生体に対してある種の侵襲のように働いて、生体の運動機能は著しく侵害を受ける。この侵害の程度は、侵襲を受ける個体の状態によって異なり、また労働の行われる環境の影響を受ける。この論文は、当待、我々が得ることができた疲労の一般的特性や、疲労が一般的なヒトの生理的性質として、あたかも弾性体類似の法則のあることを発見して、この弾性体類似の生体復元力が東洋医学の自然治癒力の定量化への応用を検討したものである。

II 尿およびゾルの寒冷処理試験

—20℃以下にもおよぶ寒冷下で Cupriferochrome 反応を実施する場合、まず予想されることは、

1) このような寒冷下で尿の膠質学的状態が変

化しないか

2) 試薬として Cupriferochrome Sol 力価がかわらないだろうか

という2点である。尿は採取して低温下に放置すると大部分沈澱が析出していちじるしく濁するが、40℃位に温めると溶けて透明になる。この変化が完全に可逆的であれば、尿中保護膠質量測定を原理とする各種の尿疲労反応が使用し得るわけであるが、冷却と加熱による操作が測定しようとする反応物質に対し必ずしも可逆的とは考えられない。しかし幸いなことに、我々の用いた Cupriferochrome 膠質溶液凝結反応ではその本態^{4), 5)}からみて、反応の機構が疎水性膠質に対するイオン反応であるため、その影響が尿中の保護膠質量を定量しようとする他反応より小さいであろうと予期せられる。しかし、また他面、冷却加熱処理にともなう尿中コロイド物質の分散状態の不可逆的な変化にともなって吸着その他の原因により、イオンそのものの活量も多少かわってくることもあり得るはずであるから、まったく影響がないとはいえない。そこで我々は、このような不可逆性を予想される尿蛋白、Proteose を懸念して測定材料はすべて Sulphosalicyl 酸法による蛋白検査をおこない反応陽性尿はこれを除外したのである。以上の考察から、蛋白陽性尿を除外すれば、寒冷下に生じた沈澱を温湯に浸漬して再度透明になるまで溶かしても Cupriferochrome 膠質溶液凝結反応には大した誤差を生じないであろうと考

えられるが、念のためゾルおよび尿の寒冷処理試験をおこなった。

まず13名の無蛋白正常尿を -5°C に1時間保ち、ついでこれを 50°C の温湯中に浸して生じた沈澱を完全に溶かしたのち、ただちに力価1.50の無透析Cupriferryocyanide Solの10ccを緑色散乱透過光下に測定し、未処置尿と比較対照した。表1はその成績である。この結果では寒冷処置の影響は僅かに滴定値を低下させる傾向が認められるが、尿によっては逆に増す例もあるので一概にはいえぬが、滴定値変動は僅少で、測定誤差範囲から大きく離れていない。ゆえに、被検尿はこの程度の寒冷処置を受けても、ふたたび加熱溶解して使用すれば、大体原尿とあまり変わらない測定値が得られるものと見てよい。

次にゾルの寒冷処置による力価の変動であるが、ゾルを常温から 0°C に24時間保存し、ふたたび常温に戻して1時間後に3%規準塩化カリ液で尿の場合と同じ方法で滴定し力価変動を測定した結果は表2に示すように力価変動は認められない。

表 1

実験番号	無処置尿	寒冷処置尿	差
1	0.68cc	0.66cc	-0.02cc
2	0.97	0.90	-0.07
3	1.38	1.33	-0.05
4	1.45	1.50	+0.05
5	3.45	3.63	+0.18
6	2.50	2.44	-0.06
7	0.78	0.75	-0.03
8	0.60	0.60	0.00
9	4.00	4.30	+0.30
10	3.63	3.60	-0.03
11	1.46	1.31	-0.15
12	0.58	0.54	-0.04
13	0.92	0.97	+0.05

表 2

実験番号	無処置ゾル	寒冷処置ゾル	差
1	1.50	1.50	0.00
2	1.50	1.51	+0.01
3	1.50	1.50	0.00
4	1.50	1.49	-0.01
5	1.50	1.49	-0.01

III 被検者の労作および環境

被検者は1951, 29/VII博多を出発、翌朝御殿場に着き、ただちに宿舎に入って休憩のち登山準備に入り、その日の午後トラックに便乗、相当の食料と器材とともに太郎坊に到着、登山行動に入った。測定者の関係で、その後の被検者について一々Time Studyをすることはできなかったが、調査した労作記録によれば、各人の労作量はかなりまちまちであって、我々の意図した個人の疲労特性の推定には必ずしも有利な条件ではなかったが、大体隊員は割り当てられたスケジュールに従って行動した。即ち31/VIIにはW. Zを除く全員は05hから06hの間に起床、食事後07hから18hまで太郎坊～5.5合小屋までの荷上げを行い、19h頃夕食、のち休養し21hに就寝している。翌1952, 1/Iもほぼ同様な労作が行われ、2/Iおよび3/Iは全員太郎坊から5.5合小屋までの荷上げに従事している。この荷上げは3/Iまでにはほぼ完了し、翌4/IにはK.T, K.Kを除く全員5.5合小屋に夜を明かし07h起床、09hから15hまで5.5合小屋から7合8勺までの荷上げに従事、15hふたたび5.5合小屋に引き返した。ほぼ同様な労作は5/Iにも続行され、6/Iには08h—09hから12hまで山頂への荷上げが行われ、内4名を山頂に残して他は7合8勺に下山した。7/Iもほぼ同様な労作が行われたが、翌8/Iには全員山頂に到着し、ここにテントを設営した。当日も前日通り頂上への荷上げが行われたが9/I以降は全員設営を完了した頂上の天幕内に宿泊しておのおの訓練や勤務に従事したが、労作は登山期に比較して少ない。以上を要約すると労作は3つの期間に区別することができ、第1期は29/VII—30/VIIの遠路の汽車旅行期に続く31/VII—3/Iまでの比較的低位における労作が主なる期間であり、ついで4/I—8/Iにわたる3000m以上の高地での労作期（第2期）があり、8/I—13/Iまでは比較的労作の少ない山頂における滞在期間の3期間に分けることが

できる。表3は全労作期間中の山頂の気象状況を示したもので、山頂観測所で観測された資料

にもとづいた。なお各高度における平均酸素量は表4に示す通りである。

表 3 富 士 山 頂 気 象

測 定 日	平均気圧 (mb)	平均気温	最低気温	湿度 (%)	平均風速 m/sec	雲量
1951 Ⅻ 30	639.7	-12.7	-16.3	46	20.7	4.3
31	643.3	-6.4	-8.5	93	23.5	10.0
1952 I 1	607.6	-13.3	-16.7	68	23.5	3.3
2	607.1	-14.6	-18.3	71	20.8	8.0
3	603.3	-17.6	-22.4	72	14.0	6.7
4	607.2	-18.8	-20.4	39	22.8	4.3
5	607.4	-16.0	-18.9	46	20.3	2.7
6	603.3	-12.9	-18.1	87	17.3	10.0
7	595.1	-20.6	-23.2	48	22.0	4.0
8	594.5	-24.2	-25.9	54	14.0	3.3
9	601.6	-23.2	-26.4	44	16.5	0.0
10	604.3	-18.4	-22.6	65	24.4	7.7
11	598.0	-16.4	-23.6	79	19.8	7.3
12	596.0	-24.5	-28.5	38	26.3	0.0
13	605.9	-18.1	-21.3	35	17.9	2.0

表 4

高度	気圧 (mm)	O 分圧 (mm)	酸素量 (%)
0	760	159.0	20.96
1000	669	140.5	18.35
1500	628	132.0	17.20
2000	590	123.7	16.30
2500	554	116.2	15.34
3000	520	109.2	14.50
3500	488	102.5	13.67
3776	471	99.0	13.20

Ⅳ 疲労度の逐日変化

我々は被検者の労作にともなう疲労および夜間睡眠による疲労回復状況を察知する目的で、起床後第2回尿(Na)および18時尿(NP)につき、各個人別にCupriferrrocyanide 膠質溶液凝結反応を観測したのであるが、5合5勺以上での測定はきわめて困難であり、結局、太郎坊および5合5勺の比較的低地および山頂における測定ができたのみである。測定中のゾルの力価変動は予期したようにほとんどみられず、全測定を通じ±0.05程度で実験誤差範囲にある。表5は実測結果である。本測定値から被検者の集団平均値を検討してみると一般に労作の激しかった9/Iまでの間に日平均値の最高がみられ、登頂後のテント滞在期にいたって逐次反応値が低下し、ほぼ平地における無疲労正常値に近い値をとっている。疲労の激しい3I/Ⅻの太郎坊—5合5勺小屋までの荷上げでは起床時すでにNa=4.07を示し、強度の残留疲労を認めることができる。この高度の残留疲労は第1期の初めからつづく相当無理な労作に加えて、急激な労作環境の変化に未だ順応していないためではないかと想像される。しかし翌1/Iには、その日の睡眠による回復が著明に現れ、Na=2.72

と中等度の疲労まで回復するが18hにはふたたびNP=3.47とかなり強度の疲労をみている。労作の第3期末には残留疲労はほとんど認められなくなる。本観察で若干不思議に思われるのは第2期で相当強度の労作が、3000m以上の高度でおこなわれているのにかわらず疲労が第1期登攀期^{とうはんき}に比べて割合に小さいことである。一般に高度の大きい山岳での低酸素圧下の労作では過度換気性のA lkarodisに傾くとする説と、血中酸素分圧の小さい条件下での筋労作が酸素中間代謝物質の蓄積を招来してAcidosisに傾くという2説に分かれているが、我々の得た観察結果では、Cupriferrrocyanide 膠質溶液凝結反応の本態²⁾から考えて、3000m以上での労作では平地にくらべて若干A lkarodisに傾く傾向があるのではないかとの疑いをもたせる。なお対照として、山頂にある富士気象観測所員についても同様な方法で疲労度を測定したが、その結果は表6に示すように、第2回尿では平均Naは2点台であり18h尿ではわずかに高値をとるに過ぎず、労作全期の平均値N=2.18は低地における平常生活時の反応値とほとんどかわらない。また被検者の群の第3期の平均値とくらべても有意の差がみられない。

表 5 被検集団の N 実測値 (N・疲労度)

被 検 者	N ₃₀ ^a	N	N ₃₁ ^p	N ₁ ^a	N ₁ ^p	N ₂ ^a	N ₉ ^p	N ₁₀ ^a	N ₁₀ ^p	N ₁₁ ^p	平均 $\overline{N}$
1 K. T	1.45	2.50	2.22	1.97	2.78	2.00	2.17	—	1.62	2.20	2.10
2 U. Z	1.00	2.00	1.98	2.00	2.083	2.28	1.96	1.62	—	—	1.95
3 M. O	2.22	4.56	7.20	3.68	4.93	2.93	4.07	1.82	2.00	1.83	3.52
4 W. Z	2.16	4.56	6.15	3.37	4.07	—	—	—	—	—	4.06
5 I. T	1.00	4.07	4.07	3.68	4.07	2.86	5.40	3.08	—	—	3.53
6 I. H	1.00	3.68	4.94	2.35	2.86	3.69	1.68	1.36	1.36	1.45	2.44
7 M. D	3.08	5.25	4.07	2.50	4.07	2.08	2.36	2.36	—	—	3.22
8 S. N	2.91	5.25	4.07	2.78	3.98	2.35	3.48	2.43	1.61	1.61	3.05
9 T. E	2.58	4.56	3.90	2.43	3.90	2.43	4.07	2.36	2.00	2.22	3.05
10 U. N	2.50	4.56	4.94	3.30	2.50	2.35	3.98	2.50	2.22	—	3.20
11 K. K	2.11	3.92	2.86	1.96	2.22	1.99	—	2.43	2.22	—	2.47
平 均	2.00	4.07	4.21	2.72	3.47	2.48	3.24	2.23	1.86	1.86	2.92

表 6 山頂観測所員の N 実測値

被 検 者	N ₉ ^a	N ₉ ^p	N ₁₀ ^a	N ₁₀ ^p	N ₁₁ ^a	N ₁₂ ^a	N ₁₂ ^p	N ₁₃ ^a	平均 $\overline{N}$
1 Y. S	2.28	1.75	1.66	1.93	1.61	1.61	1.53	1.62	1.75
2 F. S	4.07	2.86	2.35	4.00	1.98	1.83	2.00	2.00	2.64
3 T. S	2.66	4.00	2.22	3.08	1.92	2.06	2.41	1.61	2.50
4 M. K	1.98	1.98	1.56	1.56	1.52	1.66	1.56	1.87	1.71
5 N. Y	2.86	4.16	2.22	2.50	1.92	2.11	2.11	1.58	2.48
6 S. Z	1.56	3.68	2.00	2.00	1.62	1.66	1.83	1.66	2.01
平 均	2.57	3.13	2.00	2.51	1.76	1.84	1.91	1.75	2.18

V 集団の疲労特性

一般に反応値から集団または個人の疲労特性および回復能力をどのようにして決めるかはそのこと自身多くの問題があり、以下述べるような方法で、はたして所期の成果が得られるかどうかは更に検討を要するが、ここでは著者の 1 人 (高野) が考えた方法によった。まず疲れやすさの特性値であるが、これは被検者に加えた労作量が比較しようとする集団または個人に同じ程度に負荷されている場合には第 2 回尿の反応値 N^a および 18h 尿の反応値 N^p とから

$$F = \frac{1}{n} \sum \frac{N_n^p - N_n^a}{N_n^p - N_s} \dots\dots\dots(1)$$

(ただし N_s は集団または個人の正常値、 n は測定の初日 (1 とする) から数えた測定日数を示す。) を計算するか、またはごく概略値として 18h の反応値 N^p を相当長期にわたって測定した結果から判定できると思う。

また疲労回復の特性は、夜間睡眠時間をほぼ一

定にしておけば、 n 日 18h の尿の N_n^p と翌朝第 2 回尿の反応値 N_{n+1}^a とから

$$R = \frac{1}{n} \sum \frac{N_n^p - N_{n+1}^a}{N_n^p - N_s} \dots\dots\dots(2)$$

で計測できるものと考ええる。

表 5 の実験結果から $N_n^p - N_{n+1}^a = \Delta N$ を各個人について計算し、 N_n^p と ΔN との関係を図示すると図 1 に示すようなきれいな直線関係が認められるが、これは睡眠による疲労回復 ΔN が被検者に加えられた負荷による疲労度 N^p に比例することを示すもので、 ΔN は生体に与えられた一種の S stress に対する生体の復元力と考えられるから、両者の関係はあたかも弾性体におけるフックの法則に類似する。この実験では、弾性の極限に相当する点を発見することはできなかったが、 N^p をさらに大きくしてみると、点線で示すように終に疲労の回復が N^p に比例しなくなる、いわゆる弾性の際限に相当する点がみられるように思える。このことは

生体の疲労回復に一種の限界が存在することを予想するわけであるが、もしこのようなことがあり得るとすれば、 ΔN と N^P が直線を示す区間は復元力に障害をきたさない正常の疲労であるのに対し、比例関係からはずれてくる区間は非生理的疲労を示すこととなる。さて、我々は図1の直線関係から

$$\Delta N + \beta = kN^P \dots\dots\dots(3)$$

を得る。ただし β は直線のY裁片、 k は比例常数で(3)から k を求めると

$$k = \frac{\Delta N}{N^P} + \frac{\beta}{N^P} \dots\dots\dots(4)$$

この式で $\Delta N = 0$ とおけば、前日の午後の疲労がまったくなかった N^P の条件を求めることができる。

$$(N^P)_{\Delta N=0} = \frac{\beta}{k} \dots\dots\dots(5)$$

さて我々は(3)のような直線関係を被検者群についても対照群についても得たのであるが、 k や β はこの集団に特有な値を示すものとみて、 k の大小を以て測定集団の回復特性を示し得るものと考えた。 $(N)_{\Delta N=0}$ すなわち、 β/k は直線のX裁片をあらわすもので、この集団の無疲労正常推定値 N_s に相当する。すなわち

$$N_s = \frac{\beta}{k} \dots\dots\dots(6)$$

表5および表6の実測値から2, 3あやしいと思われる測定値を除いて N^P および ΔN を計算し、おのおの k , β および直線の方程式を求めてみると

$$\left. \begin{array}{l} \text{被検者群 (測定値 26)} \\ k = 0.740, \beta = 1.437 \\ \Delta N = 0.740 N^P - 1.437 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{対照群 (測定値 16)} \\ k = 0.859, \beta = 1.470 \\ \Delta N = 0.859 N^P - 1.470 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

また式(6)から2集団の正常無疲労値 N_s を(7)、(8)の k , β を用いて求めてみると

$$\left. \begin{array}{l} \text{被検者群 } N_s = 1.94 \\ \text{対 照 群 } N_s = 1.71 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

が得られ、この値は著者の1人高野が17才~27才の正常無疲労平均値 $N = 1.70$ に比較すると、対照群では有意差が認められず、被検者群のみ若干の高値を示すのが認められる。

図1

すなわち我々は、高度寒冷下にやや長期にわたって生活し、その環境になれ、しかも労作が正常生活に近い山頂観測所員(対照)にのみ、平地となんら差異なき正常値を認めることができた。次に集団の疲労回復特性を k で比較すると $k(\text{被}) = 0.740$, $k(\text{対}) = 0.859$ となり、対照群の方が若干良好な回復特性を示しているが、これは1つには環境に対する慣れと、もう1つには被検者群が連日にわたる相当過重な労作負荷の結果と見なすことができよう。

VI 個人疲労特性

前節で実験的に導いた式(3)が個人についてもあてはまるものとの仮定の下で、個人の疲労特性を R および k で比較することができる。表7は実測結果から、 N および β に被検者群の集団特性値 $N_s = 1.94$, $\beta = 1.437$ を与えて(1)、(2)および(4)から F , R および k を求めた結果であるが、測定例数が僅少なため、その結果に大きい期待をかけるわけにはいかないが、おのおの次式で定義される平均総疲労度 $\bar{N}$ 、平均最大疲労度 $\bar{N}^P$ および平均残留疲労度 N^a 等の値を考慮に入

れてほぼ個人特性を推察することができる。

表7 個人疲労特性

被 検 者	$\overline{N}^p$	$\overline{N}^a$	$\overline{N}$	F	R	k
1. K. T	2.20	1.98	2.10	0.60	0.643	0.775
2. U. Z	2.26	1.76	1.95	0.77	1.110	0.821
3. N. O	4.03	3.04	3.52	0.45	0.747	0.763
4. W. Z	5.11	3.36	4.06	0.36	0.632	0.684
5. I. T	4.51	2.94	3.53	0.29	0.442	0.673
6. I. H	2.46	2.41	2.44	0.43	0.812	0.928
7. M. D	3.56	3.05	3.22	0.52	0.511	0.728
8. S. N	2.96	3.14	3.05	0.59	0.631	0.787
9. T. E	3.22	2.87	3.05	0.74	0.701	0.754
10. U. N	3.41	3.04	3.20	0.42	0.461	0.694
11. K. K	2.43	2.49	2.47	0.55	0.650	0.783

$$\overline{N} = \frac{1}{2n} \sum (N_n^a + N_n^p) \dots\dots\dots(10)$$

$$\overline{N}^p = \frac{1}{n} \sum N_n^p \dots\dots\dots(11)$$

$$\overline{N}^a = \frac{1}{n} \sum N_n^a \dots\dots\dots(12)$$

ただし n は測定総数(すなわち測定日数の総和)である。これらの計算結果は一括して表7にかかげた。ここに得られた個人特性はさらに後述する医学的所見も考案して判定すべきは論を待たないが、正確な個人特有の推定はなお考慮すべき点が多く今後の研究によることとし、ここではこれらの結果から帰納される2、3の事実を述べる。

図2は平均総疲労度 N と回復特性 k との関係を示したもので、図からわかるように k はほぼ N に比例して減少するのが認められる。これは総

疲労度の大きい被検者ほど回復能力が小さいことを示している。また図3は疲れやすさの特性値 F と回復特性値 k との関係を示した図であるが、 F と k とも直接関係があり、疲労回復特性 k の大きい被検者ほど疲れやすいといういっけん意外な結果になる。しかしこれは疲労を一種の警告反応とみればある程度理解できないことはないが、この結論は前述した弾性限界内の疲労(第1種の疲労)においてのことである。

図3

VII 自然治癒力の評価と測定

さて、我々はこの実験を通して生体は労働という外界からの侵襲によって、あたかもバネと同じように、外界からの力による歪みを自分の力で復元しようとする作用があることがわかった。弾性体の歪みと外力の関係は、フックの法則といわれ、弾性の限界内では歪み(S)は外力(F)に比例するという。すなわち k を弾性の常数として

$$S = kF \dots\dots\dots(13)$$

この式と(3)式を変形した

$$\Delta N = k N^p - \beta \dots\dots\dots(3)'$$

を比較してみると ΔN が S に、 N^p がそれぞれ F に対応していることがわかる。 β は(3)'からわかるように、

$$\beta = k N_p - \Delta N$$

で残留疲労に関係する生体の一つの特性と考えてよい。

さて(3)または(3)'式から明らかなように、 k が大きいほど同じ疲労侵襲に対して、疲労の回復量が大きい。すなわち、 k が大きい個体は疲労に対する自己自然回復能力が大きいわけであるから、われわれは k を用いて自然回復能を評価できるのではないかと考えた。しかしながら、東洋医学でよく用いられている自然治癒力というのは、厳密な意味では、その一般的な意味は疲労の自然回復能力とは少々異なる。その理由の一つは、疾病の自然治癒能力とは病理学的にその疾病の病理機能が明らかにされている場合、生体はその治癒に対して干渉するすべての作用

を意味するのに対して、疲労の場合は疲労の生成回復に干渉する要因や機能にのみ関係する。疲労現象やその回復に関しては、古くから詳細な研究が試みられ、現在では疲労は筋そのものの、それに共軛して反応するエネルギー代謝機構の極く一般的な生理的反応と解釈されている。したがって、疲労の自己回復能は本質的には疾病病理とは異なった機構の生体に普遍的な一般的復元力と考えてよい。しかし、このような一般的な復元力は、それ自体細胞組織の極く自然な活力とも見ることができ、このような理由から疲労の回復力の大きさの特性 k をわれわれは、その個体の自然治癒力とみなしたのである。

本論文のうちⅡ～Ⅴは文献 1) のうち、著者の研究にかかわる疲労の部分をもそのまま引用した。

参 考 文 献

- 1) 高野千石・北川幸男・脇坂順一；日新医学・Vol. 41, 10 (1964)
- 2) 高野千石；日新医学・Vol. 38, 10 (1951), Vol. 39, 5 (1952), Vol. 41, 3 (1954), Vol. 41, 4 (1954)
- 3) ibid 1) and 2).
- 4) 高野千石；科学 (岩波), 21 (1951), 297。
- 5) 高野千石；日新医学・Vol. 38, (1951)。
- 6) Monthly Rep. of the Central Meteorological Observatory of Japan (1951), 483 and ibid (1952), 23.
- 7) 高原建文・高野千石；東洋厚生科研紀要 Vol. 34, 3 (1986)。