

〈研究ノート〉

## 聴覚で疲労を測る（概説）

近 藤 暹\*

（受付 2018年10月26日）

### 目 次

はじめに

1. 作業と疲労

1.1 人の疲労とバネの疲労

1.2 肉体疲労と精神疲労

1.3 疲労を測る唯一の手掛かりは人間の感覚である

2. 作業疲労の測定モデル

3. 疲労測定の客観化（尺度化）

3.1 単純負荷の場合

3.2 複合負荷の場合

4. 主な疲労測定方法

4.1 フリックーフュージョンテスターによる測定（視覚的方法）

4.2 トーンフュージョンテスターによる測定（聴覚的方法）

5. トーンフュージョンテスターの発展型

5.1 体調チェッカー（体調計）について

5.2 体調チェッカーと疲労度

6. 結 果

7. 検 討

おわりに

### は じ め に

作業環境が厳しさを増しており、昨今過労死者までで社会問題となっている。筆者の若いころとは明らかに労働環境が変わってきている。

疲労というと一般的に肉体疲労のことを言う傾向があるように思われる。それゆえ、一般事務職の方が疲れたというと、運動もしていないのに疲れるはずがないと受け取られ勝ちである。疲労は肉体疲労だけではなく精神疲労もあり、一般に作業疲労は肉体疲労と精神疲労

---

\* 広島修道大学名誉教授

が混在している。肉体疲労は分かりやすいが、精神疲労は分かりにくい傾向がある。肉体疲労は主に筋肉疲労であるのに対し、精神疲労は主に脳の疲労と考えられる。職場で過労になるのは精神疲労が主因と思われるものもある。

疲労を測るといっても、疲労は長さや目方のあるものではないので、はっきりと測れるものではない。そもそも疲労とは何かと問われると、疲れることとしか言いようがないかも知れない。疲労自体の正体ははっきりしないのである。疲労感と言うまでもなく主観的な概念であって、同じ疲労感を他人と共有することはできない。

疲労感は作業によるものと、病的なものがあるが、ここでは病的なものは扱わない。病的なものは臨床医学の領域に属するからである。疲労感は大切な感覚であって、人を過労や病気から守り、生命を維持する上での安全装置であるといえよう。

作業による過労が続けば、うつ病になるか死に至ることはよく知られている。うつ病患者もやがては自殺することがままたる。作業疲労は過労にならない内に、まず自己管理をすることが大切である。

世に疲労を回復するという言葉や薬剤はいろいろと宣伝されているが、測定するというものは少ない。体重計は体重を、血圧計は血圧を、体温計は体温を測るために使われているが、疲労を測る疲労計という名称のものはない。

本文は主に二つのことが述べられている。一つは筆者が以前に開発した聴覚式疲労測定方法（トーンフュージョンテスター）の概要であり、他はその発展型の自称体調チェッカー（体調計）の概要である。これはパーソナルコンピューターは勿論、スマートフォン等でも手軽に測定時の体調や疲労度のチェックが出来るものである。

本文中に疲労に関する幾つかの言葉が使用されているが、混乱を避けるために次の様に定義する。

- 疲 労       :     疲労の一般的概念として使用
- 疲労感       :     主観的な自覚疲労など
- 疲労度       :     客観化された疲労の程度（尺度値）。

## 1. 作 業 と 疲 労

### 1.1 人の疲労とバネの疲労

今バネを例にとって考えてみる。そのバネに外力（ストレス）を加えて引っ張るなり押すなりした場合に、バネには歪（ストレイン）生じる。その外圧がなくなると、バネは元の状態にもどる。これはバネの正常な状態である。ところが、ストレスが強すぎるか長時間にわたると、歪が大きくなり過ぎ、バネは元の状態に戻らない場合がある。これをバネの疲労と

言う。それ以上に外力をかけつづけると、バネは破損する。

この現象は人間にもあてはまるのではないか。作業によるストレスがあまり大きくなく、休めば回復する程度の歪の範囲を超えてストレスがかかると、過労状態になる。一旦過労状態になると、その状態から容易に抜け出せないばかりか更に無理をすれば死に至る場合もある。バネならば伸び切った状態か、切断された状態がこれに相当する。

疲労のストレス説は生理学者のセリエが提案したと言われているが、セリエは物体であるバネの疲労からヒントを得たのかも知れない。バネに負荷として圧力（ストレス）を加えると、バネに歪（ストレイン）が生ずる現象は、弾性力学や材料力学の分野では古くから知られている。なお、セリエのストレス説には別の解釈があり、例えば、外的刺激に対する反応をストレスと言う場合もある様である。

## 1.2 肉体疲労と精神疲労

作業対象（作業負荷）はシンプルなものから複雑なものまでである。シンプルな作業の例としては、ダンベルの上げ下げの様な運動（肉体作業）があり、これによる疲労は肉体疲労である。他方コンピュータ作業や自動車の運転等はシンプルな作業とは言い難く、どちらかと言えば精神作業にはいる。よってこれによる疲労は精神疲労といえよう。普通の作業（研究や事務作業等）はこれらの疲労、つまり肉体疲労と精神疲労の複合型と考えられる。

作業疲労はその作業の経験の程度や向き不向き（適合性）、年齢、作業時間の長短や、周辺環境等が関係し、さらに人間関係でミスマッチング（気が合わない等）があると、これも余計なエネルギーの消耗になる。さらに、作業をいやいや、しぶしぶするのと、積極的にするのでは疲労感が異なるのが普通であろう。

疲労していても、疲労を感じない場合がある（作業時間が短い場合など）。疲労にはある閾値が存在し、蓄積された無自覚の疲労がその人の持つ疲労に関する閾値を超えるまでは疲労を感じないのかも知れない。なお、ここでは病的な疲労感、例えば糖尿病などによる疲労感などは当然ながら考えない。

## 1.3 疲労を測る唯一の手掛かりは人間の感覚である

作業疲労は前述のように大別して次の3つに分けられる。すなわち、肉体疲労、精神疲労、および、それらの複合型である。

疲労を測ることは、機械の故障を診断するときの様に計測器類で簡単に測ることは難しい。（機械の故障診断には物理的計測器類が使われるのが普通であるが、感応検査の様に音や臭い等の感覚で診断する場合もある）。

しかし人の疲労を測る唯一の手掛かりは被験者個人の感覚である。

## 2. 作業疲労の測定モデル

図1に作業と疲労と測定の関係を示す。同図で行動とは作業を行う行動そのものを意味する。Sはストレス等の刺激、Rは疲労感等の反応である。また、セルフフィードバックとは疲労を感じたら、作業量や作業時間を自発的に調整したり中止する行為行動などを意味する。C値は客観化数量化された疲労度つまり疲労尺度であり、これが求めるものであるが、これについては後で簡単に述べる。

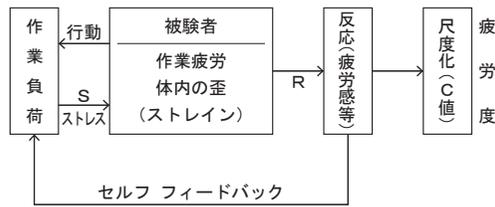


図1 作業疲労の測定モデル

## 3. 疲労測定の客観化（尺度化）

### 3.1 単純負荷の場合

本論に入る前に疲労の尺度化の簡単な例を示す。仮想実験として先に述べたダンベルの上げ下げを考えてみる。一定の重さのダンベルを疲労するまで何度も持ち上げるのである。その時の疲労の限界となった回数を、その人の疲労度とする。ダンベルの目方を変えてプロットすれば、その人の重量上げの疲労曲線が得られるはずである。この場合に、図2の縦軸が重量上げの疲労尺度になる。同図から、例えば4kgのダンベルを上げ下げした場合の推定疲労度はほぼ22（回）であることがわかる。なお、曲線Wは一種の媒介変数と考えられる（後述）。

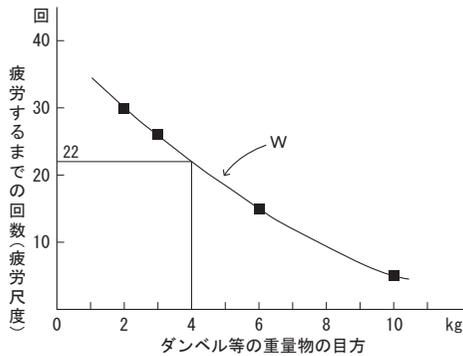


図2 肉体疲労の簡単な尺度化の例（ダンベル等の重量上げの場合）

### 3.2 複合負荷の場合

精神作業と肉体作業の混合したのが複合負荷であり、一般に作業といえば複合負荷を伴う作業が普通である。複合負荷の場合に、それに伴う疲労を測るために古くから使用されてきたものに、視覚によるフリッカーフュージョンテスターがある。

次節ではこのフリッカーフュージョンテスターの概要を述べ、さらに筆者が先年新たに開発した聴覚による疲労測定の方法について述べる。

## 4. 主な疲労測定方法

### 4.1 フリッカーフュージョンテスターによる測定（視覚的方法）

フリッカーフュージョンテスターは小さな光点のチラツキが融合して、恰も1点の様に見えるか否かを判断し、1点に見えたと感じた時のチラツキ値 $f$ （周波数 単位はヘルツ Hz）が疲労と関係するものとする。

実際はチラツキが1点に見える状態から $f$ を次第に下げて、2点に見え始めた時の $f$ 値を $f_1$ とし、次いでチラツいて見える状態から $f$ 値を次第に上昇させて、1点に見え始めたと判断した時の $f$ 値を $f_2$ とすると、その時のチラツキ融合値（閾）値 $F$ は、

$$F = (f_1 + f_2) / 2 \quad (1)$$

で示めされる。この $F$ をその時の作業負荷のチラツキ融合（閾）値とし、この $F$ が疲労に関係するとされる。 $F$ は単純負荷の場合にも、複合負荷の場合にも使用される。

### 4.2 トーンフュージョンテスターによる測定（聴覚的方法）

トーンフュージョンテスターは筆者がかって新たに開発したものである。それ故この名称は筆者が名付けたものであり、まだ一般化したものではないが、以下の説明の都合上この名称を使用することにした。

その特徴はフリッカーフュージョンテスターが視覚融合（閾）値 $F$ を測るのに対し、聴覚融合（閾）値を測るところにある。ここで言う聴覚融合（閾）値とは、2つの短音\*（継続時間が数十ミリ秒）のAとBが、恰も1音の様に聞こえる状態から、次第に時間間隔をひろめて2音に聞こえはじめたと感じた時の時間を $t_1$ とし、逆に十分に2音聞こえる状態から次第に時間間隔を狭めて、恰も1音に聞こえる状態の時間を $t_2$ とすると、A,Bの2音の聴覚融合（閾）値 $T$ （単位はミリ秒）は、

---

\*（注）2音とも聴覚的に同じものである必要がある。ただし、レベル差はBがAより幾分低くてもよい。

$$T = (t_1 + t_2) / 2 \quad (2)$$

で示めされる。

F, T共に閾値の測り方は似ているが傾向が異なる。(文献1, 2, 3参照)。

このTはFと同じく単純負荷でも, 複合負荷でも疲労の測定に使用できる。

なお, A, Bの2つの音が1音や2音に聞こえるのは, まったく個人の主観によるものであるが, これが作業疲労の影響を受けることがわかっている。(文献1, 2, 3)。

## 5. トーンフュージョンテスターの発展型

### 5.1 体調チェッカー (体調計) について

前節で示したトーンフュージョンテスターは聴覚式の一つの体調チェッカーであるが, パーソナルコンピュータを使用し, 主として研究用として開発したものである。誰でも何時でも手軽に使えるものではない。そこで次に述べる体調チェッカーなるものを開発した。

体調チェッカーの特徴は手軽に測定時の疲労を含む体調のチェックが出来ることを目標としている。小型で手軽に使えるのであれば, 例えば自動車などを運転する前に, その時の体調を知ることが出来る。自分では体調に問題がないと思っても, 隠れた体調不良があったり, 時間帯によっては神経系が不安定な場合があり, そのような場合には運転ミスが起きやすい。早朝に自動車事故が起きやすいのは, 神経系の不安定性が原因ではなからうか。この様な時に体調チェッカーが役立つかも知れない。また, 自動車の運転時ばかりではなく, 日常の体調チェックにを手軽に活用できる。

### 5.2 体調チェッカーと疲労度

必要な時にその時の体調をすぐに知りたいという目的達成のためには, 式2に示したTにさらに情報を加える必要がある。その為に新しい変数を考え, これをCとする。これは一種の媒介変数であり, これにより客観化 (数量化) した疲労度を求めることができる。これについての説明は割愛する。

## 6. 結 果

被験者の疲労感とそれを数値化したCの関係を示したのが表1である。Cはゼロ以上の値をとり, 1を超えると疲労が過労気味を意味する。測定時のTの値はバラツキがあるが, Cもバラツク (図3参照)。実はこのバラツキに意味がある。バラツキを幾つかに区分する (グ

表1 作業別疲労度（C値，またはCスケール）

データ No	被験者（歳代・性別）	作業／状態	感覚／症状	C 値	
1	a (70男)	コーヒー休み	快調	0.08	↑ 0.0 緑色 疲労度（C値）
2	g (20女)	軽度のランニング	普通	0.10	
3	a (70男)	風呂上り	快調	0.20	
4	h (20女)	クレベリンテスト	普通	0.20	
5	a (70男)	コーヒー休み	快調	0.25	
6	a (70男)	起床直後	快調	0.28	
7	f (20女)	軽度のランニング	普通	0.28	
8	i (20女)	軽度のランニング	普通	0.29	
9	a (70男)	風呂上り	快調	0.35	
10	j (20女)	軽度のランニング	普通	0.35	
11	h (20女)	軽度のランニング	普通	0.36	
12	b (40女)	乳飲料配達	普通	0.58	
13	a (70男)	記帳事務	普通	0.60	
14	a (70男)	電話等雑務	普通	0.61	
15	g (20女)	クレベリンテスト	普通	0.62	
16	b (40女)	乳飲料配達	普通	0.71	
17	d (30女)	乳飲料配達	普通	0.75	
18	d (30女)	乳飲料配達	普通	0.82	
19	f (20女)	クレベリンテスト	軽度疲労	0.88	
20	a (70男)	会議	疲労	0.88	
21	j (20女)	クレベリンテスト	軽度疲労	0.91	
22	b (40女)	乳飲料配達	疲労	0.94	
23	i (20女)	クレベリンテスト	疲労	1.01	
24	a (70男)	パソコン作業	疲労	1.29	
25	e (70女)	帰宅直後	疲労	1.33	
26	e (70女)	帰宅直後	疲労	1.42	
27	c (10男)	雪かき	疲労	1.80	

ループ分けする）ことにより，その時の体調や疲労の程度が分かり易くなる。実験ではこのバラツキ値を3パートに区分し，それぞれに色を付けた。緑色（C=0～0.5）は体調が良いか，くつろいだ状態。黄色（C=0.5～1.0）は無理をしないで作業を続けてもよい。赤色（C=1.0以上）は要注意すなわち過労気味であることを示している。

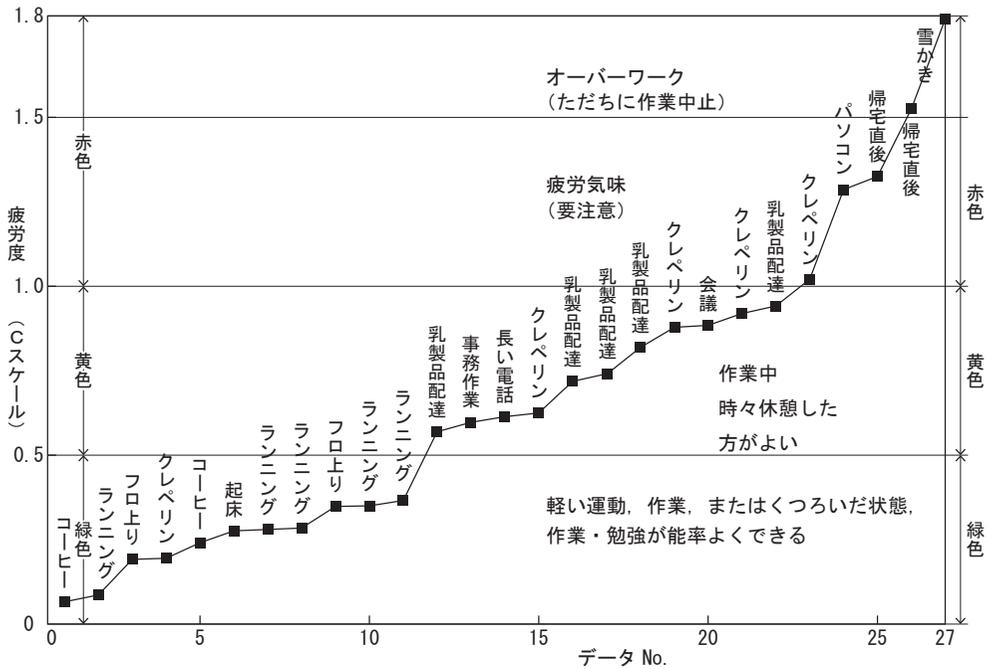


図3 作業別疲労度 (Cスケール) の例

ここでCの数値の区切りは表1, 図3の結果から疲労度の判断がし易いように区切ったものである。調査の結果, 実情に合わなければ変更可能である。

この3区分と被験者のその時の疲労感を対応させてみた。うまく対応していることがわかる。その時の作業状況も並記した。(図3)

図3より  $C < 0.5$  は、くつろいだ状態かそれに近い状態にあることがわかる。 $0.5 < C < 1.0$  は作業中であり、やや負荷がかかった状態であることが分かる。 $C < 1.0$  以上は過労か過労気味であることが分かる。

以上の実験は数台のスマートフォンや、タブレットを使用して行った。なお、本方式では測定を始めて結果が得られるまでの時間は1分以内である。

## 7. 検 討

連続して発する2音の時間間隔を変えて、それが1音と判断されるか、2音と判断されるか、その判断から2音の融合(閾)値を求め(式2), それが体調や疲労とどう関係するかについて研究を行なった。

その結果を表1にまとめて示した。これをグラフ化したのが図3である。被験者の数が27

名であるがほぼ満足すべき結果を得た。

ここで述べたものは聴覚を手掛かりに体調や疲労を測る方法であるが、さらに視覚による方法を加えれば、精度が幾分向上するかも知れない。しかし、測定が煩雑になる恐れがある。ここでは測定がしやすく比較的精度の良いと思われる聴覚的方法で調査実験をおこなった。測定が簡単、手軽でさらに精度の良い測定方法の開発は今後の課題である。

## お わ り に

過労が原因のうつ病や過労死などが社会的な問題となる現代の様な時代には、疲労の自己管理は欠かせない。また作業管理者も作業者の疲労の状態を客観的に知っておくことは必要であろう。疲労感人は人を過労や病気から護る上で大切な働きをしており、生命維持の為の一つの安全装置の役割をしているものと考えられるからである。

縦来から疲労測定のための様々な装置や方法が開発されてきたが、残念ながらこれで完全と言うものは無さそうである。

ここに新たに聴覚によって簡単に体調や疲労の測定を行う方法を提案した。特に体調チェッカーはスマートフォンなどのアプリとしても使用が可能であり、そうなれば手軽に疲労の自己管理ができる。体調チェッカーは、その他にも様々な応用が考えられるが機会を見て報告のよていである。

以上は概説であるため、もし不明な点があればご容赦いただきたい。最後に本研究に当たり多くの方々の努力を惜しまないご協力があった。それらの方々に感謝申し上げる。

## 参 考 文 献

1. 近藤 暹 2音融合値による疲労の測定と分析  
——特にフリッカー値と比較して——  
民族衛生（現、日本健康学会）、59, NO2, 59~68, 1993. 3
2. 近藤 暹 疲労を測る  
＜視・聴覚的方法による＞  
杏林書院 2007, 3, 1
3. 近藤 暹 作業疲労の測定（視・聴覚的方法による）  
バイオフィードバック研究 VOL. 35 NO. 1  
2008 日本バイオフィードバック学会