

## 第 6 章 疲労度ソフトセンサの開発

### 6.1 はじめに

第 5 章では、いくつかの問診票により疲労感を把握できる生体データにおいて、LOM による「疲労度」の数値化が可能と思われた。そこで、実用化に向けて、LOM による推定手法を取り入れた「疲労度ソフトセンサ」を作成し、放射線画像診断作業中の「疲労度」を推定する。

ソフトセンサ[1]は、推定モデルやバーチャルセンサとも呼ばれ、化学、製薬などの産業界において、製品品質を推定できるモデルで構築し、オンラインで測定される変数の測定値から、その予測値を活用するものである。本章は、ソフトセンサの考えを応用し、第 5 章で構築した LOM による「疲労度」の推定方法を使用してシステムを構築し、システムをパソコンに実装し、「疲労度ソフトセンサ」を作成した。

社団法人日本医学放射線学会(会員数 8336 名, 2010 年 2 月現在)の将来計画委員会報告によると、放射線画像診断作業における放射線科医師の負担が問題となっており、疲労対策が急がれている。正確な診断を行うためには、医師の負担を軽減する方法が必要である。そのためには放射線科医師がどのような状況下で疲労となっているか、判断することが重要である[2]。しかし、画像診断作業中の疲労度を示した研究は少なく、問診票による調査のみとなっている。そこで、「疲労度ソフトセンサ」を用いて、放射線画像診断作業中の「疲労度」を推定した結果を報告する。

### 6.2 放射線画像診断作業による精神疲労

放射線科は、単純 X 線写真から最先端画像までの画像診断、画像誘導下で行う局所治療(インターベンショナルラジオロジー:IVR)および放射線を使った侵襲性の少ないがん治療を行う診療科である。画像を扱う画像診断部門と放射線治療部門とから構成される。

画像診断部門は、X 線写真、CT(コンピュータ断層撮影, Computed Tomography: CT), MRI(核磁気共鳴画像法, Magnetic Resonance Imaging: MRI), 超音波検査(エコー), 核医学検査(PET を含む)の画像診断を行う。現在の医療は画像診断なくして成り立たず、画像診断が医療の質を保證する第 1 歩である。

米国では、放射線科医師の画像診断件数がこの 15 年間で 34%増加し、英国では、この 10 年間で毎年 2.5~5%ずつ業務量が増加している。適正な業務量として年間 4,000~12,000 件(1 日 1 人当たり 60 件弱)以下とするよう提言されている[3]。

世界 26 カ国の医師数の平均(人口百万人あたり)は、医師数が 3110 名、放射線科医

師が 104 名である。日本は医師数(人口百万人あたり)が 2031 名(26 カ国中 25 位), 放射線科医師数が 36 名(26 カ国中最下位)となっている[4].

26 カ国の平均に対する日本の割合は, 医師数は 0.65, 放射線科医師数は 0.35 であり, CT・MR 装置 1 台あたりの放射線科医師数は 0.085 と極めて低い。諸外国と比べ, 日本での医用画像の活用水準は極めて低く, 真の画像診断を確保するには, 常勤医の配置, 専門医の業務区分, 読影量などから推定し, 放射線科医師の大幅な増加が必要である。しかし, 現状は放射線科医師の増員が難しい状況である。

放射線科医師の負担は, 画像診断件数だけではなく, 画像診断密度の増大が問題である。画像診断は, まず数人の医師が個別に行い, 最終的に放射線科専門医が診断を下すが, 検査当日に最終診断結果を出さなければならないため, 時間的切迫感も加わっている。また, 典型的な大学病院の医師の画像診断量については, 1 日約 100 名の患者の検査結果を診断しているが, 画像診断対象は, 単純 X 線写真(1 件 1 画像)から MRI, マルチスライス CT(1 件 100 画像以上)に移っていることから, 放射線科医師 1 人につき 1 日の画像診断枚数は約 60000 枚に上っている。1 分間に 100 枚のフィルムを画像診断する計算となる。

診断の際使用するシャウカステン(レントゲン写真・MRI フィルム等を見る際に用いる蛍光灯等の発光を備えたディスプレイ機器)を Fig. 6-1 に, モニタを Fig. 6-2 に示す。診断の際使用するディスプレイ機器は, シャウカステンから CRT(ブラウン管を利用した表示装置)およびモニタへ移行し, 液晶モニタなどさまざまなモニタ画像診断システムの登場により, 診断能の向上と作業の効率化を求められている。そのため, 人間工学的配慮が必要である。

放射線科医師の作業負担は増加し, それに伴う放射線科医師の訴えも増加している。RSNA(北米放射線学会, Radiological Society of North America)の会員を対象とした調査(AJR;184, 2005)では, 目の疲労を訴える放射線科医師は, 全体の 36%であった。目の疲労を訴える率が有意に高かったグループの訴えは, 画面のちらつきを自覚する傾向があり, グループの特性は, 業務が 6 時間以上, 休憩の頻度が少ない, CT スクリーニング業務がある, 女性, 若年者であった。目の疲労の訴え率に差が見られなかった項目は, 休憩の長さ, 経験年数であった。「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」[5]に沿い, 作業環境の改善として, 疲れにくい画像診断室, ワークステーションの工夫, 疲れにくい画像診断作業方法の工夫, 健康診断による身体機能の確認などが行われている。

これまで, モニタ画像診断の診断能に関する研究は多く認められるが, 画像診断業務は視機能を酷使する VDT 作業の一つでありながら, 画像診断業務の心身への影響についての調査は少なく, 負担を軽減するような研究はほとんど報告されていない。放射線科医師の疲労を測定した結果の報告も見受けられない。

画像診断業務量は, 今後も増え続けると予想される。そこで, 今回開発した「疲労ソフト

センサ」を使用して、放射線科医師の画像診断時の「疲労度」を推定した。

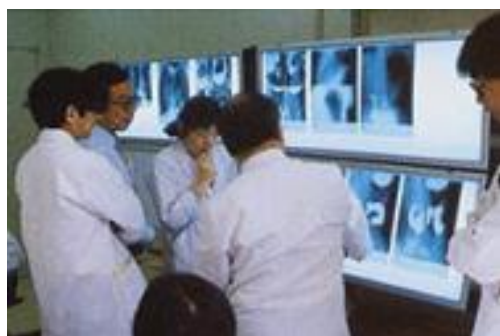


Fig. 6-1. Illuminator.

図 6-1 シャウカステン



Fig. 6-2. Monitor of Read X-rays operation system.

図 6-2 モニタ読影システム

### 6.3 大規模データベースオンラインモデリングによるシステムの構成

本システムは、心拍数、前額部および鼻尖部の表面皮膚温度、呼吸数、手掌部皮膚血流量より「疲労度」を算出する演算部と「疲労度」を表示する画面より構成される。以下に、「疲労度ソフトセンサ」のデータベース作成手順を Fig. 6-3 に、「疲労度」の推定手順を Fig. 6-4 に示す。

#### [A] データベース作成手順

- 1) あらかじめ大規模なデータベースに、暗算作業実験より取得した被験者ごとの観測データ(「疲労感の変化」と生体データ)を蓄積する。
  - 2) 変数ごとに時間を遅らせた変数を生成し、ステップワイズ法によって「疲労感の変化」に対して寄与率の高い変数群に絞り込む。
  - 3) 絞り込まれた変数群をデータベースに格納する。
- \*:絞り込まれた変数群を「絞り込み変数」と定義する

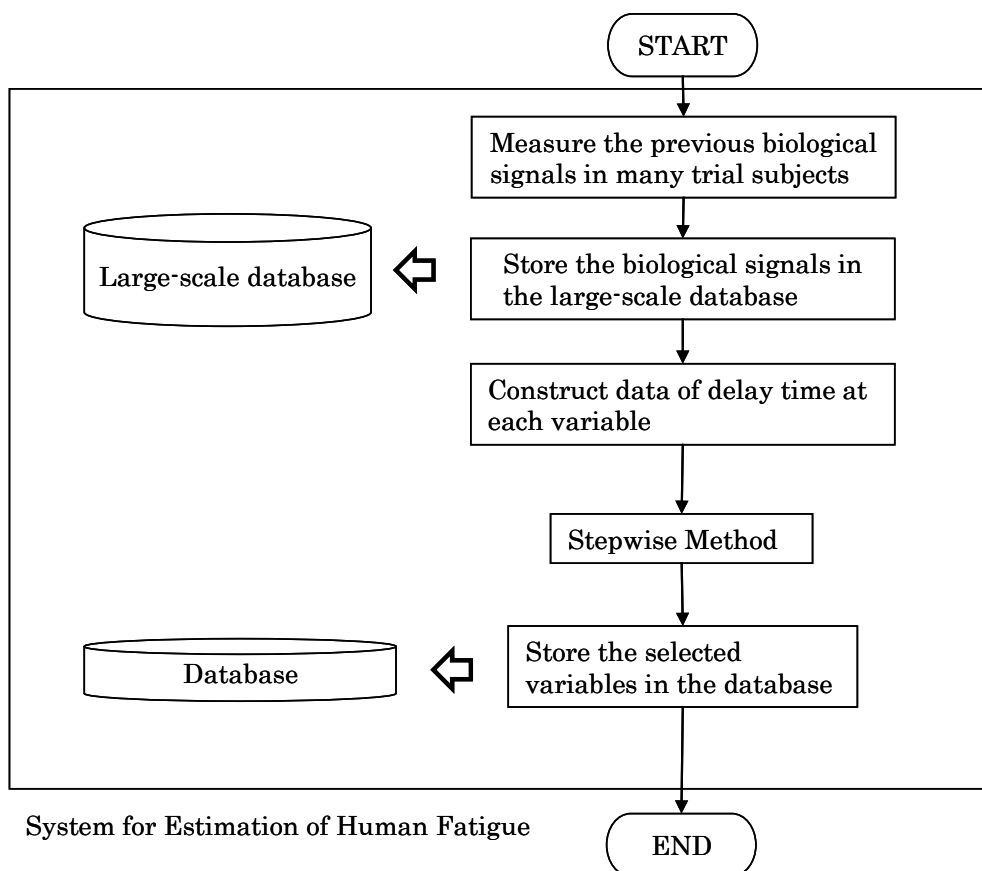


Fig. 6-3. Process flow of Database.

図 6-3 データベース作成手順

[B] 「疲労度」の推定手順

- 1) 画像診断作業時に得られた生体データを変数ごとに時間を遅らせた変数を生成し、データベース作成時の「絞込み変数」と同じ変数を取得する。
- 2) 1)の中から要求点データと設定情報を取得する。
- 3) 要求点データの正規化と量子化を行う。
- 4) [A]で作成したデータベースより、要求点の近傍データを検索し、100 個の近傍データを取得する。
- 5) 得られた近傍データから局所モデルを構成する。
- 6) 局所モデルと要求点データから「疲労度」の推定値を求める。
- 7) 推定の都度、局所モデルは廃棄する。
- 8) 「疲労度」をリアルタイムに近い形でグラフに表示する。

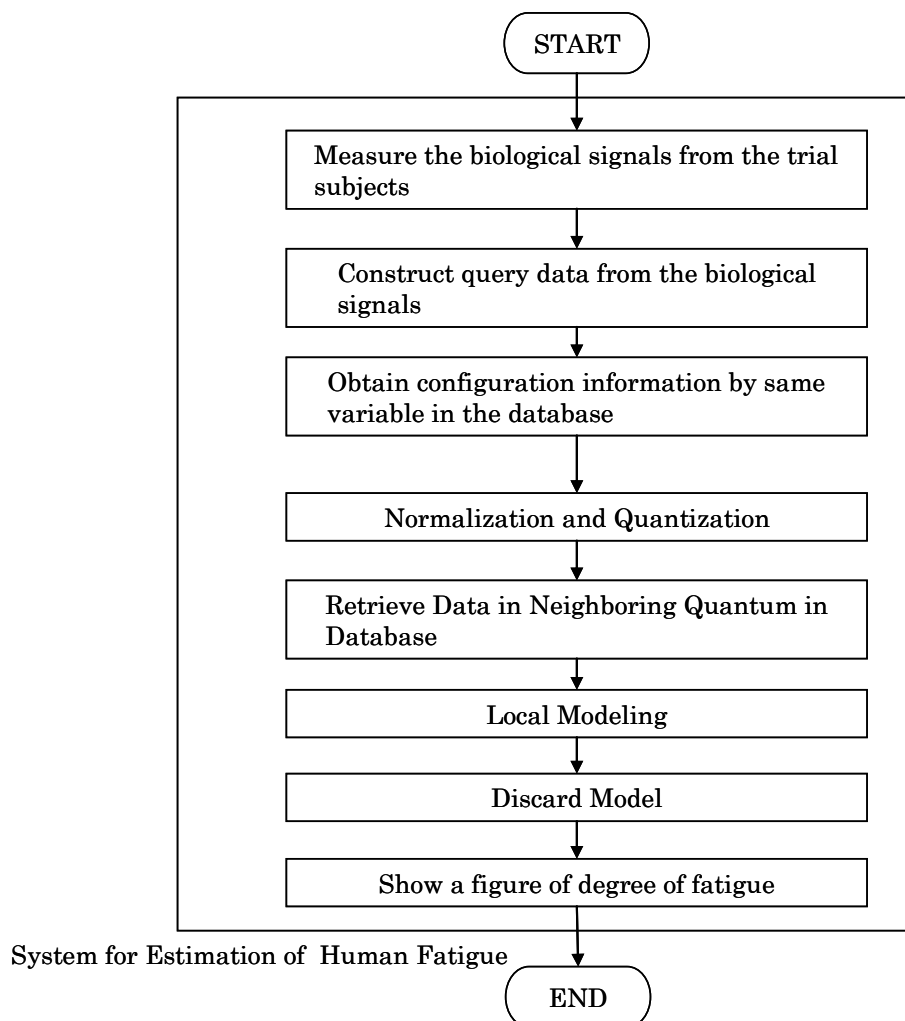


Fig. 6-4. Process flow of estimated degree of fatigue.

図 6-4. 「疲労度」の推定手順

## 6.4 実験方法

### 6.4.1 実験システム

実験システムを Fig.6-5 に示す. 測定部位は, 前額部および鼻尖部より皮膚温度計にて表面皮膚温度を, 胸部より心電図計にて心拍数を, 手掌部よりドップラー血流計にて手掌部皮膚血流量を, 呼吸数は, Poly Mate にて呼吸数を測定しパソコンに取り込んだ. DADisp を使用して, 前額部および鼻尖部の表面皮膚温度, 心拍数, 手掌部皮膚血流量, 呼吸数の 10 秒毎の時系列テキストデータを作成し, 「疲労度ソフトセンサ」に取り込み「疲労度」を表示させる.

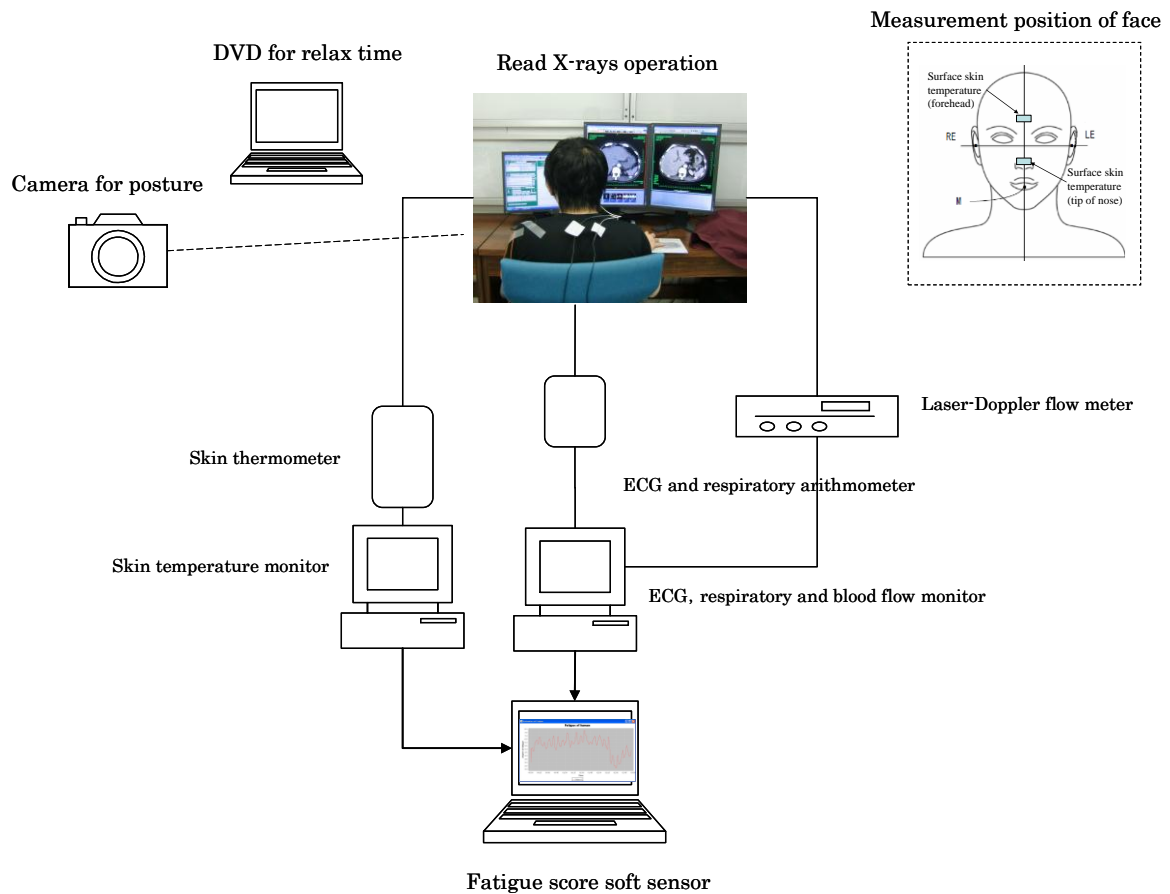


Fig. 6-5. Experimental systems and measurement position.

図 6-5 実験システム

#### 6.4.2 課題作業

課題作業は、被験者にある一定の精神的負荷をかけ続けることを目的として、画像診断作業を連続 120 分(疲労過程)行い、その後、60 分間のアニメーション(ドラえもん)を視聴させた(回復期)。回復期のアニメーション視聴は、被験者の拘束感を和らげ、一定の安静を保たせることを目的としており、情動反応の起こりにくい内容のアニメーションを選択した。

画像診断作業は、実験当日産業医科大学病院で撮影された患者の CT フィルムを診断する。病院のサーバーにアクセスできるパソコンを被験者の右側に 2 台設置し、ディスプレイ上に CT 結果を表示させた。被験者は、左側に設置したパソコンに診断結果を入力し、診断結果票を作成する。診断結果票を保存後、続けて同様な手順で次の患者の診断を行う。

#### 6.4.3 被験者と実験の概要

被験者は、13 名の放射線科医師の男女ボランティア(被験者 A~M)、平均年齢

32.2±5.1 歳(28～42 歳), コンピュータ使用経験の平均年数は, 8.8±7.9 年であった. VDT 作業実験および暗算作業実験と同様に被験者の選定に当たっては, ①20～30 歳代を中心に募集した, ②非喫煙者のみとし, 前日からアルコールおよびコーヒーは摂取せず, 十分な睡眠時間をとるように指示した, ③女性は, 生理周期による影響を少なくするために実験は生理日以外に行った. なお, 被験者には, informed consent を行い, 同意書を得た上で実験を実施した. 本研究の実施については, 産業医科大学倫理委員会の承認を得た(産業医科大学倫理委員会, 受付番号第 10-146 号, 平成 23 年 1 月 24 日承認).

実験当日に被験者の問診により, 体調に問題がないことを確認した後, 各種測定装置を装着後約 1 時間程度実験室の中で環境に慣れてもらい, 無負荷時の生体情報の値を得るために 10 分間のデータ収集を行った後, 診断作業を開始した.

実験の流れを Fig. 6-6 に示す. 1 日に 1 セッション(120 分間の診断作業と 60 分間の回復期)を 1 回行い, 曜日と時間帯は, 水曜日もしくは木曜日の午後に統一した.

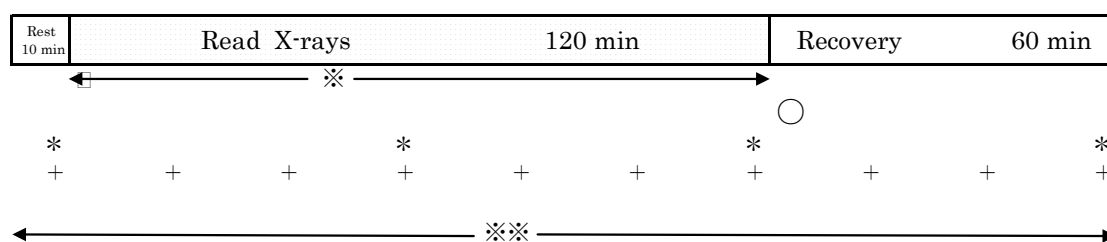


Fig. 6-6. Experimental procedure of fatigue during read X-rays operation.  
 ※:the number of X-ray films read, ○:NASA-TLX, \*:subjective feelings of fatigue (Working Group for Occupational Fatigue, Japanese Society of Occupational Health), +: fatigue score (10-point rating scale), \*\*:surface skin temperature (forehead and tip of nose) , heart rate, skin blood flow and respiratory rate.

図 6-6 実験の流れ

#### 6.4.4 評価指標(作業成績, 主観的指標, 生体信号)

評価指標として下記の項目を選択し測定した.

- ・作業パフォーマンス

読影した1分当たりの X 線フィルム枚数を用いた.

- ・主観的指標

画像診断作業の作業負荷の主観的指標としてアメリカ航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration: NASA)で開発した NASA-TLX を使用し, 診断作業終了直後に記入させた[6]. NASA-TLX は, 三宅らが提案した

Adaptive weighted workload (AWWL)得点が高いと作業負荷が高いと感じていることを示す評価を用いた[7].

日本産業衛生学会産業疲労研究会(Working Group for Occupational Fatigue, Japanese Society of Occupational Health:JSOH)作成の「自覚症しらべ」[8]を実験開始前、診断作業 60 分後、診断作業 120 分後(診断作業終了)、回復後に記入させた。「自覚症しらべ」は、25 項目の質問に 5 段階で回答し、作業による疲労を評価するもので、合計スコアが高ければ、疲労感が強いことを意味している。

「疲労感の変化」は、20 分ごとに実験介助者が被験者に疲労感を聞き 0~9 の数字で答えさせ記録した。これは、0 を疲労感無し、9 を作業が続けられないほどの疲労感としたものである。診断作業中に一瞬で判断できるように 10 段階に区分し、言葉は付帯しなかった。

#### ・生理・心理的指標(生体信号)

測定する生体信号は、第 5 章の「大規模データベースオンラインモデリングによる疲労度の推定」と同項目とし、前額部および鼻尖部の表面皮膚温度、心拍数、手掌部皮膚血流量、呼吸数の 5 項目を測定した[9-10].

前額部の表面皮膚温度は、恒常性の異常としての体内温度の変化を反映する。中枢の活動の指標として測定した[11].

鼻尖部の表面皮膚温度は、交感神経性血管収縮を反映する。情動ストレスによる心理状態に影響を受け、不快状態では、交感神経の作用により血流量が減少し、温度が低下する[12-13].

前額部および鼻尖部の表面皮膚温度は、接触式の熱電対を使用した皮膚温度計(温度ロガーLT-8 シリーズ, グラム株式会社)を使用し、2 秒ごとに測定した皮膚温度の 10 秒ごとの平均値を求めた。

心拍数は、交感神経および副交感神経の活動を反映する[14]. 情動反応や緊張感などに起因する精神性ストレスの指標として ECG monitor (model Bioview 1000 PB1402, NEC, Tokyo)を使用し、心拍数は、心電図の R 波から求めた。

手掌部皮膚血流量は、交感神経性血管収縮を反映し、情動ストレスによる心理状態に影響を受ける[15]. 手掌部皮膚血流量は、レーザードップラー血流計(Laser Flowmeter LBF-, Biomedical Science CO. LTD)を使用し、サンプリングレートを 500 Hz として 10 秒間の血流量の平均値を算出し、それを 10 秒ごとの血流量とした。

呼吸数は、心理的状态を反映する[16]. 呼吸数は、Poly Mate AP1000 を使用し、10 秒ごとの全呼吸数を算出した。



### 6.4.5 実験環境

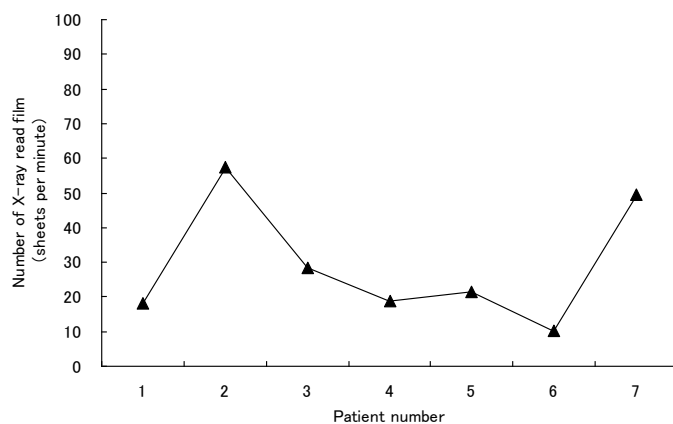
室温が制御でき、騒音などが遮断できる放射線部 MR 棟画像診断室内を使用し、一定の実験環境を保持した条件下で行った。室温は  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$  であった。

## 6.5 実験結果

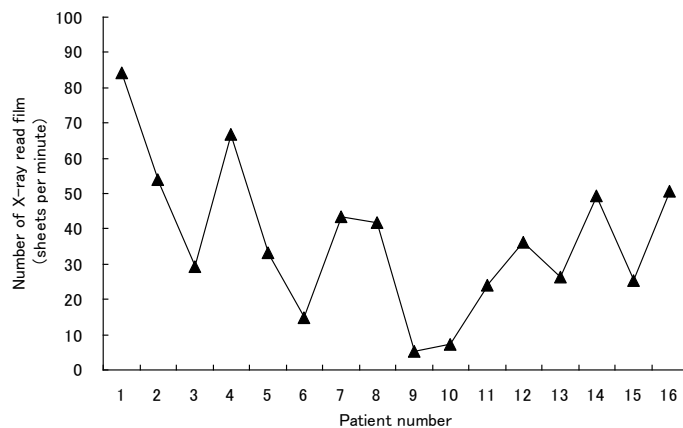
### 6.5.1 診断フィルム枚数

診断した1分当たりの X 線フィルム枚数の代表例として、被験者 A, B, C の結果を Fig. 6-7 に示す。Fig. 6-7 より、1分当たりの X 線フィルム枚数は一定ではない。患者ごとの撮影フィルム枚数と疾患の重症度が違うため、診断の難易度に差があり、診断に使用した X 線フィルム枚数では被験者の疲労度を表すことができなかった。

A



B



C

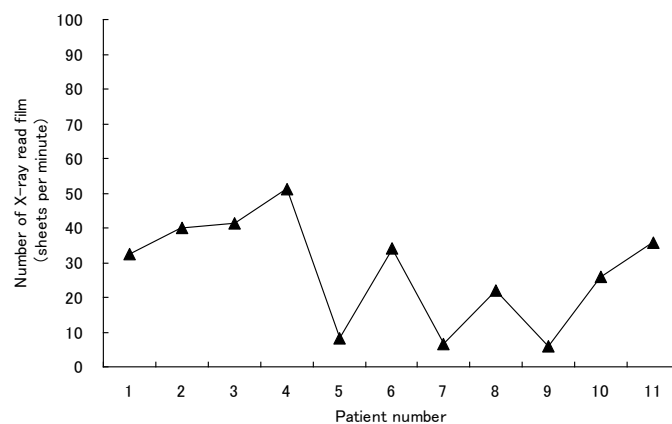


Fig. 6-7. Number of X-ray films read (sheets per minute).

The horizontal axis is patient number. A, B, C: subjects' code.

図 6-7 1分間当たりの診断 X 線フィルム枚数

### 6.5.2 NASA-TLX, 自覚症しらべ, 疲労感の変化

被験者ごとの主観的作業負荷の指標 NASA-TLX (AWWL 得点) を得点の高い順に Fig. 6-8 に示す. NASA-TLX は, 三宅らが提案した AWWL 得点が高いと作業負荷が高いと感じていることを示す評価を用いた. AWWL 得点は, 最高値が 100 であり, 50 point 以上を示すと作業負荷が高いと判断する[7]. 被験者 13 名の内, 10 名は AWWL 得点が 50 point 以上であり, 作業負担が高いと感じていた. 被験者 H, L, M の point は, 50 point 以下であり, 作業負担を強く感じていなかった. 本実験に用いた画像診断作業に関しては, 作業負荷がある程度高いと判断した.

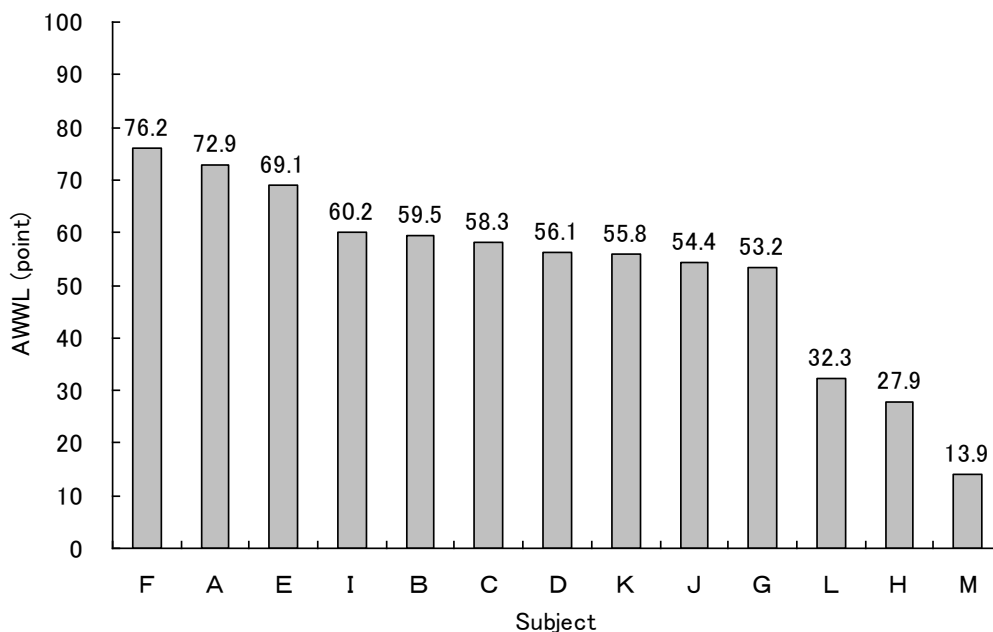


Fig. 6-8. AWWL of NASA-Task Load-Index for each subject.

図 6-8 被験者ごとの NASA-TLX(AWWL 得点)

各被験者の作業直前、診断作業 60 分後、診断作業 120 分後(診断作業終了)、回復後における「自覚症しらべ」の各被験者の合計スコアを Fig. 6-9 に、合計スコアの平均を Fig. 6-10 に示す。

Fig. 6-9 より、合計スコアが実験開始前より画像診断作業 60 分後に増加した実験は、被験者 A, B, C, D, F, G, H, J, M の 9 名であった。合計スコアが画像診断作業 60 分後より画像診断作業 120 分後に増加した実験は、被験者 A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, M の 11 名であった。合計スコアが画像診断作業 120 分後より回復 60 分後に減少した実験は、被験者 A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, M の 11 名であった。すなわち、被験者 A, B, C, D, F, G, J, M の 8 名は、課題作業後に疲労感が順次増大し、回復期後は疲労感が減少した。

Fig. 6-10 より、作業が進むにつれて、疲労感は増加し回復期は減少した。特に診断作業開始 60 分から 120 分にかけて増加し、回復後は作業診断前の疲労感に戻った。

以上より、画像診断作業は、疲労感が出現した。

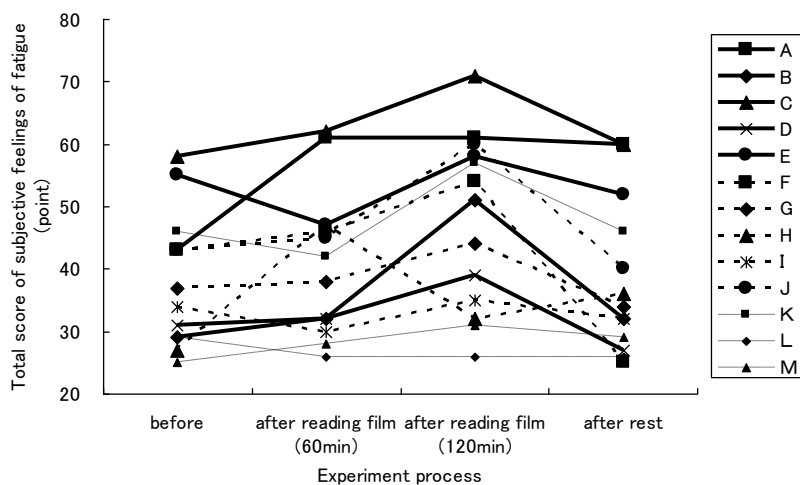


Fig. 6-9. Total score of subjective feelings of fatigue according to the Japanese Society of Occupational Health (JSOH) in process of experiment for each experiment.

-■-: subject A, -◆-: subject B, -▲-: subject C, -×-: subject D,  
 -●-: subject E, --■--: subject F, --◆--: subject G, --▲--: subject H,  
 --×--: subject I, --●--: subject J. ----■----: subject K, ----◆----: subject L,  
 ----▲----: subject M.

図 6-9 実験経過における「自覚症しらべ」の各被験者の合計スコア

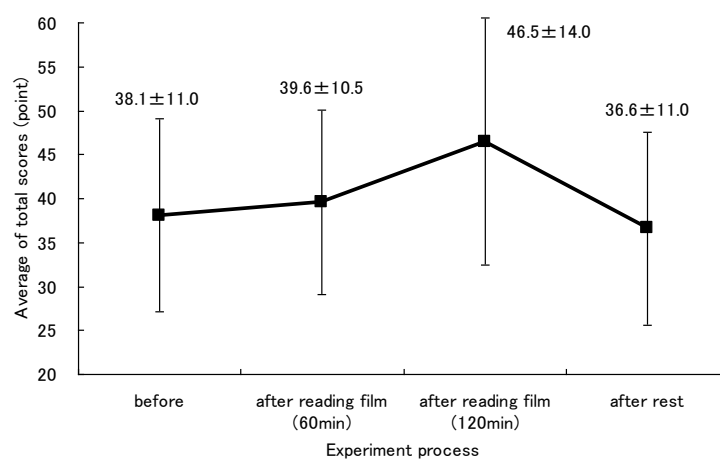


Fig. 6-10. Average of total score and Standard deviation of subjective feelings of fatigue according to the Japanese Society of Occupational Health (JSOH) in process of experiment.

図 6-10 実験経過における「自覚症しらべ」の被験者全員の合計スコアの平均値と標準偏差

画像診断作業中および回復における被験者別疲労感の変化結果を Fig. 6-11 に示す。作業直前の「疲労感の変化」の得点は、被験者によってばらつきが見られた。画像診断作業開始後の疲労感の得点は、被験者 H を除いた 12 名とも時間が経過するに従って徐々に増加した。回復開始 20 分後の疲労感の得点は、被験者全員が減少した。

画像診断作業中および回復における「疲労感の変化」の被験者全員の平均値と標準偏差結果を Fig. 6-12 に示す。作業直前の「疲労感の変化」の平均得点は、 $1.8 \pm 1.6$  であったが、画像診断作業を開始すると徐々に増加し、120 分後の「疲労感の変化」の平均得点は、 $5.7 \pm 1.9$  であった。回復期になると、徐々に減少し、60 分後の疲労感の変化の平均得点は、 $2.5 \pm 2.1$  となった。

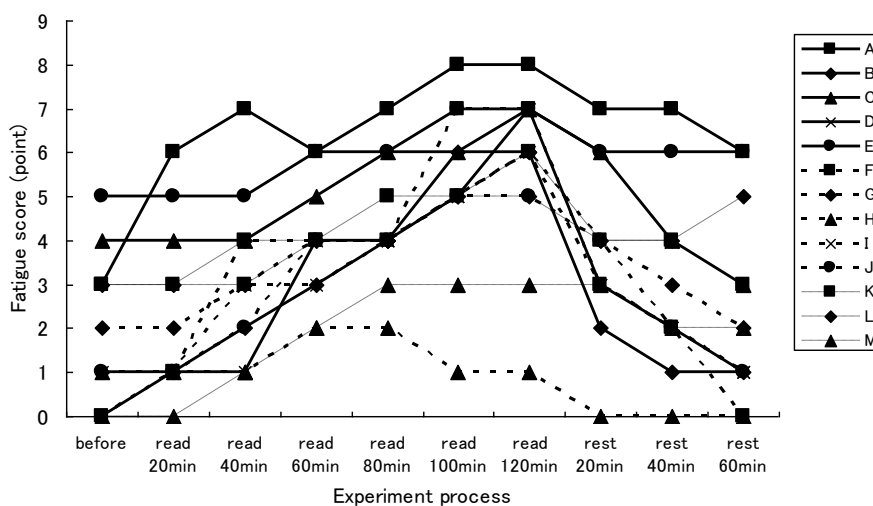


Fig. 6-11. Fatigue score (10 point rating scale) for each subject in progression of time.

I : first experiment, II : second experiment, III : third experiment, IV : fourth experiment, -■- : subject A, -◆- : subject B, -▲- : subject C, -×- : subject D, -●- : subject E, -■- : subject F, -◆- : subject G, -▲- : subject H, -×- : subject I, -●- : subject J, -■- : subject K, -◆- : subject L, -▲- : subject M.

図 6-11 被験者別「疲労感の変化」

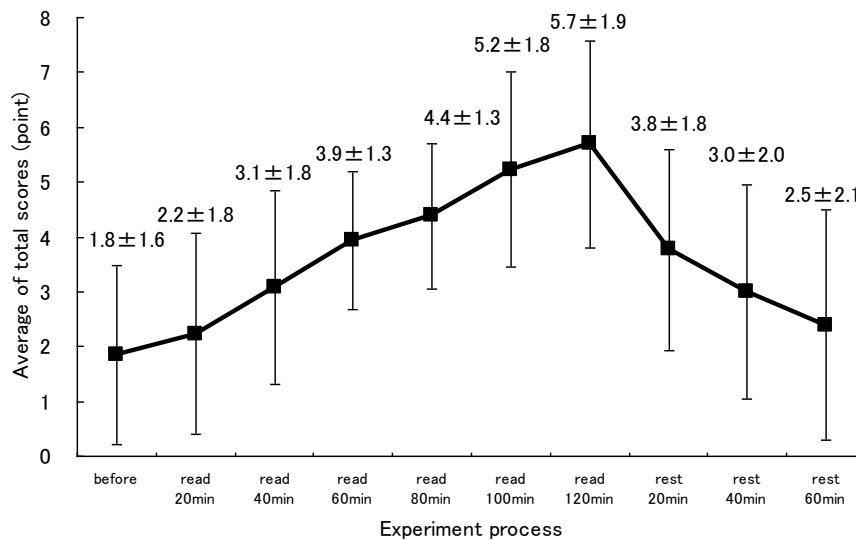


Fig. 6-12. Average of total score and Standard deviation of fatigue score (10 point rating scale) in progression of time.

図 6-12 実験経過における「疲労感の変化」の被験者全員の平均値と標準偏差

### 6.5.3 疲労度ソフトセンサによる「疲労度」の推定

データベースは、第 5 章で行った暗算作業実験データより取得した「生体信号」および「疲労度」とし、サンプリング間隔 10 秒、被験者 10 名の各 4 実験の無負荷の 10 分間のデータと暗算計算作業中 30 分間のデータ 40 分間と 40 実験でのロスタイムを合わせて合計 98530 秒分のデータで、データ点数は 9853 点であった。

1 実験において、3 回測定した「疲労感の変化」を 10 秒間隔の時系列データとするために線形補間し、安静時は「疲労感の変化」を 0 として移動平均を行った。移動平均の窓幅を 10 点とした。10 秒間隔の「疲労感の変化」の時系列データを作成した。本論文ではこの「疲労感の変化」を「疲労度 (Actual fatigue score)」とし、推定対象は、被験者の現在の「疲労度」とした。

まず、「生体信号」の平滑化処理を行った。採用する移動平均数は、最も原波形の傾向を示し、滑らかさを持ちつつかつノイズの少ない波形を示す移動平均個数を選定した。

つぎに、データの入力変数は、600 秒まで遅れさせた変数を含む 306 変数の中からステップワイズ法を用いて、「疲労感の変化」に対する寄与率(F 値)が 10 以上の 16 変数を選択した。サンプリング間隔は 10 秒であった。ステップワイズ法によって選択された変数を Table 6-1 に示す。

Table 6-1 Selected variables for physiological measurements by stepwise method for fatigue score interpolated linearly in every experiment.

表 6-1 ステップワイズ法によって選択された変数

No.	Content	Delay	F value
1	respiratory rate	before 600 seconds	1243
2	skin blood flow	before 360 seconds	265
3	pulse rate	before 10 seconds	182
4	temperature (forehead)	before 600 seconds	179
5	pulse rate	before 510 seconds	136
6	temperature (forehead)	present	108
7	temperature (tip of nose)	present	74
8	temperature (forehead)	before 10 seconds	65
9	respiratory rate	present	63
10	respiratory rate	before 10 seconds	63
11	respiratory rate	before 460 seconds	56
12	skin blood flow	before 40 seconds	33
13	pulse rate	before 270 seconds	33
14	temperature (tip of nose)	before 10 seconds	29
15	respiratory rate	before 250 seconds	13
16	temperature (tip of nose)	before 250 seconds	10

その結果、600 秒前・10 秒前・現在の前額部表面皮膚温度の 3 変数、250 秒前・10 秒前・現在の鼻尖部表面皮膚温度の 3 変数、510 秒前・270 秒前・10 秒前の脈拍数の 3 変数、360 秒前・40 秒前の手掌部皮膚温度の 2 変数、600 秒前・460 秒前・250 秒前・10 秒前・現在の呼吸数の 5 変数の合計 16 変数を選出した。16 変数で絞り込んだ変数群をデータベースに格納した。

つぎに「疲労度ソフトセンサ」にて「疲労度」を推定するために、被験者の放射線科医師対し 10 分間の無負荷の安静と連続 120 分間(疲労過程)の画像診断作業を行わせ、その後、60 分間のアニメーション視聴を(回復期)させた。その間、サンプリング間隔 10 秒で、前額部と鼻尖部の表面皮膚温度、心拍数、手掌部皮膚血流量および呼吸数の 5 項目の生体信号を測定した。合計 190 分間の 11400 秒分のデータ、データ点数は 1140 点であった。測定した 5 項目の生体信号を「疲労度ソフトセンサ」に入力し、「疲労度」を表示した。

「疲労度ソフトセンサ」で求めた合計 13 名の放射線科医師の推定結果の内、代表例として被験者 B, F, K, L の結果を Fig. 6-13 に示す。画像診断作業中の 120 分間の「疲労度」の実測値と推定値を示す。横軸は時間、縦軸は「疲労度」、実線は「疲労度」の推定値、赤い点は「疲労度」の実測値である。

Fig. 6-13 に示すように、「疲労度」の実測値に推定値が追従しており、被験者 B の「疲

「疲労度」の実測値と推定値の相関係数は、0.8483、被験者 F は 0.8840、被験者 K は 0.9501、被験者 L は 0.8709 であった。

「自覚症しらべ」と「疲労感の変化」で疲労感を示した 20 歳代の被験者 8 名の内、「疲労度」の実測値と推定値の相関係数が 0.8 以上は被験者 B, D, F, J, K, L の 6 名であった。その際、要求点データと過去の近傍データセットとの Similarity は小さかった。残りの 2 名の被験者 G と I の相関係数は、それぞれ 0.7303 と 0.6643 であった。そこで、被験者 G と I の「疲労度」の実測値と推定値の差の 2 乗の「推定誤差」と「データ距離」を比較したところ、「データ距離」(Similarity) が大きいところは、「推定誤差」も大きくなっていることを確認した。近傍データが少なかったと推察した。その他、「疲労度」の実測値と推定値の相関係数が 0.8 未満の被験者の内訳は、40 歳代の被験者 A, C, E の 3 名、20 歳代の内、NASA-TLX で作業負担感が低いと答えた被験者 H, M の 2 名、合計 5 名であった。

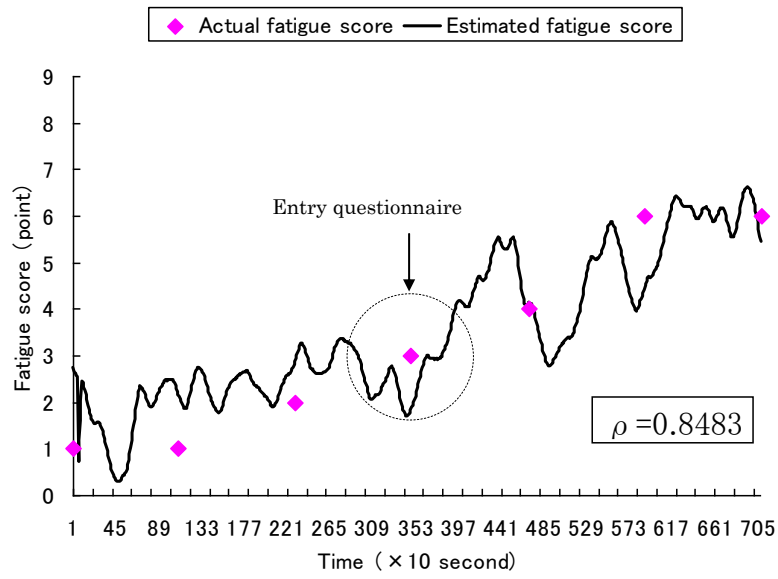
また、被験者 K と L は、作業後 60 分(横軸の値が 360 付近)に推定値が下がるが、問診票の自覚症しらべを記入していたためと推定した。

以上より、放射線科医師が 20 歳代で、問診票の「自覚症しらべ」と「疲労感の変化」で疲労感を示した 8 回の実験中 6 回(75.0%)は、「疲労度」の実測値と推定値の相関係数が 0.8 以上であり、要求点データと過去の近傍データセットとの Similarity も小さく、「疲労度」の推定が可能であった。

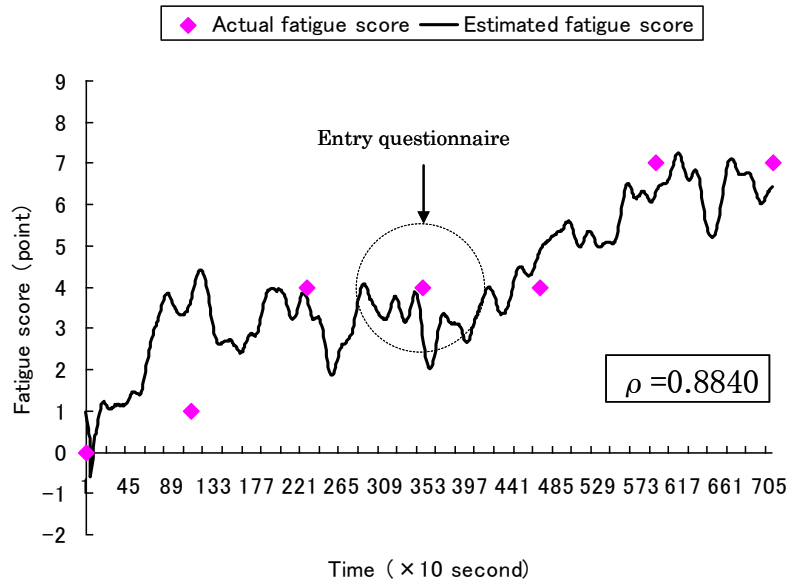
従って、今後データベースのサンプル数を増やし、男女別、年齢別のデータベースを作成すると「疲労度」の推定精度は、より向上すると思われる。



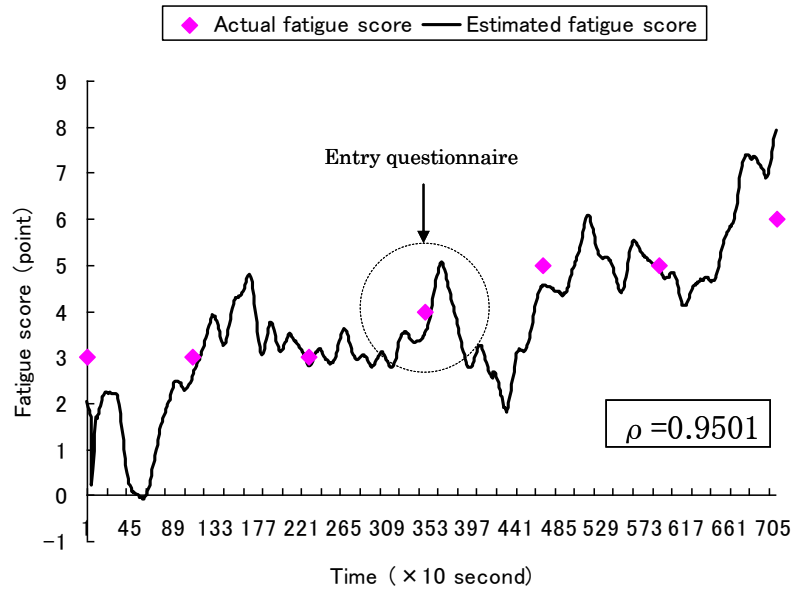
B



F



K



L

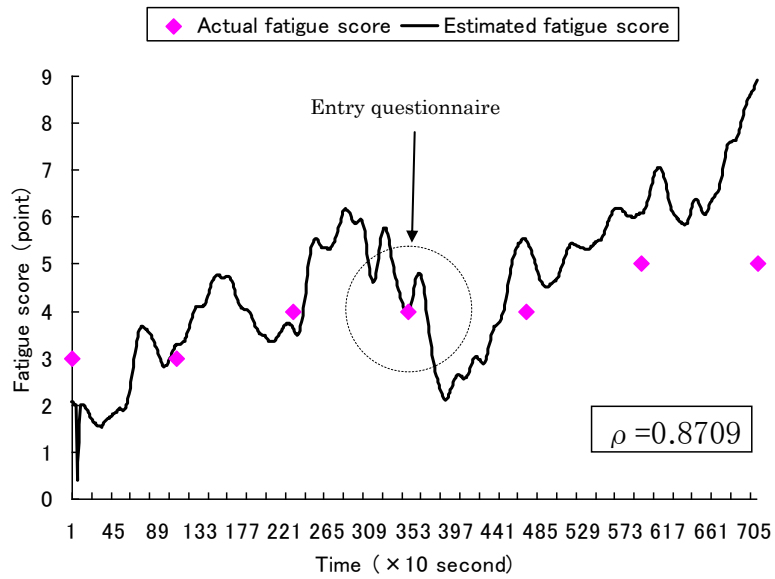


Fig.6-13. Score of estimate degree of fatigue by LOM and Actual feelings of fatigue in case of subject B, F, K and L at each 10 seconds.

図 6-13 疲労度の推定結果 (被験者 B, F, K, L)

## 6.6 まとめ

本章「疲労度ソフトセンサの開発」では、実用化に向けて、LOM による「疲労度」の推定手法を取り入れた「疲労度ソフトセンサ」を開発し、「疲労度」を確認した結果について述べた。

- 1) 第 5 章で作成したデータベースを「疲労度ソフトセンサ」に格納し LOM によるシステムを構成した。
- 2) 放射線科医師の画像診断作業時の生体信号から、要求点データと設定情報を取得し、要求点データに類似した近傍データセットをデータベースから検索し、「疲労度」をグラフに表示した。
- 3) データベースに存在する 20 歳代については、被験者の 75% で「疲労度」の推定が可能であった。「疲労度ソフトセンサ」の実用化の可能性がみられた。
- 4) 「疲労度ソフトセンサ」により「疲労度」を数値で表示したことにより、生体信号より「疲労度」推定の可能性を確認した。今後、データベースのサンプル数を増やし、男女別、年齢別のデータベースを作成すると、「疲労度」の推定精度はより向上すると思われる。

## 第 6 章参考文献

- [1] 加納学, “ソフトセンサーの運用・構築・保守”, 計測と制御, Vol. 47, No. 11, pp. 921–926, 2008.
- [2] 社団法人日本医学放射線学会, “モニタ診断業務における放射線科医師の負担と疲労対策,” <http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=829>, 2011.
- [3] Nakajima et al, “Radiologist supply and workload; international comparison, Working Group of Japanese College of Radiology”, RadiatMed, Vol. 26, pp. 455–465, 2008.
- [4] 中島康雄, 山田恵, 今村恵子, 小林和子, “諸外国における放射線科医師の実態調査, JCR ワーキンググループ報告”, 2007 JCR News, No. 161, pp. 1–2, 2007.
- [5] 厚生労働省労働基準局, “新しい「VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン」の策定について”, <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>, 厚生労働省通達, 2004.
- [6] 芳賀繁, “メンタルワークロードの理論と測定”, 日本出版サービス, pp. 77–81, 2001.

- [7] 三宅晋司, 神代雅晴, “メンタルワークロードの主観的評価法－NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案”, 人間工学, Vol. 29, No. 6, pp. 399－408, 1993.
- [8] 酒井一博, “日本産業衛生学会産業疲労研究会撰「自覚症しらべ」の改訂作業 2002”, 労働の科学, Vol. 57, No. 5, pp. 295－314, 2002.
- [9] 呉景龍, 塚本一義, “現代人間工学—知的システム設計の基礎と実践”, 森北出版, p. 35, 2002.
- [10] 呉景龍, 塚本一義, “現代人間工学—知的システム設計の基礎と実践”, 森北出版, p. 130, 2002.
- [11] 八谷百合子, 大貝晴俊, 岡崎浩子, 藤崎丈詞, 内田和彦, 織田進, 泉博之, 森晃爾, “軽い Time Pressure を与えた VDT 入力作業時の疲労の評価”, 産業保健人間工学研究, Vol. 9, No. 1, pp. 7－13, 2007.
- [12] 善住秀行, 野澤昭雄, 田中久弥, 井出英人, “鼻部皮膚温度変化による快－不快状態の推定”, 電気学会論文誌 C, Vol. 124, No. 1, pp. 213－214, 2004.
- [13] 内田和彦, 藤崎丈詞, 八谷百合子, 吉川里江, 織田進, 森晃爾, 大貝晴俊, “生体情報による Visual Display Terminals(VDT)作業時の疲労評価(第1報)－VDT 作業管理ソフトの使用経験－”, 産業医科大学雑誌, Vol. 26, No. 3, pp. 315－325, 2004.
- [14] 芳賀繁, “メンタルワークロードの理論と測定”, p.19, 日本出版サービス, 2001.
- [15] 山崎文夫, “暑熱ストレスと人の血圧調節”, 産業医科大学雑誌, Vol. 32, No. 4, pp. 329－340, 2010.
- [16] 高井秀明, “呼吸法を併用した心拍バイオフィードバックの心理・生理的变化について”, バイオフィードバック研究, Vol. 36, No. 1, pp. 6－75, 2009.