

運転状態推定技術の開発

- 心拍解析による眠気状態の検出 -

Development of a Driver's Condition Monitor

柳平 雅俊, 安土 光男

Masatoshi Yanagidaira, Mitsuo Yasushi

要 旨 運転者の心拍解析により, 眠気状態を推定する技術を開発した。これまでも居眠り運転を検出する技術が開発されてきている。しかし我々は, 居眠り運転の予防を目的として, 眠気を自覚する以前からの状態を推定することを考え, 心拍分析を用いた手法を検討した。そのためまず居眠り前後と運転中に眠気を感じているときの心拍について, 基本となるデータをとった。この結果, 心拍数とHFの連続的な変化をそれぞれ調べることにより, 運転中の眠気を推定することが可能と思われる。また, この研究をもとに開発した運転状態推定センサを本文中で紹介する。

Summary We developed a technology to detect driver's sleepiness by analyzing heartbeats. Several technologies for preventing drivers falling asleep at the wheel are developing. But our aim is not only to detect napping, but also to predict and prevent driver sleepiness. For research of the usefulness of this analysis, we examined the relation between sleepiness and changes of heartbeats. As a result of this, the detection of sleepiness is probable by evaluating decreases of heart rate and increases of HF, which is 'High Frequency' harmonic component of heart rate variability. We also introduce a trial device in this report.

キーワード : 安全, 予防安全, ヒューマンインタフェース, 眠気, 運転状態, 心拍, 心拍数, HF, 心拍ゆらぎ

1. まがき

運転者の心拍解析により, 眠気状態を推定する技術を開発した。

これまでも居眠り運転を検出する技術があった。たとえば, 画像センサによってまばたきの回数を算出する技術や, 車両のふらつきを判定する技術などである^{(1),(2)}。これらは居眠りが発生したことを判定し, 必要に応じて運転者に警

告するものである。よって居眠り運転による事故を回避するのに有効と思われる。

しかしわれわれは, 居眠りはもとよりその予測や予防技術まで提供したいと考えた。そのためには, 眠気を自覚する前からの変化をとらえる必要があり, その手法として心拍解析に着目した。心拍は姿勢や気温, 精神状態などによって変わるが⁽³⁾, 運転時は姿勢や周囲温度がほと

んど変わらないので、眠気等の精神状態が心拍を変える主な要因となる。運転者の心拍研究についてもすでに報告があるが^{(4),(5),(6),(7),(8)}、分析手法に関するものが多かったと思われる。そのため、居眠り前後や運転中に眠気を感じているときの心拍について、まず基本となるデータをとることにした。

心拍の変化をしらべた結果、居眠り前後では心拍数が連続して下がり、HF(注)が連続して上がった。運転中に強い眠気を感じているときには、居眠り前後のときと同様の傾向があり、HFは400秒以上連続して上がった。心拍数の低下量は居眠り前後に比べると低かった。また、運転中にそれほど強くない眠気を感じているときには、強い眠気があるときほどHFの連続した上昇はおこりにくく、心拍数の低下も連続していなかった。一方、HFが上がっているのに心拍数が下がらない場合もみられた。これは、運転者が危険を意識し、緊張を同時に感じている状態である。

これらより、心拍数とHFの連続的な変化をそれぞれ調べることにより、運転中の眠気の傾向、強い眠気、および緊張をともなう強い眠気を区別して推定することが可能と思われる。

最後に、この研究をもとに開発した運転状態推定センサを本稿で紹介する。

(注)HF(=High Frequency:心拍ゆらぎの高周波成分):心臓は自律神経系の調整バランスによって拍動する。拍動の時間間隔の変動成分が'心拍ゆらぎ'である。さらに、このゆらぎの特定の周波数(=0.15~0.4Hz)成分をHFという。HFは自律神経系のうち副交感神経活動を反映している^{(9),(10),(11)}。

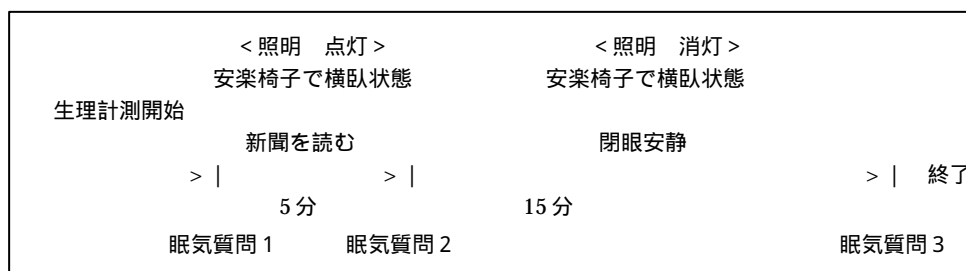


図1 居眠り時の心拍変化を調べる実験プロトコル

2. 実験方法

2.1 居眠り前後の心拍変化

居眠り時の心拍変化を調べる実験プロトコルを図1に示す。健常者5名(30歳~45歳男性)を対象に、それぞれ午後1時より屋内暗室で実験をおこなった。20分間のうち、開始後5分間は眠気がおこらないよう、暗室の照明をつけ新聞を読むよう指示した。それ以降は照明を消し、閉眼安静を指示した。また開始時、消灯時、終了時に、図2に示した眠気の評価尺度を用いて眠気について質問した。実験中は被験者の心電図を計測し、これより心拍数、HF、および呼吸数を分析した。実験風景の写真を図3に示す。

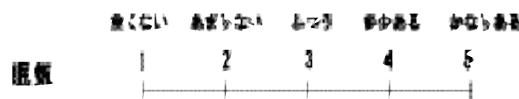


図2 眠気の主観評価の尺度



図3 屋内暗室における実験風景の写真

2.2 運転中に眠気を感じているときの心拍変化

図4に運転中の眠気を調べる実験プロトコル

を示す。健常者7名(30歳~45歳男性)を対象に、それぞれ午後1時より、オートマチックタイプの乗用車を用いて実験をおこなった。実験時間は約2時間であり、関越自動車道の鶴ヶ島IC~本庄児玉ICの間(約40km)を走行した。被験者には、左側車線を自然の流れにのった運転をするよう指示した。5分ごとに、図2に示した眠気の評価尺度を用いて眠気について質問した。実験中は、ハンドルセンサ(後述)より被験者の心電図を検出し、これより心拍数、HF、および呼吸数を分析した。

3. 結果

3.1 居眠り前後の心拍変化

各被験者の結果を図5に示す。全員が消灯後に眠り、うち4名は実験終了時まで熟睡した。

このとき心拍数は9~14拍下がり、HFは10~30ms上がった。残り1名(被験者O.S.)は途中で目を覚ました。開始時~消灯時および消灯時~終了時の間の、心拍数の変化を図6に、心拍数の変化と眠気との相関を図7に、HFの変化を図8に、HFの変化と眠気との相関を図9にそれぞれ示す。これらより、居眠り前後では心拍数が連続して下がり、HFは連続して上がることがわかった。

3.2 運転中に眠気を感じているときの心拍変化

各被験者の結果を図10に示す。また、被験者の主観的な眠気がふえたとき(図10のA~K.)の心拍数の変化を表1に示す。このとき心拍数が下がった(もしくは不変)率は約85%(=11÷13)であり、運転中に眠気を感じているときにも居眠

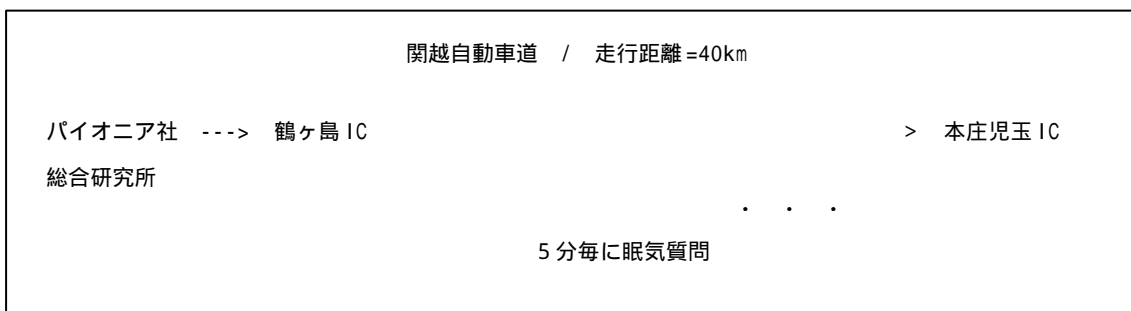
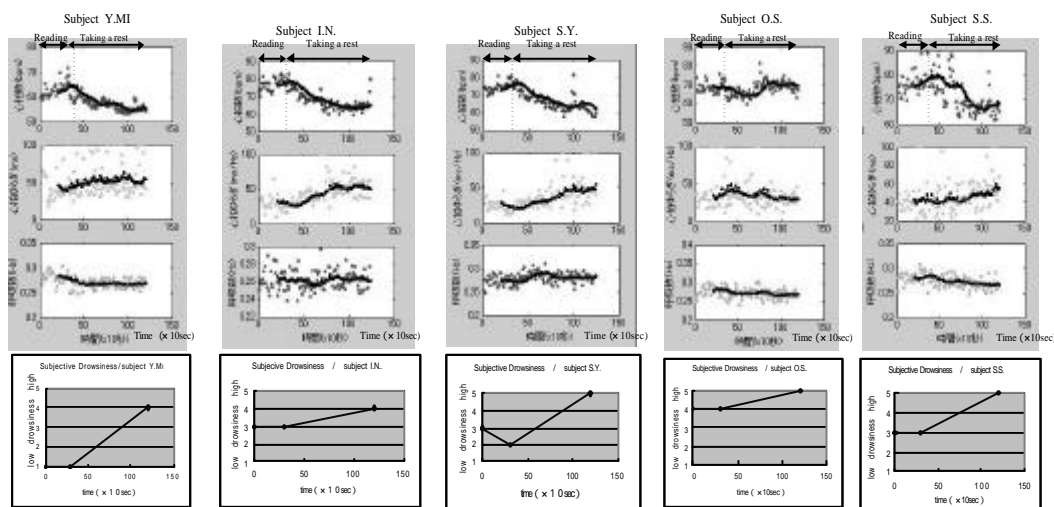


図4 運転中の眠気を調べる実験プロトコル



(上图) 心拍数, HF, 呼吸数の変化 (FIRフィルタの処理結果を合わせて示す)

(下图) 眠気の主観値の変化 (1: 全くない 5: かなりある)

図5 屋内暗室実験における各被験者の結果

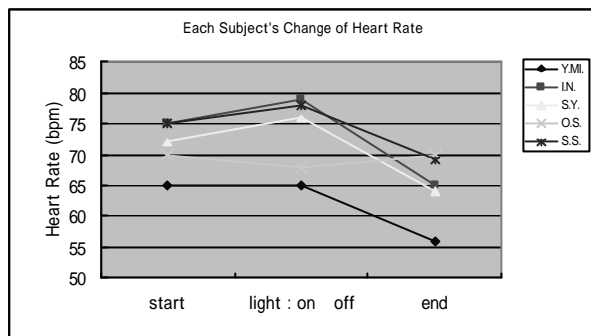


図 6 屋内暗室実験における被験者毎の心拍数の変化

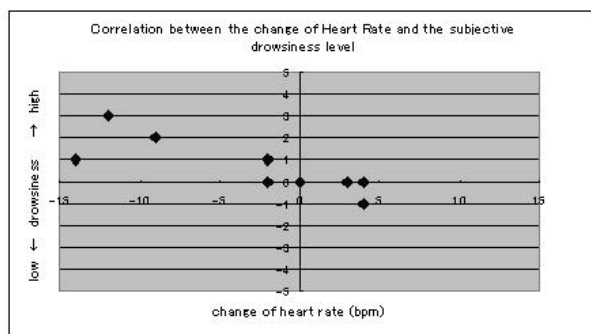


図 7 心拍数変化と眠気の主観値変化の相関

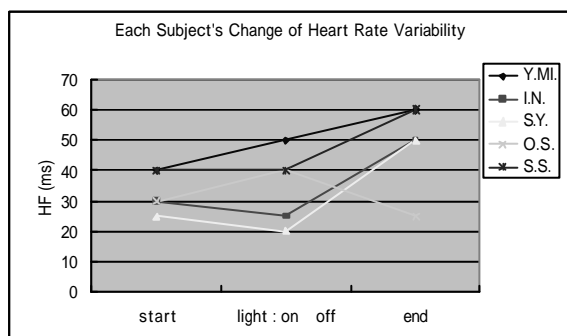


図 8 屋内暗室実験における被験者毎の HF の変化

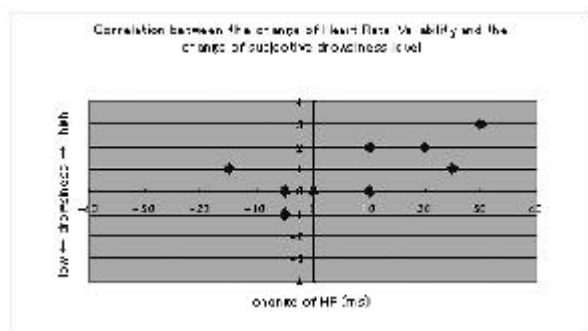


図 9 HF 変化と眠気の主観値変化の相関

表 1 眠気時における心拍数変化

(See Fig.10 on points)

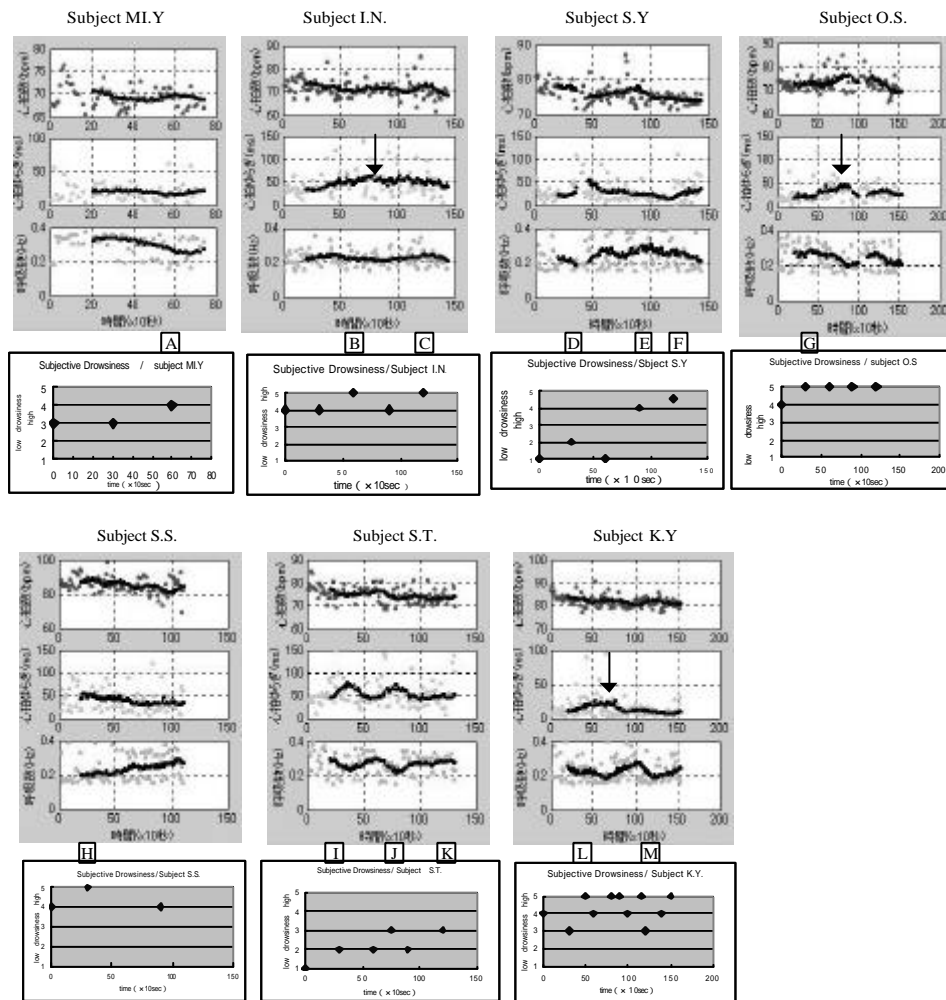
points	change of heart rate
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	
I	
J	
K	
L	
M	

り前後と同様に心拍数が下がることがわかった。低下量については、運転中に眠気を感じているときのほうが居眠り前後にくらべて2～8拍低かった(図11)。また、眠気が「5:かなりある」と答えた3名(I.N, O.S, K.Y)は、HFがいずれも400秒以上連続して上がった(表2)。

表 2 HF の上昇時間 .

(See Fig.10).

subject	rising time of HF (sec)
I.N.	550
O.S.	600
K.Y.	400



(上図) 心拍数, HF, 呼吸数の変化 (FIR フィルタの処理結果を合わせて示す)

(下図) 眠気の主観値の変化 (1: 全くない 5 : かなりある)

図 10 高速道路運転中における各被験者の結果

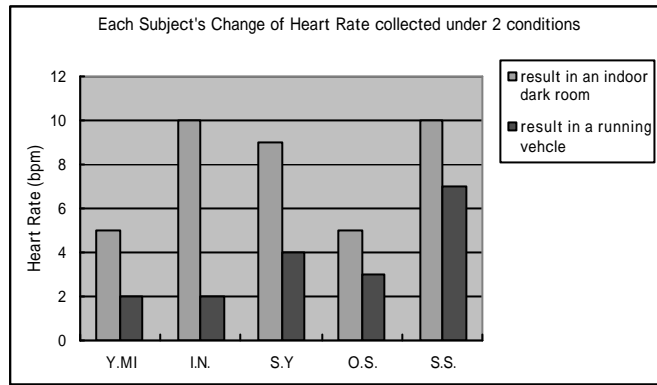


図 11 居眠り時と運転中に眠気を感じているときの心拍数の低下量のちがい

4. 考察

暗室でしらべた結果、心拍数の低下量と眠気量との間にあきらかな相関がみられたことから(図6)、心拍数の低下量に応じて眠気量を推定できると考えられる。

居眠り前後ではHFが連続して上がり、このとき心拍数は連続して下がる(図5)。運転中でも強い眠気を感じる時には同様の変化がおり、HFが400秒以上連続して上がる(表2)。またそれほど強くない眠気の場合は、HFの連続的な上昇はおこりにくく心拍数の低下も居眠り前後のときほど連続的でない。

ところで、心拍数を車のスピードと考えると、HFはブレーキに、これと逆の交感神経活動の作用はアクセルにたとえられる⁽⁹⁾。ブレーキがかかればスピードが下がるので、HFが上がれば心拍数が下がる。心拍数はHFの上昇時間と上昇回数によって下がり、この低下量に応じて眠気量が推定できる。しかし、ブレーキがかかってもスピードが下がらないときもある。これは、ブレーキと交互してアクセルがかかっているような状態である。このとき運転者は、緊張をともなう相当に強い眠気状況にあると考えられる。この状態は被験者O.Sの結果にみられた(図10)。

5. 結論

運転時には、眠気が心拍数を下げる主な要因となり、

(a) 心拍数の低下量に応じて眠気量を推定できる。

(b) このときHFが400秒以上連続して上昇していれば居眠りに近い、強い眠気がおこっていると推定できる。

(c) HFが連続して上昇しているにもかかわらず心拍数が下がらないときには、運転者は危険を意識し、強い眠気と同時に緊張を感じていると推定できる。

と結論した。

6. 運転状態推定センサの説明

本センサは、心電図送信側と受信側に分かれた構造をしている。そしてこれらは互いに無線接続している。

送信側は、心電図検出用の電極として作用するハンドルカバーと、心電図送信ユニットからなるハンドルセンサである(図12)。送信ユニットは、ハンドルに両手がふれているときに発生する電位差を、心電図信号の周波数帯域のフィルタをかけて増幅する。そして、この信号をRS232C形式のデジタル伝送信号に変換し、無線伝送する。

受信側は受信ユニットとPC、およびPC上で動作する運転状態推定プログラムからなる。受信ユニットは受信した信号を復調しPCに送る。

運転状態推定プログラムは、受信ユニットから送られてくる心電図信号から、R波とよばれる棘波を抽出し、心拍数、HF、および呼吸数

を算出する⁽¹²⁾。そして、これらより眠気レベルを推定する。このさいに、緊張や興奮等の反応と区別するために心拍数のしきい値を設け、これらの反応を除いている。最後に、心拍数の低下量に応じて、眠気レベルを0(=眠気なし)から6(=眠気最大)の間で判定する。また、HFが一定時間以上連続して上がった場合の推定を加えている。

なお、ハンドルの片手保持などにより信号が欠落した場合には、過去データによる補間とデータ値の推定を同時に行うことで、50%程度の片手運転でも問題なく動作するように信号処理している。

図13(a)に本センサによる推定出力と、そのときの主観的な眠気評価値(同図(b))を示す。これは3.2でおこなった走行実験の結果を、被

験者2名について示したものである。また、推定出力値、主観的な眠気評価値ともに縦軸の数値が大きいほど強い眠気があることを表している。これらより、眠気の推定が良好におこなわれたことがわかる。

7. まとめ

運転者の心拍解析より、心拍数とHFの連続的な変化をそれぞれ調べることにより、運転中の眠気を推定することが可能と考えられる。

今後は、より信頼性の高い眠気推定技術へ向上させたい。このためには個人差を十分に吟味しなければならず、分析手法の改善もさらに必要と思われる。またハンドルセンサ方式による心拍検出は、無意識のうちに検出できる点で望ましいが、片手運転中心の運転者には適してい



(a) 上部側



(b) 側面側

図12 ハンドルセンサの外観

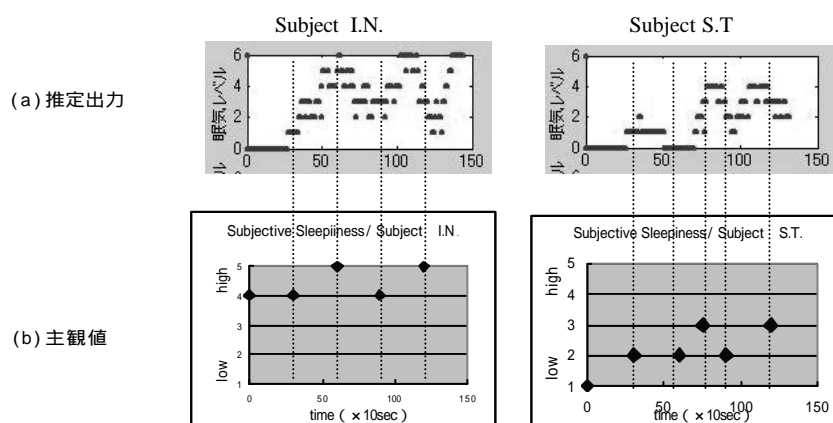


図13 被験者2名の眠気の推定出力と主観値

ない。よって片手運転中でも検出可能なセンサの開発が望まれる。

さらに、眠気推定以外にも緊張や疲労、焦燥等の推定も可能と思われる。将来のヒューマンインタフェースとして、生体情報と音楽やカーナビゲーション機能との融合による新しいサービスへの発展をめざしたい。

参 考 文 献

- (1) 自動車技術会：人間工学ベースの新技术，自動車の人間工学技術，東京，朝倉書店，1997，p.102-108
- (2) 杉山和彦，水野守倫，中野倫明：画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知，豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.3, No.2, p.51-60,1996
- (3) 宮田洋：新生理学，京都，北大路書房，1998，328p
- (4) 柳平雅俊，安土光男：運転状態推定技術の開発(第1報)，自動車技術会 学術講演会前刷集 No.56-03，自動車技術会，p.11-16,2003-5
- (5) 安土光男，柳平雅俊：運転状態推定技術の開発(第2報)，自動車技術会 学術講演会前刷集 No.56-03，自動車技術会，p.5-10,2003-5
- (6) 渥美文治：心拍計測によるドライバの意識状態評価，自動車技術会 学術講演会前刷集946，自動車技術会，p.133-136,1994-10
- (7) 水野康文：心電図 R-R 間隔による運転疲労評価法の研究，自動車技術会論文集，Vol.27, No.3,p.101-106,1996
- (8) 柳井辰美，筒井隆，山本泰秀，岸則政：生体情報を用いた車両運動性評価の一検討，11th Symposium on Human Interface, 京都，p.259-262,1995
- (9) 早野順一郎：心拍変動による自律神経機能解析，循環器疾患と自律神経機能，東京，医学書院，1996，p.58-88
- (10) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart Rate Variability, Circulation, Vol.93, No.5 p.1043-1065 (1996)
- (11) 早野順一郎：心拍変動による生体ストレスの状態評価と未来予測，ドライバ評価手法の現状と将来，東京，自動車技術会，p.1-11, 2001,
- (12) 柳平雅俊，安土光男：ドライバー状態検出装置の開発，パイオニア技報，Vol.11, No.1, p.67-72, 2001

筆 者

柳 平 雅 俊 (やなぎだいら まさとし)

- a. 総合研究所 モービルシステム研究部
- b. 1987 年 4 月
- c. 現在，総合研究所にて生体情報技術の研究に従事

安 土 光 男 (やすし みつお)

- a. 総合研究所 モービルシステム研究部
- b. 1981 年 4 月
- c. 現在，総合研究所にて生体情報技術の研究に従事