

自動車運転時の Human Engineering

—その反応動作と坐位に関する力学的考察—

藤 浦 鋭 夫

I 序

人体と作業環境についての関係は、人間の文化の発生以来当然考えられる問題であるが、殊に最近の機械の発達に伴って、この両者の関係は複雑になって来ている。而も、機械の能力の拡大に伴い、それによって人間の能力を代行させる範囲が広くなればなる程、人体の機能の微妙さは一層追求されねばならない。

最近 Ergonomics 或は又 Human Engineering という研究部門が発達して来た事は、結局人間と作業、人間と機械の関係を科学的に明確にし、行動或は操作の速度と確実性を高め人間の安全性と安易性を強めようとするに他ならない。然し人間の能力には精神労働のごとく容易にエネルギーの数量に置き替えられない場合もある。又学問の範囲に於ても心理学、生理学を始めとし、解剖学、物理学、数学など広い範囲の応用をまって始めて一つの計画が可能になる場合が多い。それらの2・3の数量的データを集め得ても尚不完全な場合が考えられ、又種々の理論によっても数量的表現に変えることが不可能なこともある。

この稿に於ては、自動車運転中の人間に関し、諸装置に対する動作及び姿勢を、人間対機械の効率の上から考察を加え、各氏によって述べられた論説や実験、測定を資料として比較検討を行いたいと思う。動作は人間の諸感覚器を通じ、中枢神経を経て筋運動という反応によって行われる。そして確実な反応運動と、これに関係する反応時間は、表現される運動能にとって基本的な要素であり、それによって発揮される力、速度、正確さは、正しい運転坐位の姿勢によってのみ得られるものと考えらる。

II 人間工学の形成とその坐位への発展

1 近代の産業は、機械の利用、労働の生理学的管理、実験心理学的な条件を改善することによって、生産を高め高能率な経営組織を作り上げたが、その場に於ける人間は、生産要素のみに考えられた結果、人間的要素に対する関心が払われず、技術的な組織だけが注目されて来た。ところが更に近代的経営の発展にもなつて、その内部に複雑な人間対機械系を、一つのシステムとして把握しようとする考え方が芽ばえて来た。つまり生産の中心になるも

のは人間関係の研究にあるとする立場である。この立場に於ける先駆者として上げなければならないのは Mayo, E. とその研究グループである。彼等の目標は、高度に発達した技術面と、人間生活に必要な社会的安定との矛盾対立を調整し、人間関係を経営面に参加させようとする考え方である。又一方の実験心理学に於ては、最初は人間や動物を使って感覚反応等の基本的研究を行っていたが、第2次大戦中アメリカで軍事的設計面に、これが参加した事から急速に発展し、現在の人間工学の基礎になる形態が出来上って来た。アメリカで先づ最初に人間工学という言葉が使われ始めたのは Johnson Oconnor であるとされている。彼は主として人間の適性測定の問題を取り扱ったが、今日のものより狭い範囲のものであったと解される。そして、人間工学研究所 (Human Engineering Laboratories) を設立したのが1922年であって、其の後約20年というものは我々は人間工学という名称は聞かなかった。然し日本に於ては、これより一年早く1921年に田中寛一氏によって「能率研究人間工学」が刊行された。しかしこの田中氏の人間工学は現在の人間工学とは少し違った意味で使用されている。つまり心理学的研究を基礎とし、人間の力を利用する原理を組立てるものであって、人間能率の増進、作業研究、疲労と回復等の問題を取り上げて、人間の力をいかに経済的に利用するかについての基礎研究である。尚田中氏は F. Taylor による科学的管理法 (scientific management) と氏自身による人間工学とは別のものであるとした事は注目されねばならない。科学的管理法は、作業の改善、機械器具其の他の改善、適材の選択等を主眼とし、最初から現場に直接応用することを目的としているのに対し、この人間工学は、人間力の働くことに関して種々の事実を設定し、その事実の法則原理を探究するのが主眼であって、現場への直接応用は二義的なものであるとした事である。主題から逸れるが、エルゴノミックス (Ergonomics) と人間工学 (Human Engineering) の定義づけに関して英誌 "Design" に掲載された J. chrestopher Jones は Ergonomics を“人間動作についての科学的研究”或は“人間とその行動環境との関係についての研究”というように一応定義づけている。又 Human Engineering については山口正城氏は“人間による操作に関連し、設計家が種々の装置を作るのに役立たせ、人間と機械の結合による色々な機能の向上に貢献することを目的とする研究である”としている。田中氏は実際面への利用は必ずしも人間工学に関する研究の完成を待つ必要はなく、人間力の能率を増進する方法があるならば直ちに利用してもよいと言っている。この事は、F. W. Taylor の実際の作業についての作業法、動作法の研究は、どちらかと言えば現在の人間工学に近いものであったし、田中氏の人間工学は Ergonomics

の意味を持った応用に於けるその根拠に関する学問であったと言えよう。その他、実験心理学者 Alphonse Chapanis は1940年に直読式とダイヤル式との敵位置表示器の読取速度の比較実験の結果を発表しているし、Paul M. Fitts は飛行士の操縦エラーの因子についての研究を1947年にそれぞれ発表している。そしてこの実験心理学の分野と工学上の設計とを結びつけて、新しく工学心理学 (Engineering Psychology) と名づけられて発展している。

2 人間が物を投げ、或は持ち上げ、運んだりする時、筋肉はどんな動き方をするか、又骨格はどのようになっているか等のように、人間を生体として研究して行くことは古くから行われているが、解剖学、神経生理学、人体測定学等の中でも人間工学に直接関連する研究がある。未だ人間工学として体系づけられない前から、医学の一分野として個々の研究には注目される数々のものがある。その中でも我々の指標となるものにスエーデンの A°kerblom 氏がある。その著書 “Standing and Sittng Posture” に椅子のデザインにおいて満足すべき要件として、彼自身の研究と彼以前の研究者の意見を総合して、人体と執務椅子の関係について具体的な意見を述べている。又居住性と生活動作の dimension の問題について種々の実験データを発表した横山尊雄氏があり、同じく椅坐姿勢で静止状態と駆動中の姿勢の相違をはっきりさせた G. E. Cleaver がある。

3 人間が行動する際、その作業能率に大きな影響を与えられとされる4つの因子、つまり物理的環境、作業的環境、対人環境、作業能など、これらの因子を分析し管理して行く方法が現在では一般に採られているが、以前は人間工学の重要な構成要素としてではなく、単に衛生学から見ただけの作業環境であり、作業能であった。1922年に大阪衛生試験所の野村貞一氏の「日本人の体格とその作業能に関する研究」に於て、「我が国の男女労働者の操縦する器具、機械は、欧米のものをそのまま使用している。この様な事は労働能率の上から見ても好ましいことではない。」として日本人の体軀を考えないで、機械器具などをそのまま使用する愚を指摘している。この研究は後に作業姿勢、作業面高、椅子の研究へと発展して行ったが、この考え方では、現在人間工学として採り上げているものと目的は同じではあるが、ただ産業衛生学に於ける一つの研究分野での明確な目標、例えば機器の設計のためとして他の関連学科と同時に研究を進めて行くといった体制がとられていなかった事の相違が明らかに認められる。

4 以上の様に実験心理から工学心理、神経生理学、人体測定学、環境工学又は他の分野からそれぞれの立場に於て、或る一つの作業についての研究が進められている。特に人間の

坐位時の運動能については、前述の他に大島正光氏、渋谷達雄氏による「作業姿勢」の研究があり、又鉄道技術研究所による乗物に対する座席の乗心地についての研究がなされている。これは静的な椅子、坐姿ではなく電車、汽車、自動車等の乗物に於ける座席についての研究である。これらの実験研究の中には、単に実在に対する理論の裏付けにとどまらず、全く新しい発見と発想を窺うことが出来る。G. E. Cleaver 氏によれば、最もよい乗心地の座席デザインは機械工学の課題と共にいつまでも完成されないかもしれないとして、バイヤー達の誤解や、一般の人々の主観によって、心地よさという事が柔い事と同じ事であると考えている間は、自分自身で長い旅を苦しまねばならない。その後で初めてその事に疑問を持ち反省される時が来るだろうと言っている。又 A° kerblom 氏の理論に基づきその協同デザイナー達によって新しいフォルムの椅子が作られている。一般に理論や科学的データが提示されることによって、それを一般デザイナーに材料や構造上の制約を加えるものではなく、却って一つの規格、規準として次の段階に於ける新しいフォルムへの発展の源泉となる。それは又無意味で悪質な形の流行を市場から追放するだろうし、その規約によって造型感覚を無価値なものにする等の事は考えられない。

Ⅲ 疲 勞

人間の支持物としての座は原則的には立位の時の不安定をなくし、脚部にかかる疲労を少なくして動作の能率化を計り、又休息時にはそれ以上の疲労を与えないで、その回復を助けるという目的がある。疲労は、人間と外部環境によって人間の内部に起るものであるから、人間対環境の総合的な適不適が疲労度となって現われて来る。勿論この環境の中には筋性疲労だけでなく、精神疲労も含まれる。この筋性疲労の原因を、労働内容、作業方法、作業場の環境等の外部からのものとするならば、精神疲労は性格的、肉体的、精神的な内部からの原因と言うことが出来る。一般に筋作業の疲労は、エネルギーの消費量に応じて増減するが、この例外も多い。例えば物を支えている場合はエネルギーの消費は比較的少ないが、疲労は大きく現れる。このエネルギーの消費量は酸素消費量の値に置き換えられ、酸素の消費量を測ることによって、労働強度を表すエネルギー代謝率 (Relative Metabolic Rate 略して RMR) を算出することが出来る。

$$RMR = \frac{(\text{作業時消費エネルギー}) - (\text{安静時消費エネルギー})}{\text{基礎代謝}} = \frac{\text{労働代謝量}}{\text{基礎代謝量}}$$

(基礎代謝量は被験者の身長と体重とによって体表面積を求めさらに図表によってその値を求める)

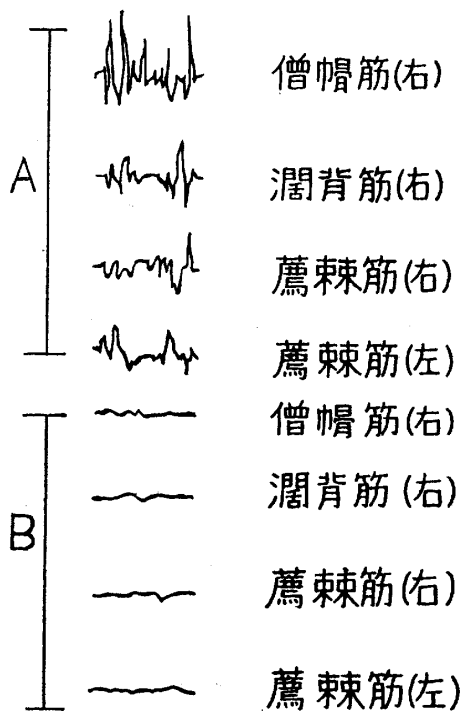


図1 椅坐位の背部筋肉の活動
(A. Lundervold)

て来て、間もなくある程度の姿勢の変化を余儀なくさせる。何故なら絶対的な筋肉の弛緩というものがあり得ないからであろう。坐位時さまざまな姿勢の変化で体の一部にかかる体圧を分散させるように努力した結果、最後に片方の膝をもう一方の足に乗せる。つまり足を組む姿勢を発見して落ち着いた気分になる時があるが、実はこの姿勢は他のどの姿勢よりも疲労の少ない姿勢ではない筈である。又自動車、スクーターを長時間運転する際、許せるだけの姿勢をとった最後に足のやり場がなくなって困惑することを経験する。G. E. Cleaver 氏は若し適当な楽な姿勢がとられているならば、総ての関節の構成成分つまり骨格、筋肉、靭帯などは、それらの伸展と屈曲の限界内にほどよく納っている筈であって、正しい運転姿勢に於てすべての関節は、殆どが関節運動の限界の中間に位置すると言っている。

我々が車を運転する際、総ての筋肉の弛緩は考えられないが、出来るだけ多くの緊張は避けた方が理想的であろう。この運転姿勢は近代生活の中で人々によく採られる形の中の一つであるが、それぞれの目的に従ってその座は決定される。而も特殊な精神状態をも考慮に入れる必要がある。これを運転の座について言えば、危険な瞬間に於て直ちになすべき動作に移れるものでなければならぬという事である。然しこの事は我々にとって乗心地のよい筈

椅坐姿勢で上体を真直に保っている時と、休息のため楽な姿勢をとる時を比較して見ると、背部にかかる筋の負荷は両者非常に異っている。図1は A. Lundervold の背部筋肉の活動を筋電図で示し、Aは正坐した時、Bは楽な姿勢をとった時のものである。即ちAの直立坐位時の各筋のフレは筋活動の活動電流によるものであるから、肉眼では見えないが、筋の収縮が行われていることになり疲労の原因となる。又背凭れのない座に安定した姿勢を保つことや、座面の高いもの或は背凭れの傾斜角度の不適なもの で不自然な姿勢で長時間体を保たねばならない時等もこれと同じ結果が出るだろう。そのみならず若し適当な座が与えられたとしても、長時間一定の姿勢を保つ場合やはり筋肉は疲労して

であるべき座ではあるが、常に危険な状態を考えなければならない運転手にとっては逆に不愉快なものとなる。そして、そこに於ける疲労は精神的と肉体的の両方からとて大きなものになるだろう。

IV 運転操作に於ける反応特性

1 我々が自動車を運転する時の一連の動作を個々に区切って考えて見ると、1) 足をブレーキ・ペダルの上に持って行く動作。2) そのペダルに或る圧力をかけて作動させる。3) 或る期間足をペダルの上に静置するように、或る一つの動作を幾つかの基本的要素に分けて考える事が出来る。人間対機械の効率を、その運動反応に要する力や速度、その正確度とこれに要する時間等の関係によって高めようとする方法がある。Brown と Jenkins 氏によると運動反応の種類を次の五つの型に分けている。1) 静置動作 (static adjustment) 身体の一部をある期間一定の位置に保とうとする動作というより筋活動である。2) 位置的動作 (positioning movement) 身体の一部をある位置から空間内の他の特定の位置へ移動させる運動をいう。3) 反復動作 (repetitive movement) 同じ動作の繰返し運動である。4) 連続動作 (continuous movement) 刺激条件に対して絶えず変化して行く連続した反応運動をいう。5) 系列動作 (serial movement) 多数の動作が組合わされて、それが本質的に同じ動作性質を持っていると見なされるもの、以上の五つである。以上の五つは単独で行われることは殆どなく、実際には組合わされて一つの運動能として表現される。一般に人間対機械相互の動作を3段階に分けることが出来る。最初色々な感覚器官を通じて刺激を受けそれが人間に対する入力となり、次にその刺激は中枢神経を経て何らかの決定がなされ、最後に必要個所の筋肉に伝達されて反応運動が起る。その時の反応時間 (reaction time) は、種々の条件に従って変化が起る。この反応時間とは、刺激を受けてから、あらかじめ定められた反応を行うまでに要する時間を言うが、一つの刺激に対して一つの反応を行う単純反応と、その反応に先立って刺激を弁別し又は撰択して後、反応運動にうつる複合反応とある。勿論後者では反応に要する時間は長くかかる。又あらかじめ刺激を予期している場合と、不意に刺激を受ける場合とでは、反応に要する時間は違って来るであろうし、たとえ予期していても交通信号の赤から青に変る視覚刺激を待っている運転手の場合と、スタートラインについている走者の反応時間は同一視出来ない要素を持っている。前者は感覚反応であって、時間は長くかかるが正確であり、後者は筋による反応が主となる為、反応時間は短い、間違っ

た刺激に対しても、反応を起しやすい状態になっている。

ここに時速60kmで走っている車があるとする。或る刺激を受けてから、それを制御するために動作にうつる時間は、青年男子で光の刺激に対して約0.5秒を必要とする。次にアクセルを離してブレーキ、ペダルの上に足を乗せるまでの時間は0.4秒、足をペダルの上に乗せてから踏み始めるまで0.2秒、ブレーキには若干の遊びがあるから、それが作動し始めるまで約0.18秒、結局光の刺激を受けてからブレーキが作動し始めるまでに時間は約1.28秒要することになる。その間に車は21mも空走する。又ブレーキが作動し始めてから車が完全に停止するまでの制限距離は、車輛保安基準に定められているが、結局反応時間とブレーキの機械的抵抗とによって、車は初速60kmの時完全に静止の状態になるまでに40m以上の距離

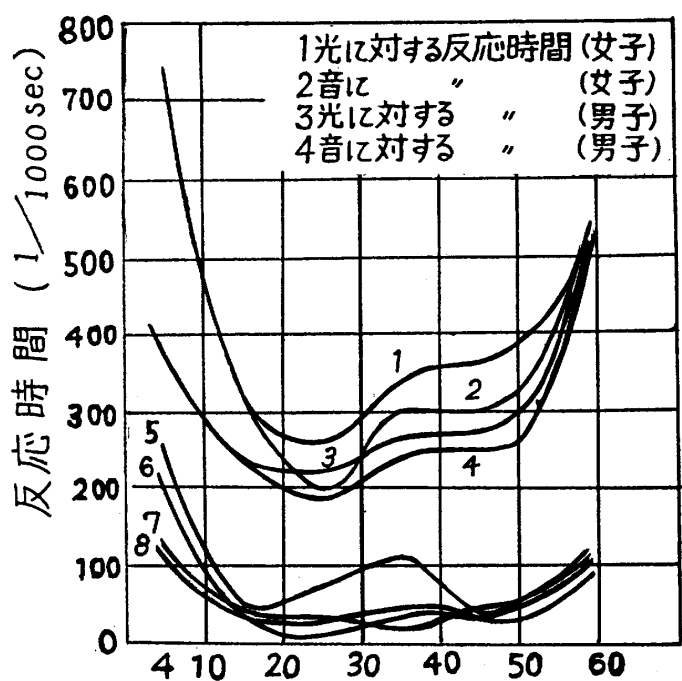


表1 (Wesley E. Woodson)

を走らねばならない。これは運転手の正常な場合であるが、疲労がそれに加わると反応時間は長くなり、危険度は急に増加する。表1は年齢と性、刺激の種類によって反応時間の異なる事を示している。反応時間に関する刺激の因子として次のようなものがあげられよう。

(1) 刺激の種類 表1に於てもわかる様に、耳から入った音による刺激の反応時間は、目から入った視覚による刺激のそれより短いことがわかる。

B. Baxter (1942) は次のよ

うに音による刺激と、光による刺激とを分けて実験をしている。指を一本キイの上の

せて刺激が与えられたら離す。指を2本用いる場合は、2つの刺激を弁別して該当する

指を離す。指を3本用いる場合は3つの刺激から1つを選んで該当する指を離す。その

結果単純反応では、聴覚による反応時間は視覚によるそれより0.0416秒短く、それと複

雑反応の平均値とに於ては0.1272秒の差があることがわかった。

応時間は短くなる。然しある限度以上では反応時間は変わらない。

- (3) 訓練 単純な反応は訓練によって10%程反応時間を短縮することが出来る。
- (4) 準備 前以て用意の信号を出すことによって反応時間は短くなる。
- (5) 運動部分 左ききと右ききでは反応時間が異なる。右ききでは右手や右足の反応時間は左のそれより一般に短い。
- (6) 時刻 反応時の時刻によっても反応時間に変化が見られる。
- (7) 年令, 性別, 疲労, 気象条件等によっても反応時間は変化する。

以上の様に反応時間に影響を与える因子を採り上げることが出来る。又2種類, 3種類の刺激を同時に与えた場合は, 一般に反応時間は減少すると考えられている。

2 運転中運転手は休む暇なく前方を注視し, アクセルを踏み, ハンドルを廻し, 時には反射鏡によって後続車に注意し, 計器を読み時には減光スイッチや方向指示器を作動させる。其の場合運転手は操作箇所を目で確認して後行動に移る場合もあり, 前方の進行方向を注視しながらスイッチを廻し, 変速装置の把手を握る場合もある。前者を視覚位置的動作と呼び, 後者を盲目位置的動作と呼んでいる。先づ視覚位置的動作では, 手の運動時間と手を動かすべき距離の関係は必ずしも比例していないということ。言い換えるなら動かす距離が長くなっても, その割には時間は多くかからないということである。つまり反応時間はその距離に関係なく一定であるし, 距離が大きくなれば運動の率も大きくなるからである。又自動車の変速ギアレバーの様に運動の終りに機械的な終端装置がある場合と, それがなくて, 或る位置に運動を止める場合とでは時間的に17%もの遅れが見られる。その際の運動方向や正確度速度等が問題になって来る。J. S. Brown は水平面上に於て物を前後左右に運動させ, それぞれの時間を測っている。その結果では, 左から右への運動よりも, 右から左への運動させる時間が短かく, 又身体の内側から外側への運動の方が, どの方向のものより, 最も速度が速いという結果を得ている。

盲目位置的動作では P. Fitt (1947) の実験結果が発表されている。被験者の周囲に21個の標的が置かれ, 肩から56cmの距離に配置されている。被験者は初めによく目標を見てから目かくしされ, 腕を伸ばして目標の中心に触れなければならない。その結果は正面に近くなる程動作が正確になり, 横に行くに従って不正確となる。又上下方向では, 肩の高さより下の方が成績がよく, 右側は左側より正確さに於てまさっている。

- 3 運転中前方を注視しながら手足を操作する盲目位置位動作, 或は又目で確認しながら

操作する視覚位置的動作の中に於て、運転手自身の意志による随意的な運動であることに違いはないが、この中には多分に不随意的な要素も含まれて来る。一般に筋の運動は中枢神経系からの神経支配の影響に応じて行われる。一つの刺激は末梢神経から神経衝動という形で中枢にある神経細胞に至る。そこで選ばれた細胞による興奮が中枢を経て末梢に伝えられ、筋運動が行われるのであるが、普通この経路の支配だけで身体運動は行われぬ。この他に大脳の皮質下のいろいろな所の神経核がこれを助け、興奮を発生して、筋にそれを伝達する。又筋や其他の知覚刺激に応じて脳幹や背髄の核で反射が起ることがある。急な速い反復運動がおこる時等小脳が脳幹と一緒に働いていろいろな役割をする。或る簡単な動作においても、筋の弛緩や緊張の状態を感じる固有受容器があつて、神経を通じて衝動を大脳皮質に伝え、皮質はこれによって絶えず四肢の位置、運動、筋の状態を知つて、必要に応じて諸筋に伝達され、運動が自動的に修正されて目的に添った運動が行われて行く。この様な一連の盾環廻路をフィード・バック・ループ (feed back loop) と呼んでいる。

このフィード・バック・ループは慣れの現象を起す。前に述べた位置ぎめ動作に於て、最初は視覚によって確めた後行っていた動作でもこの慣れによって、後には目を使わなくても確実に動作を行えるようになる。自動車運転手が赤の信号を見て自動的にブレーキを踏んだり、停車、発進の際に意識しないで変速ギヤを入れ換えたり、子供を見てアクセルからブレーキに踏み変える“用意”を行うこと等、皆このいつも使っているフィード・バック・ループの通りがよくなって、遂には習慣となつた結果であると考えられる。バスの運転手達の一つ一つの動作が実にスムーズで無駄な抵抗を感じないのも、このフィード・バック・ループによる慣れの現象であつて、エネルギーの損失や仕事の効率から見てもこの様な状態が最も望ましいと言える。

4 自動車のペダルを踏む動作や、ハンドルを廻す操作のように、絶えず変化する外部からの刺激に対して連続的に調整をつづけて行く連続動作は、反応運動の一つであつて、人間対機械系の効率に対し重要な役割を演ずる。この連続動作を、追従作業、補正作業、混合作業、オープン・ループ作業に分けることが出来る。今ここでは運転手の操縦装置や座位置に関する運動能として追従動作のみを採り上げる。

追従動作は位置的な追跡と動的な追跡とに分けられる。前者は飛行機で言えば一つの空港から他の空港へ飛んで行くように、目標の位置を捕えて、これに忠実に沿つて行こうとする動作であり、後者は目標の動きに対して沿つて行く傾向の動作である。進行方向に障害物で

ある目標を発見した運転手が、これを避けようとして、ペダルを踏んでブレーキを作動させようとする。又同時にその障害物が何であって如何なる動きをしているかを見きわめ、自分の車の動きと障害物との関係を確認する。普通追従動作は3種類のインフォメーションを基礎として行われるのが特徴である。第一段階は障害物である目標の発見であって、これが入力となって我々の反応を呼び起こさせる。次の出力としての段階ではブレーキを作動させる。これはその時の条件によって強く踏まねばならぬか、ゆっくり踏むかが決る。次にこれと同時に障害物の距離差によって更に強く踏み込むか、或は又足の力をゆるめてペダルから再びアクセルを踏む動作に移行しようとする。この様な連続した一つの動作に於て見られる特性がある。

上記の動作は足によるペダルの操作であって、足の大腿と下腿の角度、身体に対するペダルの前方角度によって、この連続動作は少し異った性質を示す。R. E. Corrign は足の操作特性ではなく、手による連続動作の実験を行っている。そこでは、垂直面上に於ける操作上の正確度は操作方向の角度によって異って来ると言っている。ガラス板上に2枚の金属板で長さ35cmの溝を作って置く。裏から目標とする指針を一定の速さで移動させる。これを追跡棒でガラスの上から追跡させるのであるが、その時この金属板に触れる頻度によって追跡の誤差を比較する。その結果、右手上方と左手下方に於てその誤差が少なかったという事から、垂直面上に於ける手の連続動作は、左下から右上の方向の方が、右下から左上の方向よりも正確に行うことが出来る。

又前述の如くブレーキ・ペダル上に足を持って行く動作は位置的動作であるが、ペダルを踏み込むのは連続動作である。その連続動作に於ける反応時間については前に述べたが、坪内和夫氏等によって行われた実験では次のような結果が出ている。即ち運動する目標を波型に紙に画き、それを定速運動させる。その波型を被験者に窓の間から見せ、その上をペンでなぞらえて行く方法である。その結果によって、日本人の視覚刺激では反応時間は、0.13秒~0.45秒であって、平均は0.24秒であることがわかったと言っている。

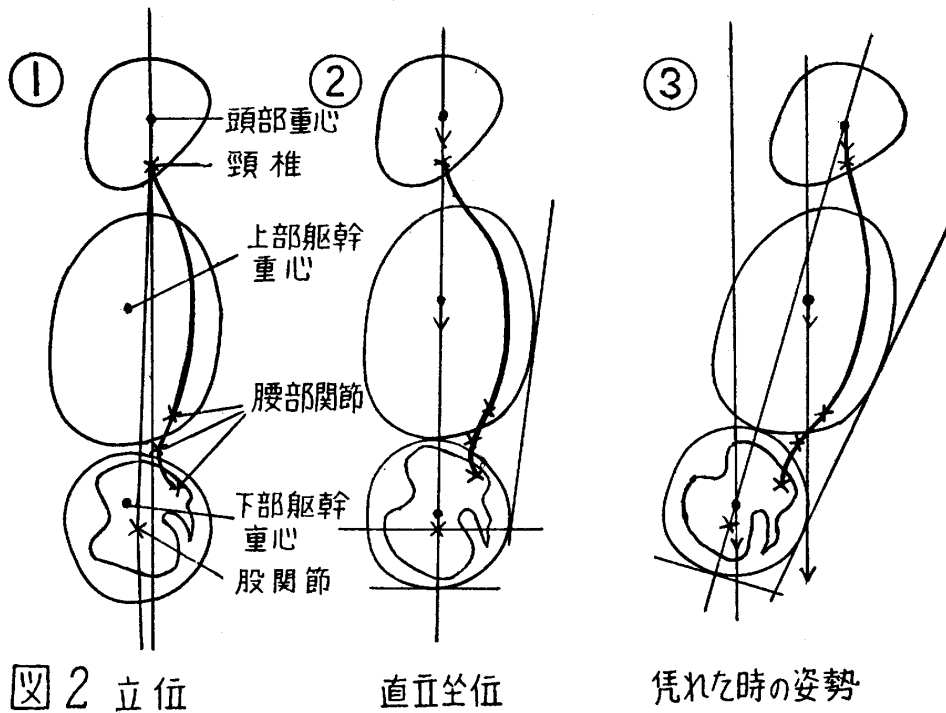
V 運転中の姿勢

人体が最も自然な状態に於ける重心の位置を知ることは、起立時でも椅座位の時でも、人体を支える形と面積と反対方向に作用する力を決定するのに必要である。人体を大きく分けると、頭、軀幹、上腿、下腿、腕となる。頭は第一頸椎に於て軀幹と連結し、頸椎骨7個で

関節の働きをする。軀幹の骨組は背椎と骨盤と肋骨からなり、背椎は或る程度自由になる頸椎と胸椎と腰椎と固定されて動かない仙骨と尾底骨とからなる。仙骨は骨盤を形成する坐骨結節にしっかりと固定され、腰から臀部にかけての下部軀幹を形づくっている。又骨盤には股関節があつて、上腿と軀幹前方への廻転を掌り、上腿と下腿との間には膝関節があつて後方への廻転軸となっている。以前には人体立位に於ける重心の垂直線は、頸の関節、股関節、踵関節を結んだ直線と一致すると考えられていたが、現在ではそれが同一直線上にない事が明らかにされている。即ち第一頸椎の中心と踵関節とを結んだ直線である重心線よりも、疲労最小で而も最も長時間その姿勢を保つことの出来る姿勢は、股関節の所で関節を結んだ直線が、わづかに前方に出ている状態の時である。その理由から、軀幹の上部に於ける重心は、股関節に対して後方にあり、軀幹の重力によって股関節を軸とする後方へのモーメントを生ずる。それを阻止するものは腰椎の前方への彎曲、及び骨盤と腰椎との関係に於ける筋力と靭帯の力である。この立位の時の腰椎と骨盤関係が、上体を支える時、快、不快の変化の現われる重要な部分となる。G. E. Cleaver 氏はこの関係について次の様に言っている。「軀幹に対する重力の中心一つだけの利用は正しい事ではなく、立位に関する姿勢力学が坐位にもあてはまるといふ説は、多くのシート設計者の試案を間違つた方向へ導いてしまった。背椎と骨盤の力学の認識は、真のシート設計の進歩の根本である。重力の中心の一つは下部軀幹に対するもので、もう一つの中心は上部軀幹に対するものである。この事で上部軀幹のモーメントは、上部軀幹対腰部関節の関係にあり、そのモーメントは、シート設計者にとって、標準シートを作る目的に添うための最高の考察を必要とする。」と言っている。

1 直立坐位姿勢

Staffel (1889) は、直立姿勢について、「もし何かに凭れる機会がなかつたり、卓子や其の他の支持物に腕を休ませる事が出来なかつたりすれば、筋肉は何時までも体重に抵抗する事が出来なく、背椎がそれ自身の靭帯の張力によって動かなくなる迄、背は益々曲って行くことになる。又直角前後に曲げられた大腿、膝関節は下肢の脈管に有害な影響を与え、血液の循環を妨げる。坐位に於ける背の姿勢は起立位における姿勢に出来るだけ近づけるべきである。」又「鞍型の座面に坐ることは起立姿勢に近づくから具合がよいだろう。」と言っている。これは背凭れのない坐位についての意見であつて、確かに坐骨結節で支えられた上体を前屈する事によって、腰椎関節部の背部を緊張し、無駄な筋力や靭帯の力を要するから、出来るだけ上体を起し立位の姿勢に近づけた方がよいとする説の意図は理解出来るが、ここで重要



な事は、立位から坐位に移った時、腰椎関節部を軸として骨盤が前方へ廻転するという坐骨結節、重心線、股関節との関係がよく研究されていなかった為、単に立位の姿勢に近づけた方がよいという結論が出たものと解される。

椅坐姿勢に於て、上体を直立させた場合の垂直線は、立位の時と異なり、第一頸椎の中心と坐骨結節下の支持点を結んだ直線と一致する。その姿勢では又骨盤は臀部と共に後方へ廻

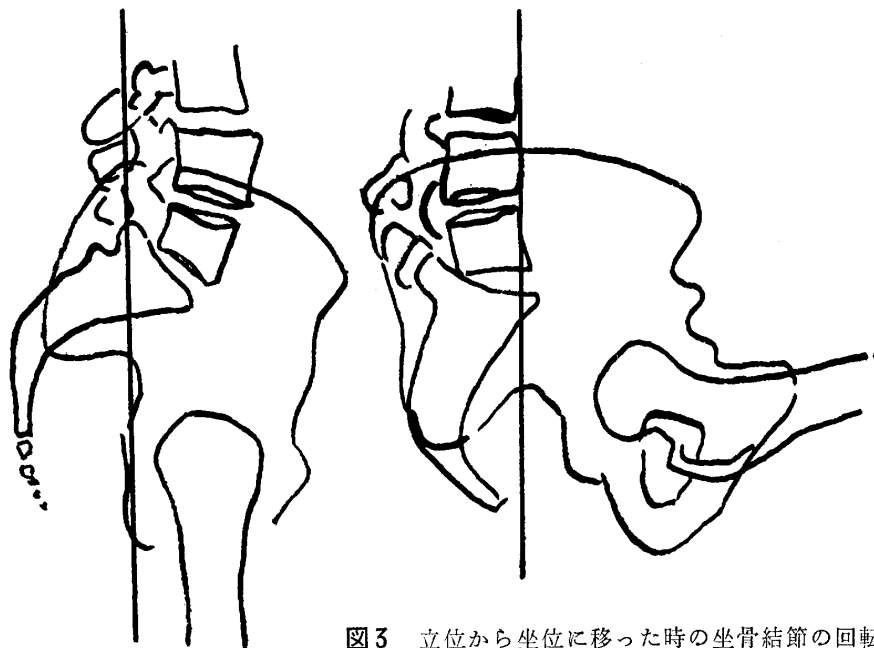


図3 立位から坐位に移った時の坐骨結節の回転

転する。つまり坐骨結節の支持点を中心として骨盤が後方へ廻転することによって、腰椎の関節部と坐骨結節の支持点との距離は、立位の時のそれよりも大きくなる。(図2)この事は股関節を中心として後方へ廻転しようとするモーメントが立位の時よりも大きい事を現わし、又上体を平衡状態に保とうとする努力は、立位の時よりも甚しい事になる。勿論この状態は背部を支えるものがなく、わづかに触れる大腿の圧と坐骨結節の支持点だけによって、平衡状態を保とうとする場合である。自動車を運転する時の姿勢で G. E. Cleaver 氏は「椅坐姿勢でハンドルを持って前方支持を得ることは、腕その他の筋力を必要とする。それによって腰部をしっかりと保ち、骨盤を横揺れに対して固定しようとする。この方法に於て得られるどんな背部支持も、腕による特別の力によって平衡される。この場合、背部支持はないから、脊椎関節の支持、骨盤の廻転に対する抵抗、軀幹上部の真直ぐな姿勢、これ等すべてが筋力か靭帯のどちらかの作用によって得られる。」と言っている。

2 凭れた時の姿勢

坐位姿勢を保持するための筋力の緊張を少しでも減らして、凭れによって体重の一部を支持することは、どんな作業にとっても必要な事である。殊に危険を伴う運転操作中の筋肉の緊張は、それ自身反応運動を遅らせ疲労を増加させる。直立坐位では体重の支持点である坐骨結節底と、第一頸椎とを結んだ軀幹線は、上部軀幹の重心垂直線と一致したが、凭れによる姿勢では図2(3)の如く、軀幹線と重心垂直線は一致しない。今ここでは、直立坐位姿勢から凭れによる姿勢に移る場合、十分な背部支持が得られて、上下両軀幹は腰椎関節部で屈曲が行われなかったとする。従って軀幹線は両姿勢共変化なく、又坐面は軀幹線に直角であるから、両姿勢の坐骨結節部の支持点も亦変らない。即ち、直立坐位姿勢で坐骨結節にかかる重力は、力の法則によって二つの分力に分けられる。一つは坐面で、他のもう一つは凭れである。軀幹線と座面支持点に於ける垂直線とのなす角を *trunk angel* と呼んでいる。そしてその角度によって坐骨結節にかかる荷重をいろいろ変えることが出来る。重力垂直線は、上体の後へ傾斜した時坐骨結節より後方にあり、更に前方に対するモーメントを小さくさせる目的の為に、少なくとも腰椎関節部上か或は後方にあることが望ましいと言える。

A° kerblom 氏は著書“*Standing and Sitting Posture*”の「正しい休息姿勢の力学に関する一般原理」の中で、W. & E. Weber 兄弟による二つの原理は、實際上正しいものであろうと言って Weber 兄弟の説を紹介している。それによると、即ち「第一原理、体は筋肉によって不安定な平衡の位置に釣合っているという原理は、体重がその関節上に対照的に

分配されるような、最も純粹な形において例証される。この場合筋肉の作用は最小になり、体のどの部分も支えず、ただ上体がある範囲内で多少リズムカルに動揺しようとするのを妨げるに過ぎない。この型の休息姿勢のはっきりした例は、背凭れなしに坐る時、上体が主として股関節の筋肉によって坐骨結節上に釣合う時に見出される。第二原理、すなわち関節は重力の作用によって、受動的に固定された終局の位置に維持される、という原理は背凭れなしに坐る時の腰椎関節にあてはまる。前に沈んだ姿勢で坐るとき、重力線は椎間関節の軸の相当前を通る。然し腰部の筋肉を電氣的に活動を示さない様に弛緩することが出来る。重力に対抗し、背椎の前屈を制限する主なる要素は多分靱帯であろう。」と言っている。

Weber 兄弟の言う第一原理の「不安定な平衡な位置に釣合っているという原理は、体重がその関節上に対照的に分配される……。」ということは、体重が各関節を結ぶ直線によって、二等分されることを意味しているものと解される。然し現在立位に於ては一般にこの様に考えられていないことは前に述べた。但し直立坐位では軀幹線と重心線は一致して居り、この説を受け入れることが出来よう。

この凭れなしで坐る姿勢で G. E. Cleaver 氏は「直立坐位では、背部が筋肉の作用で緊張している。若し筋肉が使われぬ様に解放されていたら、骨盤は軀幹線を変えることなしに股関節で廻転するだろう。なんとなれば支持点は事実上同じ点であるから。それ故、直立坐位の重心垂直線は軀幹線として採られ、坐位のすべての型の基本として活用される。」と言って直立坐位姿勢を坐位の基本型としている。又その設計に当っては、「軀幹の重量がクッションに依って支えられている限り、それは坐骨結節に集中される。ところが上体を後方に傾斜させることによって、臀部はクッション上を前方へ滑ろうとする合力を引き起す。この為、平衡を得るにはクッションの設計に於て、その合力を充分考慮しなければならない。又充分に凭れた姿勢に示された色々な見解によって、車を運転する姿勢を考えると、強力な力、又はその反力が含まれているに違いない。運転中刻々変化する車外の状態は、車を走らせる運転手の姿勢にさまざまな変化を及ぼすであろう。そして最も適当な背凭れの角度は、試して見る事に依ってのみ決められる。」又「最高の心地よさが筋肉のわづかな制御で得られるシートは、恐らく最良のものであろう。その時は必ず充分凭れた位置よりも、はるかに真直ぐな位置をとっている。最も真直ぐな姿勢は、加速の絶頂点に変化させるのに最も適当な姿勢であるという事は、殆ど疑いない。」と言っている。Verman (1924) は「周期的に姿勢を変える事が重要である。仕事の見切毎に、いかに短かくとも姿勢を変えるべきである。これは相

当の時間の休息を得るよりも効果的である。『よい椅子とは多くのよい姿勢をとり得るものをいうのである』と言っている。

如何に完全に、総ての点に適合した座席が作られても、我々は時々姿勢を変化させて、疲労を小さくさせねばならない。その為には唯一つの姿勢しか採ることの出来ない形ではなく、完全に適合した形の中には既に、幾通りもの姿勢を換え得るという事が、条件として含まれていなければならない。

VI 座の機能と座位置

操縦装置と座位置の関係は、運転手の姿勢を決定する。そして座によって得られる心地よさは、その比較的操縦装置によって大半が占められる。又座自体の乗心地がよくてもその関係位置が不適当な場合は、快適な座はその目的を達しない。

J. W. Dunlap はトラック運転手の人体測定を行って座の実体模型を作り、ハンドルを廻

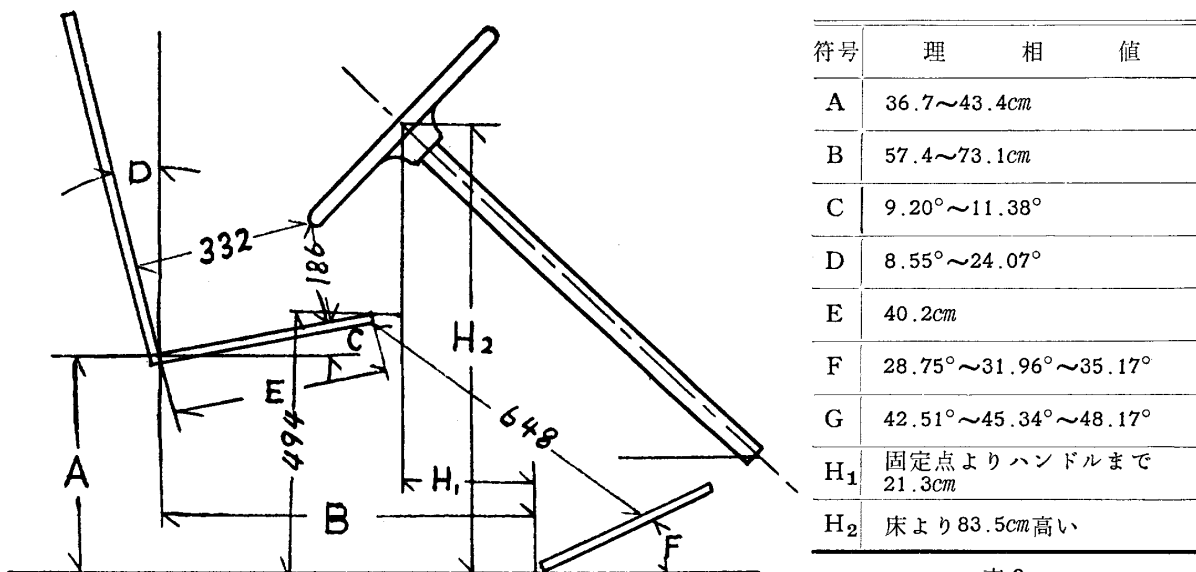


図4 座席とハンドルとの関係位置 (J. W. Dunlap)

すと針が移動して実際に自動車が運転されたと同じ状態になる様な装置を作った。その装置の操作による実験では図4・表2のような寸法が最適のものであるとした。

ドイツのレーマンはトラクターの設計に当って色々な実験を試みている。その1つはハンドル取付角度について。ハンドルを廻転させる速度、最大操作力、消費エネルギー等の関係に於て実測した結果では、取付角度 50°~60° が適当な角度であるとしている。その角度では最大操作力は 39~48kg で 30° の角度の場合と比較して 10kg 増大する。又 1 分間のエネル

ギー消費量は約1.15カロリーで、ハンドル廻転速度にはほぼ比例する。又その角度でのハンドル廻転速度は同じく1分間約55 (rpm) であって、取付角度40°のものに比べると約10%もその速度は遅い。即ち取付角度が30°から40°, 50°と角度が増すことによって操作力はそれにつれて増大し、逆に廻転する速度は遅くなり、エネルギー消費量は小さくなる。

これとは別に、Hugh-Jones (1947) は座席の正面にあるペダルの踏力について実験を行っている。これによると、最大の力を出し得る時の膝関節の角度は160°であって、160°を境にして踏力は前後に急激に減少する。又姿勢から言えば、上腿が水平面となす角15°の時にも踏力は最大値を得ている。この下肢160°に相当する角を上肢に求めて135°であるとし、これを limiting angle と呼んでいる。

この様に筋力の問題、ペダルの踏み替えや連続動作の速度に関する反応運動など、これらは人体と装置位置関係によって解明されねばならない問題であるが、或る時間一定の姿勢を保持しなければならない座そのものの機能についてはどうであろうか。静的なものではなく、動的なものとして絶えず人体に振動を与える状態に於ける座の特質がある筈である。G. E. Cleaver 氏によれば、最近解剖学者達によって座に関するデータが示されている。それにもとづいて座席デザイナーは、クッションの充分圧縮された状態も考慮に入れてデザインするようになったが、座席の自由形（無負荷の状態）から占有形（運転手の坐った時の形）に移行する際の座の機能にはあまり考慮が払われなかった。非常に複雑な力学的機構ではあるが、シート心地よさは荷重と撓みの特性の物理的要素を、充分考慮に入れねばならない問題であるとして、座の特性を次の様に述べている。

内装されたシートの荷重/撓み特性は3つの相 (phases) 即ち reception と ride と resistance から成っている。第1相の reception つまり受け入れは、支持面上に分配される荷重の変化のために比較的大きな撓みを持っていて、無負荷の状態から或る姿勢をとった

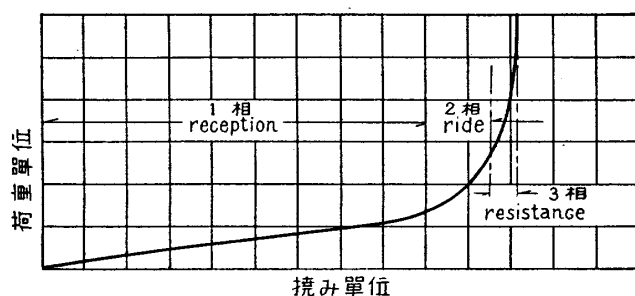


表3 座席内部構造の荷重/撓み特性 (G.E. Cleaver)

時のクッションの形に至るまでを言う。第2相は即ち乗ることである。車が凸凹道を走っている時、シートを通じて伝わって来るショックを座の内部構造が吸収してしまう。この相はある姿勢の体軀の形に対し、又膝関節でのわずかな軸廻転によって変化する上腿の姿

勢に対して、この相に於て最高の心地よさを保持することが絶対必要なのである。又飛び跳ねるのを避ける為に内部の詰め物によって出来るだけ振巾を減少させることが必要である。第3相の抵抗は急激な撓み変化の一つであって、どんな動揺もここで直ちに吸収されてしまう。それらの種々の特性は表3で示される。

第1相の reception でクッションは僅かに下肢に触れ、外側の支えになる。背凭れの部分の荷重は僅かなものであるから、柔かい内装でこの荷重を受けようとするのはよくない事である。垂直面の荷重だけを支えることが出来れば充分であって、過度の接触面の広りは、衣服との摩擦を起させ又空気の流通を悪くする。外観から言えば座席の凹んだ時の大きさは、勿論空席と坐った時の形の相違であって、これは又外側を保持するための被いによって坐った時の特性を妨げない事が必要である。ここで柔いという事と、心地よいという事と同じ意味だという考えは誤りである事が解るだろう。即ち柔かなシートは均一な荷重分布の理由を以て、又それが低い圧であるという理由で、確かに初めは心地よいと感ずるが、しかししばらくの後、そのシートの欠点は痛む筋肉によって発見される。最初柔かいのは確かに望ましい事であるが、しかし撓みが止んだ後、或は体重が内部の詰め物によって平衡状態になった後では、体を望む姿勢に支えるのは反対の力であって、柔かな内張りによって無限に引き続いた変形によるものではない。それ故に我々は動いている間中、形と圧とに密接な関連を持っている。それは又シートそのものが、荷重に対して反対のこれと等しい力を与えるばかりでなく、或る姿勢に於ける撓みが完了した時、反対の力が適当に作用するのに必要である。

即ち G. E. Cleaver 氏は運転座の性質を3つの要素に分けた。1相は無負荷の状態から坐った時の荷重による撓み、2相は振動に対する吸収作用、3相は急激な撓み変化に対する抵抗である。1相と3相は普通の事務用椅子に見られるもので、この2相が、乗物のような振動を伴う場合の座に見られる特質である。そしてこの2相に於て乗り心地がよいか、或は又乗心地が悪いかが決められる。

Ⅶ 結 語

以上述べた他に計装による視覚表示と、それによって生ずる反応動作、サイドブレーキを操作する時の上肢運動の筋力、握力についての問題があるが、ここでは触れなかった。又2輪自動車に於ける乗車姿勢や座位置の問題には、4輪、3輪の居性とは根本的に相違するいくつかの要素があるので、これも今は採り上げなかった。その何れにしても一般に言える事

は、筋の緊張は長時間続けられるものではなく、許す限り弛緩の状態を保つことが望ましい。而も乗心地の良さも亦その状態で得られねばならない事は勿論であるが、要は弛緩から緊張へと一瞬にして変化し得る姿勢である事。それによって筋運動は最大に発揮され、適当な力や速度、正確さで種々の動作を行う事が出来よう。

参 考 文 献

- | | | |
|---|--------------------------------|---|
| 1 | “Driving Seats” | G. E. Cleaver Automobile Engineer June 1954 |
| 2 | “Standing and Sitting Posture” | A° kerblom 1948 |
| 3 | “Ergonomics” | J. Clrestpher Jones Design June 1954 |
| 4 | “Human Engineering Guide” | Wesley E. Woodson |
| 5 | “Method-Time Measurement” | Maynard H.B. |
| 6 | “人間工学” | 倉田正一著 |
| 7 | “人間工学” | 坪内和夫著 |
| 8 | “体育学研究法” | 日本体育学会編 |
| 9 | “労働安全衛生ハンドブック” | 労働科学研究所 |