

ディスプレイレイアウトを設定するモデルの開発

Development of Equation Models for Setting Display at VDT

平 沢 尚 毅

1. はじめに

近年の情報関連技術の発達にともないディスプレイを利用した作業環境が増加している。その利用形態としては、TV会議システム、原子力発電所等のプラントにおける監視制御室、医療分析システム、金融窓口システム等が挙げられるが、VDT (Visual Display Terminal) を利用した作業環境はその代表的なものである。VDT 作業環境下における作業姿勢一般を VDT 作業姿勢と称した場合、この作業姿勢を拘束するのが CRT (Cathode Ray Tube)、キーボード、作業台ならびに椅子等の VDT 構成要素のレイアウトである。CRT ディスプレイ (以下「ディスプレイ」という。) のレイアウトは頭頸部の姿勢や視覚等の負担に影響を及ぼす⁴⁾ ことから、この負担を軽減するためには適正なディスプレイのレイアウトが求められる。このディスプレイのレイアウトの主要な要素として、眼の位置に対するその高さやチルト (傾き) があるが、これらのレイアウトに関する研究はまだ十分に確立されているとはいえない。本研究ではこれらのレイアウト要素を算出するモデルの開発を目的とした。

2. 作業者とディスプレイとのインタラクティブな関係を表すモデル

従来の VDT 構成要素のレイアウトを求める方法として、対応する身体計

測点との関係から算出する方法¹⁾がある。しかし、実際に測定されたレイアウトの設定値は身体計測値とは相関がないとの報告がある^{3)・5)}。この理由としては、相関の対象となっている眼高の数値が作業時のものではなく、身体計測時における緊張姿勢のものであることを指摘できる。もう一つの理由としては、ディスプレイは単体として存在しているのではなく、キーボード置台、椅子といったその他の構成要素のレイアウトとも関連しているので、作業者のディスプレイ高さの選択が、これら諸要素との関係において求められている可能性がある。したがって、本研究では、以上の理由から身体計測時の緊張姿勢ではなく実際の作業姿勢をもとに、各構成要素との相互関係から個々のレイアウトを求めるモデル^{8)・14)・15)・20)}を提案する。

このモデルは、作業者とディスプレイおよびその他の VDT 構成要素との間の幾何学的な関係を記述したモデルである。これは、VDT 構成要素のレイアウト決定要因と、これに直接関係する作業者の身体部位とのインタラクティブな変数と、作業姿勢の特徴点を取り組んだ簡潔な数式モデルである。取り組まれた変数の値を変化させることにより、レイアウトの設定値を定量的にシミュレーションできる。

3. ディスプレイレイアウトを設定するモデル

3-1. ディスプレイ高さを算出するモデルの定式化

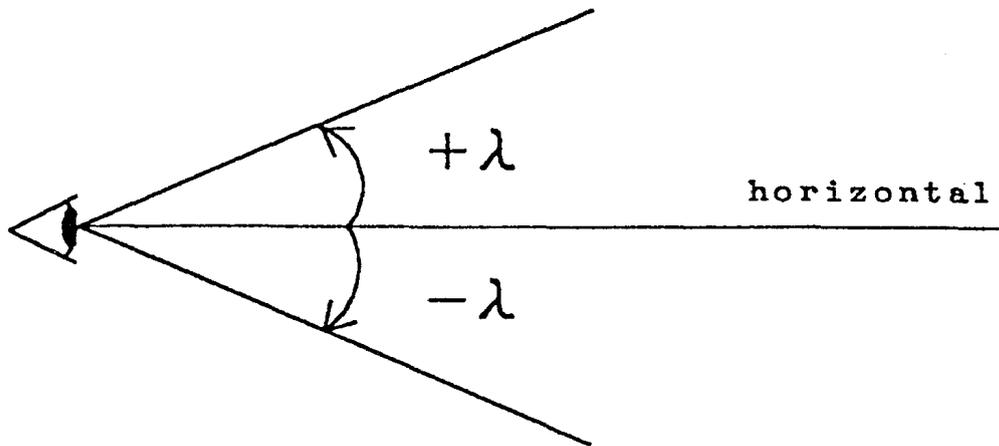
眼の高さに対するディスプレイ内の注視点の相対的な高さを De とし、視距離を L 、視線角度 [俯角または仰角] (viewing angle) を λ とすると次式が成立する。

$$De = L \cdot \sin \lambda \quad (1)$$

$$\{\lambda \mid -90^\circ \leq \lambda \leq +90^\circ\}$$

(ただし、図1のように水平方向に対して下方を-、上方を+とする。)

一般的に、ディスプレイは作業台上に置くので、求めるディスプレイ高さを作業台からの垂直距離と考える。作業台面・ディスプレイ内注視点距離すなわち作業台からのディスプレイ高さを H 、作業時の作業台面・眼距離を Te (eye



$$\lambda : -90^{\circ} \leq \lambda \leq 90^{\circ}$$

図1 視線角度（俯角あるいは仰角） $[\lambda]$ の定義

level above table) とすると、次式 (1) の幾何学的関係が成り立つ (図2 参照)。

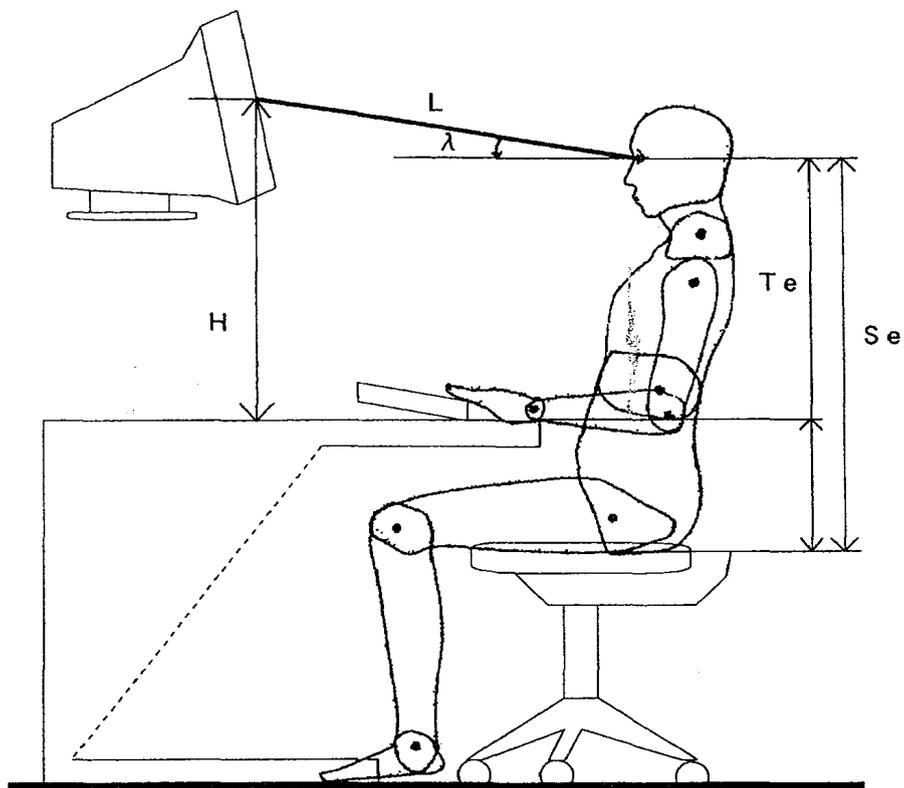


図2 ディスプレイと作業者との幾何学的関係

$$\begin{aligned}
 H &= De + Te \\
 &= L \cdot \sin \lambda + Te \quad (2)
 \end{aligned}$$

作業時の作業台面・眼距離 T_e は、作業時の座面・眼距離 Se (eye level above seat) から VDT 差尺 ST を引いたものである。

$$T_e = Se - ST \quad (3)$$

作業時の座面・眼距離 Se は、身体計測値である座高 sh (sitting height), 座面・眼距離 se (sitting eye height) を利用して次式から推定される⁹⁾。

$$Se = se - p \cdot sh \quad (p = 0.06 \sim 0.08) \quad (4)$$

また、 ST は戸上による VDT 差尺²²⁾ を用いて、次式が成立する。

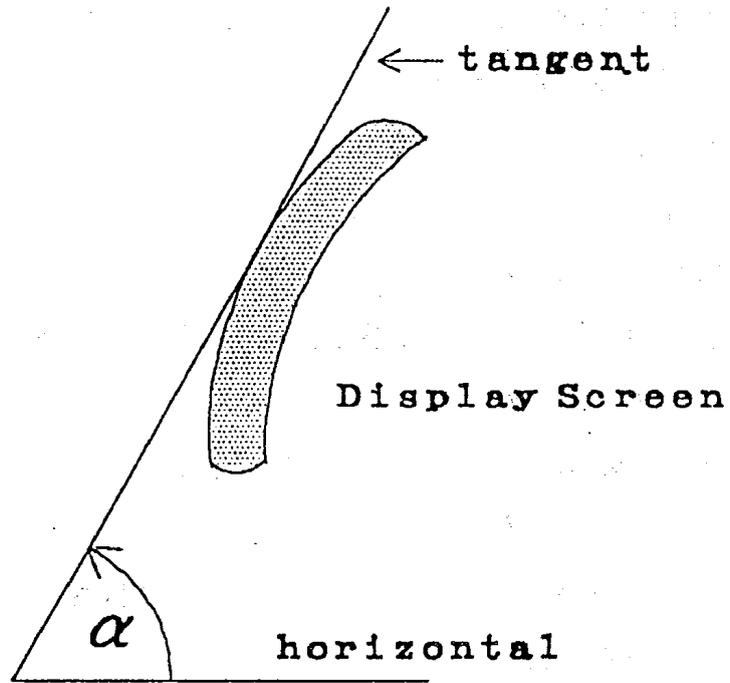
$$ST = sh / 3 - q \quad (q = 4 \sim 6 \text{ cm}) \quad (5)$$

(4), (5) 式より、 T_e の変動が推定できる。したがって、(2) 式より、推奨される視距離のもとで、視線角度に対するディスプレイ高さをシミュレーションすることができる。

3-2. ディスプレイチルトを算出するモデルの定式化

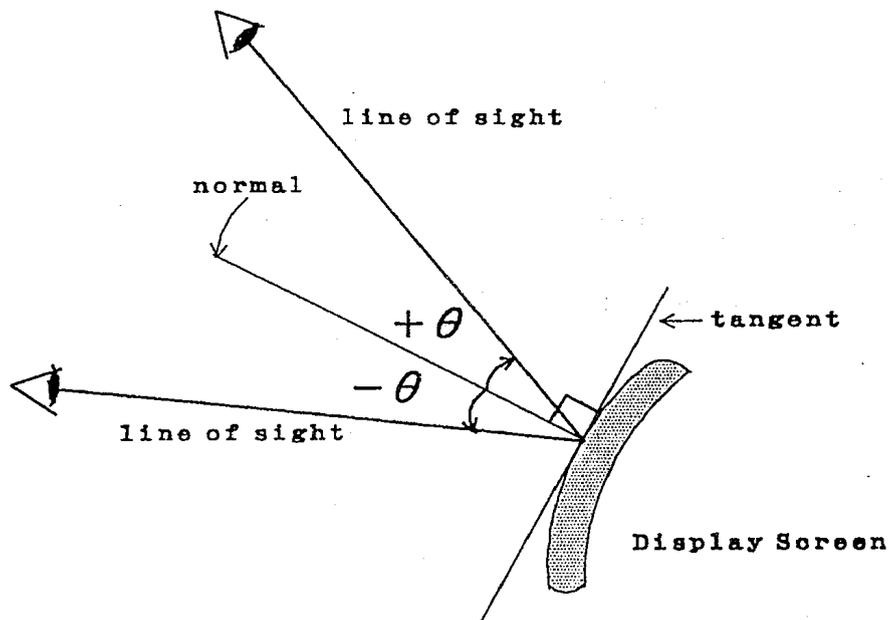
ディスプレイチルトを規定する人間特性は、無理なくディスプレイを直視する際の視線が基本となる。ディスプレイチルトを直接規定している人間特性はまず視線のディスプレイに対する入射角である。利用者に適正な入射角が満足されていないディスプレイではその内容が読みとれないか、読みとるために利用者は無理な姿勢を強いられることになる。そして、この入射角は視線の方向によって規定される。この視線の方向は視線角度によって表わすことができるので、ディスプレイチルトは視線角度と入射角の2つの変数によって規定されるとみてよい。この2つの人間特性値を入力変数としてディスプレイチルトを算出する。

以下に、視線角度、入射角 (angle of incidence), ならびにディスプレイチルトを変数として定義し、モデルの定式化を試みる。ディスプレイチルト $[\alpha]$ ならびに入射角 $[\theta]$ の変域を図3, 4のように定義した。



$$\alpha : 0 \leq \alpha \leq 180^\circ$$

図3 ディスプレイ傾き [α]



$$\theta : -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

図4 入射角 [θ]

ディスプレイと眼との幾何学的な位置関係は次の2点から分類できる。

- ①ディスプレイ内注視点と眼の位置との上下関係。
- ②ディスプレイ内注視点に入射する眼からの入射角。

①については、視線角度 $[\lambda]$ の正負によって示すことができ(正の場合、仰角となる),②については入射角 $[\theta]$ の正負によって示せる。したがって、ディスプレイと眼との幾何学的な位置関係は視線角度と入射角の2つの変数を用いて、次の4つの状態に分類できる。

- I. $\lambda < 0$ かつ $\theta < 0$ の場合で、注視点より上方に眼があり、ディスプレイ内注視点の正中垂直面の下方から入射するとき(図5)。
- II. $\lambda < 0$ かつ $\theta \geq 0$ の場合で、注視点より上方に眼があり、ディスプレイ内注視点の正中垂直面の上方から入射するとき(図6)。
- III. $\lambda \geq 0$ かつ $\theta \geq 0$ の場合で、注視点より下方に眼があり、ディスプレイ内注視点の正中垂直面の上方から入射するとき(図7)。
- IV. $\lambda \geq 0$ かつ $\theta < 0$ の場合で、注視点より下方に眼があり、ディスプレイ内注視点の正中垂直面の下方から入射するとき(図8)。

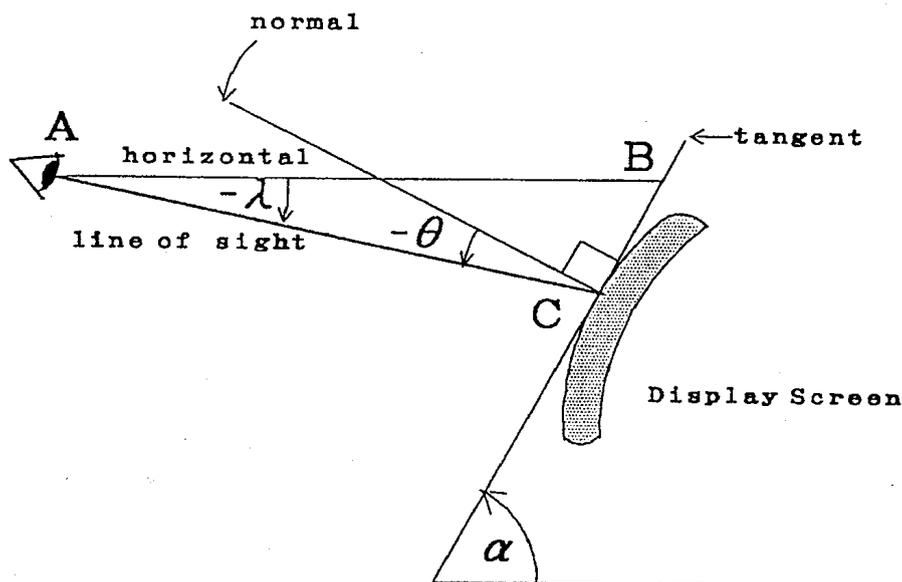


図5 ディスプレイと眼との位置関係 I
($\lambda < 0$, $\theta < 0$ の場合)

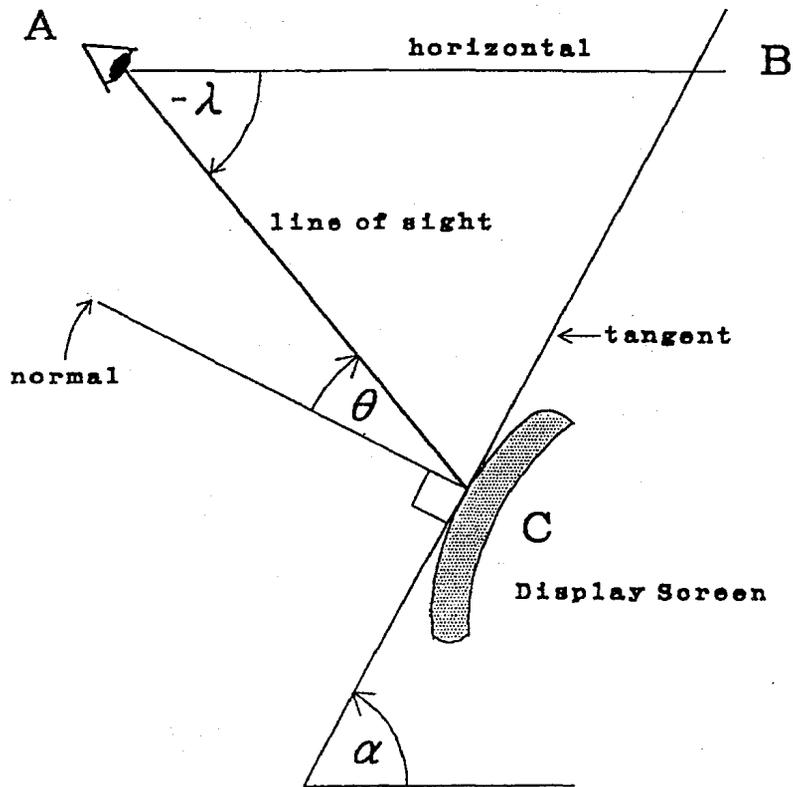


図6 ディスプレイと眼との位置関係Ⅱ
($\lambda < 0$, $\theta \geq 0$ の場合)

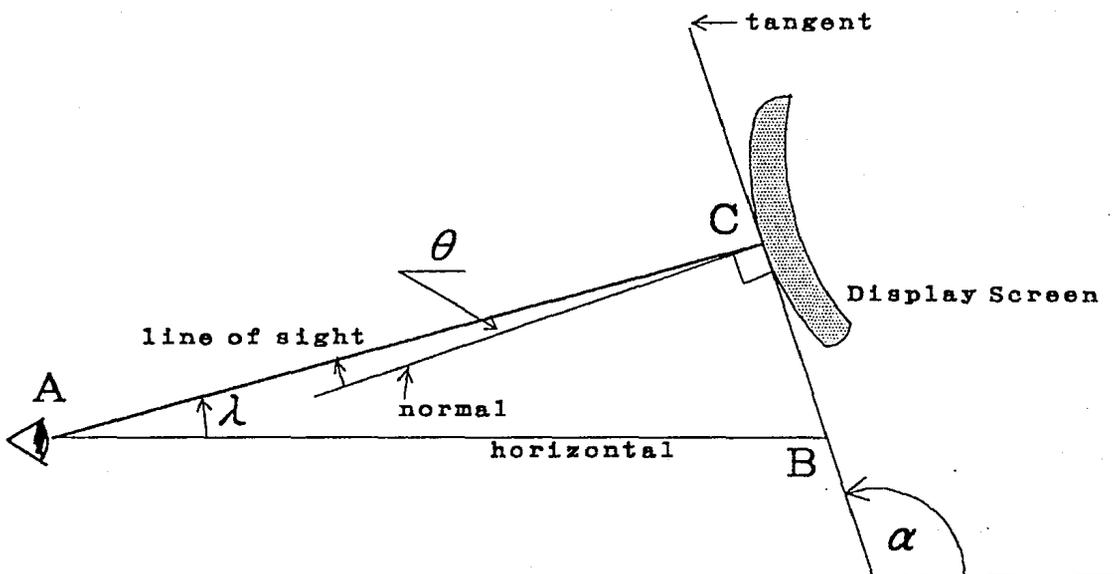


図7 ディスプレイと眼との位置関係Ⅲ
($\lambda \geq 0$, $\theta \geq 0$ の場合)

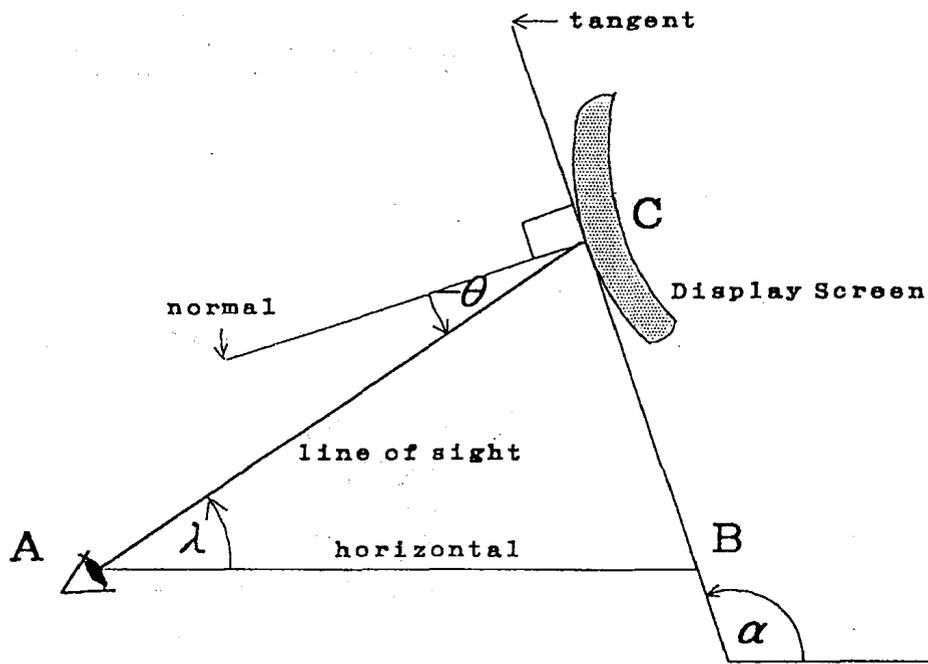


図8 ディスプレイと眼との位置関係Ⅳ
($\lambda \geq 0$, $\theta < 0$ の場合)

今、図5のⅠの場合に着目してみると、眼の位置をA、ディスプレイ面の注視点をCとし、C点におけるディスプレイ面の接線と眼の位置Aの水平線との交点をBとした場合、三角形ABCは図9のようになる。各点の角度は、それぞれ $|\lambda|$ 、 $|\alpha|$ 、 $|\theta| + 90^\circ$ で表せるから、三角形の内角の和の定義により、

$$|\lambda| + |\alpha| + |\theta| + 90^\circ = 180 \quad (6)$$

となる。それぞれ、変数の方向から正負を考慮して(1)式を展開すると、

$$\alpha = \lambda + \theta + 90^\circ \quad (7)$$

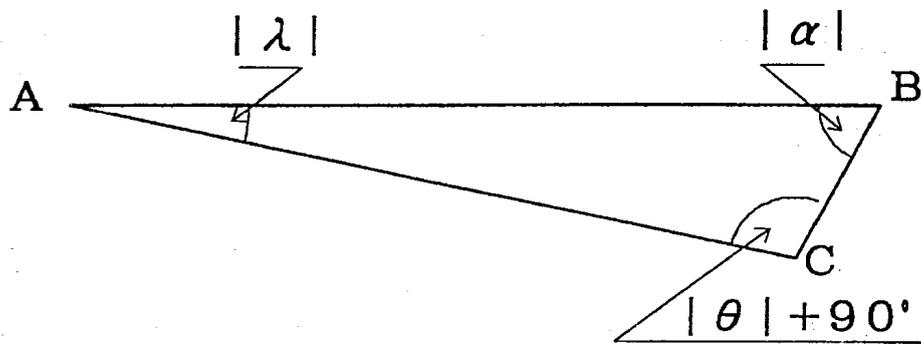
が成立する。

Ⅱの場合は角度Cが、 $90 - \theta$ となり、同様にして(7)式が成立する。

次に、Ⅲの場合について考える。点A、B、CをⅠの場合と同様にして与えると、三角形ABCは図10のようになる。したがって、

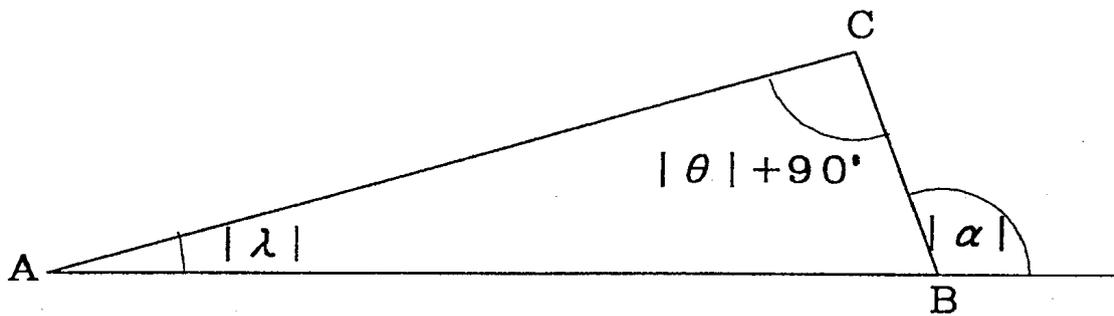
$$|\alpha| = |\lambda| + |\theta| + 90^\circ \quad (8)$$

となる。それぞれ、変数の方向から正負を考慮して展開すると、(7)式が成立する。



$$|\alpha| + |\lambda| + |\theta| + 90^\circ = 180^\circ$$

図9 α と θ と λ の関係I
($\lambda < 0$, $\theta < 0$ の場合)



$$|\alpha| = |\lambda| + |\theta| + 90^\circ$$

図10 α と θ と λ の関係III
($\lambda \geq 0$, $\theta \geq 0$ の場合)

IVの場合は角度Cが、 $90 - \theta$ となり、同様にして(7)式が成立する。したがって、すべての場合について(7)式が成立することがわかる。

以上の結果から(7)式をディスプレイレイアウトを算出するモデル式として定義できる。

4. 日本人に適合するディスプレイレイアウトのシミュレーション

4-1. ディスプレイ高さを算出するシミュレーション

1) 身体計測値

身体計測値は日本人間工学会人体計測編集委員会編『人体計測値図表』(1980)によった。今回は日本人に適合するディスプレイ高さの限界値を求めるために、男子座高95th%ile値とおよび女子座高5th%ile値を用いた。

2) L: 視距離

推奨される視距離はガイドラインによれば^{6), 18)}, 40~70cmとするものが一般的である。

以上の身体計測値と視距離をパラメータとして、視線角度に対するディスプレイ高さをシミュレーションした結果が図11, 12である。

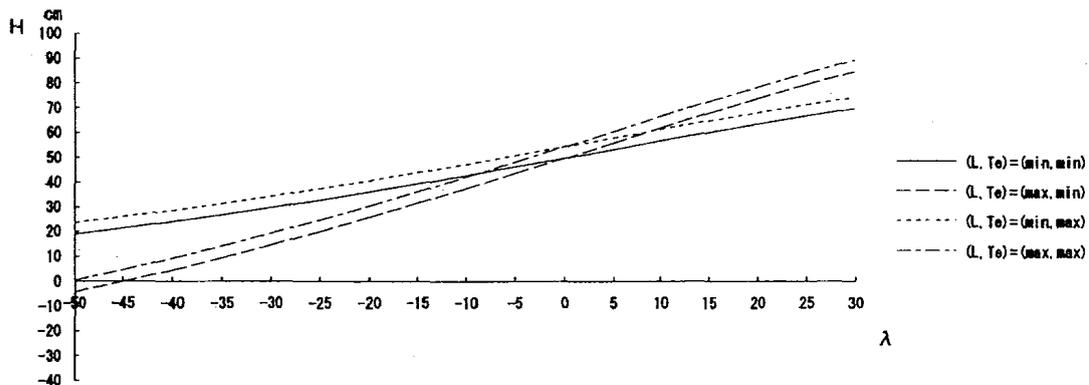


図11 男子座高95th%ileのディスプレイ高さ

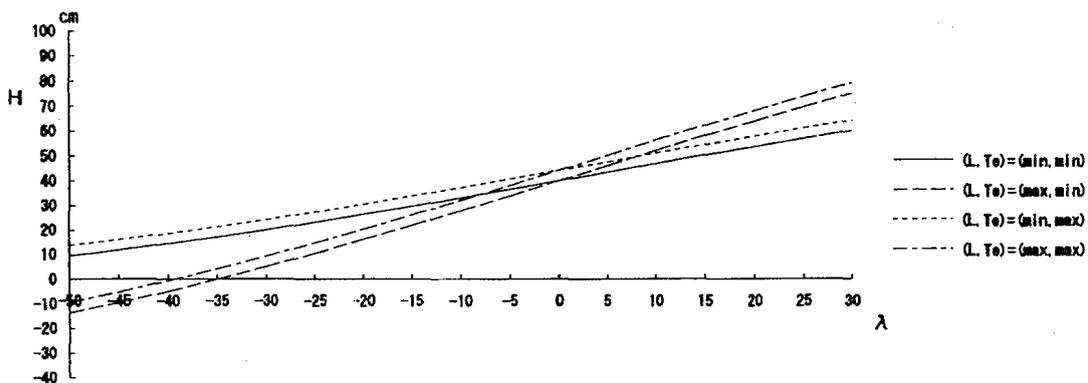


図12 女子座高5th%ileのディスプレイ高さ

3) λ : 適正な視線角度

シミュレーションにより得られたグラフから適正なディスプレイ高さを求めるには、作業員にとっての最適な視線角度を明らかにする必要がある。Grandjean⁵⁾によれば作業員が選好する視線角度は約 $-15^{\circ} \sim -10^{\circ}$ であるとしている。窪田^{12), 13)}によるフランクフルトプレーンを強制的に水平に固定した実験でも、被験者の選好値の平均は約 -10° となっている。一方, Kroemer¹¹⁾の実験によれば, その視線角度の平均は -29° となっている。斉藤, 外山¹⁹⁾によると, VDT 作業の視線角度の平均は -30° より下方にあることを報告している。筆者が実測した結果は平均 -24.9° であり, 後者の値に近かった。以上のように, 推奨されている視線角度は作業条件により2分されている。

① 上方域 λ_1 : $-15^{\circ} \sim -10^{\circ}$

② 下方域 λ_2 : $-30^{\circ} \sim -25^{\circ}$

正常な視線は眼の安静位 (a resting condition) であるとすれば, この両者の違いは, 正常な視線に頭部の傾きに伴うものと推測される。すなわち, 上方域の場合では頭部の傾きがほぼ水平であり, 下方域の場合は前傾していると考えられる。このような頭部の傾きをとる作業姿勢は, 前者は後傾姿勢 (retroflexed posture) であり, 後者は前傾姿勢 (anteflexed posture) である。

4) ディスプレイ高さを決定する要因

シミュレーションの結果, まず, 身体寸法値の違いによるディスプレイ高さの差よりも, 視線角度による影響の差の方が大きいことがわかる。例えば, 視線角度が -30° と -10° の場合を比較すると, 視距離70cmでは23cmであるのに対して, 男女差は常に9.6cmである。この差は, 大多数の日本人の身体寸法値の影響を包含している。したがって, ディスプレイ高さを決定する主たる要因は視線角度とみなせる。

図11および12の形状から, 視線角度が下方になるほど許容されるディスプレイ高さの範囲が広くなることがわかる。このことは, 下方域の方がディスプレイ高さの適正範囲が広くなることを意味する。例えば, 女子座高5th%ileの

場合に着目すると、視線角度が -10° の時のディスプレイ高さの上限と下限との差が19cmであるのに対して、視線角度が -30° では29cmとなっている。

以上から、ディスプレイ高さは視線角度を上方域と下方域に分けて検討する必要がある。すなわち、作業姿勢を前傾姿勢と後傾姿勢の場合に分けて検討する。

5) 後傾姿勢の場合のディスプレイ高さ

頭頸部や腰部の負担を後傾姿勢をとることにより軽減できるが、注視点領域が狭くなるため、ディスプレイ高さの適正範囲は狭い。これに適する作業の特徴は、コンピューターとの対話によって、作業の大半をディスプレイを注視しながら進めるように、注視領域がディスプレイに限定されていることである。例えば、この種の作業として代表されるものはデータ入力作業、CAD作業等がある。

この場合のディスプレイ高さは22~47cmの中にあればよい。

6) 前傾姿勢の場合の場合のディスプレイ高さ

ディスプレイ高さの適正範囲は広がるが前傾姿勢を強いられるために頭頸部や腰部の負担が大きくなる。この場合の作業の特徴は、机上にある種々のドキュメント等のディスプレイ以外の領域を注視しなければならない作業のように副次的にコンピュータを利用することである。この場合、視線角度が下方域の方が視線移動範囲も少なく有効である。この種の作業の代表的なものとしては、リストを見ながらのデバック作業がある。

この場合のディスプレイ高さは5~37cmの中にあれば良い。

4-2. ディスプレイチルトを算出するシミュレーション

入射角 $[\theta]$ は、ディスプレイの設置環境のグレア等による映り込みの影響やディスプレイの画面品質により異なる。一般的に、入射角はディスプレイへの垂線に対して対象であるので、次の関係が成り立つ。

$$|\theta| \leq a \quad (a > 0) \quad (9)$$

したがって、後傾姿勢の場合のチルト範囲 α_1 および前傾姿勢の場合のチルト範囲 α_2 は次のようになる。

$$75 - a \leq \alpha_1 \leq 80 + a \quad (10)$$

$$60 - a \leq \alpha_2 \leq 65 + a \quad (11)$$

1) 適正なディスプレイチルト範囲

(10)、(11) 式から、2つの姿勢に共通なチルト範囲は次式により求められる。

$$75 - a \leq \alpha \leq 60 + a \quad (12)$$

2つの姿勢に共通なチルト範囲が存在するためには、(12) 式が成り立つことが必要である。そのためには、 $a \geq 5$ であることが必要となる。

例えば、ANSI/HFS100-1988¹⁾の推奨値である $a = 40$ の時は次式が得られる。

$$35 \leq \alpha \leq 105 \quad (13)$$

$|\theta| \leq 40^\circ$ の条件下では、(13)の範囲内にディスプレイチルトが設定されていれば、無理な姿勢をとることなくディスプレイを注視できることになる。また、ディスプレイチルトに調節機能を付加する場合は、この範囲に設定すれば充分である。

一方、 $a < 5$ の時、2つの姿勢に適合させるには、少なくとも次のチルト調節範囲が要求される。

$$65 + a \leq \alpha \leq 75 - a \quad (14)$$

2) 無理な姿勢を求められるディスプレイチルト

現行のディスプレイレイアウトのチルト α が次の2条件の内のどれかを満たす時、作業者に無理な姿勢を求められることになる。

$$60 - a > \alpha \quad (15)$$

$$80 + a < \alpha \quad (16)$$

前述の $a = 40$ の条件下では、 $20 > \alpha$ あるいは $120 < \alpha$ の範囲にチルトがある場合に、無理な姿勢を求められ、長い作業時間には適さない。例えば、作業台に水平に埋め込んだディスプレイの場合は $\alpha = 0$ となり、作業に適さないこと

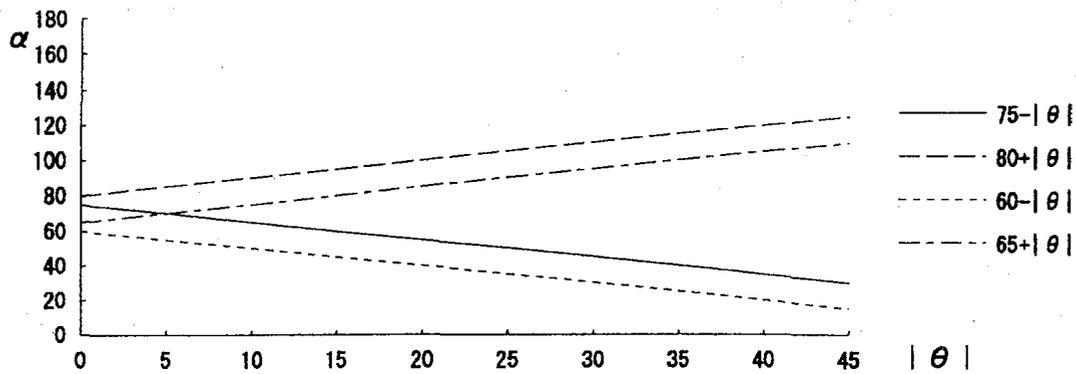


図13 ディスプレイチルト [α] と入射角 [θ] との関係

が推測できる。

以上の関係を図示したものが図13である。

5. まとめ

本研究では身体計測時の緊張姿勢ではなく実際の作業姿勢を基に得られた身体計測値と、各々の VDT 構成要素との相互関係からディスプレイレイアウトを算出するモデルを提案した。このモデルは作業者とディスプレイおよびその他の VDT 構成要素との幾何学的な関係を定式化した数式モデルである。このモデルはディスプレイ画面高を算出するためのモデルとディスプレイ画面のチルトを算出するためのモデルから構成される。

これらを利用して、日本人の身体計測値から適正なディスプレイレイアウトをシミュレーションした。

ディスプレイ高さの適正範囲は身体計測値よりも VDT を利用する作業姿勢に影響を受けることがわかった。この姿勢は前傾姿勢と後傾姿勢に大別された。後傾姿勢の場合のディスプレイ高さ適正範囲は机上より22~47cmの高さとなり、前傾姿勢では机上より5~37cmの高さとなった。

また、適正なディスプレイチルトは視線のディスプレイに対する入射角の影響が大きく、後傾姿勢および前傾姿勢の両方に適合するには、入射角の絶対値が5度以上必要である。一般的に推奨とされる±40度の時は35度以上105度以

内にチルト設定すると、ディスプレイを無理なく直視できることがわかった。

今回のシミュレーションの結果、ディスプレイレイアウトは作業姿勢に大きく影響されることがわかった。そのため、適切なディスプレイレイアウトを設定するには、個々の作業における適切な作業姿勢を明らかにする必要がある。

提案したモデルは作業環境の設計および評価ツールへ適用することが期待できる。

■謝 辞

本研究は、5th International Conference on Human-Computer Interaction における発表を加筆し再編集したものである。この発表に際して小樽商科大学国際交流及び学術振興助成事業により助成を受けたことに謝意を表す。

提案したモデルの統計学的な検討には小樽商科大学の穴沢努教官によりご助言いただき、全体を通じて産業医科大学生体情報分析室の戸上英憲先生よりご助言いただいたことを付記し感謝します。

参 考 文 献

- 1) ANSI/HFS 100-1988; American National Standards for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations, Human Factor Society, p53-54, 1988
- 2) Pheasant, T.S.; Bodyspace, London: Taylor & Francis, 1986
- 3) Cornel, P. & Kokot, D.; Naturalistic Observation of Adjustable VDT Stand Usage, p496-500, Proceedings of HFS 32th, 1988
- 4) Grandjean, E.; Ergonomics in Computerized Offices, Taylor & Francis, London, 1987
- 5) Grandjean, E., Hunting, W., Pidermann, M.; VDT workstation Design: Preferred Setting and Their Effects, Human Factors, 1983, 25 (2), pp161-175
- 6) 畑田豊彦; VDTと視覚特性, 人間工学, Vol. 22, No. 2, pp45-52, 1986
- 7) 平沢尚毅, 野呂影勇, 戸上英憲; VDT構成要素の個人への適合性に関する研究, 人間工学, Vol. 26, No. 2, pp87-93, 1990
- 8) 平沢尚毅, 野呂影勇, 酒井正幸, 小野村虎雄, 山本栄, 趙巖; オペレータとワークステーションのパラメトリックモデルの開発, 人間工学, Vol. 25, 特別号, p270-271, 1989

- 9) 平沢尚毅 ; VDT 作業の基準アイポイント, 小樽商科大学『商学討究』, Vol. 43, No. 1, 2, pp215-226, 1992
- 10) 小松原明哲, 野呂影勇 ; ディスプレイとオペレータの関係を記述する視軸モデル, 人間工学, Vol. 20, 特別号, p104-105, 1984
- 11) Kroemer, K. H. E. and Hill, S. G. ; Preferred line of sight angle, Ergonomics, Vol. 29, No. 9, pp1129-1134, 1986
- 12) 窪田悟 ; VDT スクリーンに対する好ましい視線角度, 人間工学, Vol. 23, 特別号, p58-59, 1987
- 13) 窪田悟, 大倉元宏, 大久保堯夫 ; VDT ワークステーションに関する人間工学的研究, 日本経営工学会誌, Vol. 38, pp393-398, 1988
- 14) 野呂影勇, 平沢尚毅, 小野村虎雄, 酒井正幸, 山本栄 ; ワークステーションとオペレータに関するマルチパラメトリックモデルの構築 その1 モデルの記述, 日本人間工学会関東支部大会予稿集, p97-98, 1988
- 15) 野呂影勇, 平沢尚毅, 小野村虎雄, 酒井正幸, 山本栄 ; ワークステーションとオペレータに関するマルチパラメトリックモデルの構築 その2 エンジニアリングワークステーションの場合, 日本人間工学会関東支部大会予稿集, p99-100, 1988
- 16) 野呂影勇編 ; 図説エルゴノミックス, 日本規格協会, 1990
- 17) Povlotsky, B. & Dubrovsky, V. ; Recommended versus Preferred in Design and Use of Computer Workstations, p501-505, Proceedings of HFS 32th, 1988
- 18) 労働省労働基準局 ; VDT 作業のための労働衛生上の指針, 中央労働災害防止協会, p5-18, 1985
- 19) 斉藤進, 外山みどり他 ; VDT 作業時の視線の高さの解析とワークステーション設計への提案, 人間工学, Vol. 28, 特別号, p462-463, 1992
- 20) 酒井正幸, 平沢尚毅, 野呂影勇 ; VDT のヒューマンインターフェイスワークプレースの寸法系の検討一, 三菱電機技報, Vol. 63, No. 3, 1989
- 21) 外山みどり, 斉藤真他 ; 視線方向を考慮した快適 VDT ワークステーションの設計, 第8回ヒューマン・インターフェイス・シンポジウム論文集, Vol. 8, p517-522, 1992
- 22) 戸上英憲, 野呂影勇 ; VDT 作業台の最適高さの研究, 人間工学, Vol. 23, No. 3, pp155-162, 1987
- 23) Wall, DE, M., Riel VAN, M. P. J. M., Aghina, J. C. F. M., Burdorf, A., Sniijders, C. J. ; Improveing the sitting posture of CAD/CAM workers by increasing VDU monitor working height, Ergonomics, Vol. 35, No. 4, pp427-436, 1992