

手書き入力における字枠と行枠の幅と高さの関係式

任 向 実[†] 守 屋 慎 次[†]

本研究の最終目標は、ペン入力コンピュータ画面上の手書き文字入力枠におけるデザインのガイドラインをヒューマンインタフェースの設計者に提供することである。本論文の目的は、ペン（スタイラスペン）で字を筆記する際に用いる画面上の字枠と行枠のそれぞれの、幅と高さの関係式を求めることである。関係式を求めるために、画面上で字を次第に小さく書いていく実験を実施した。実験で筆記した字種は、ひらがな、カタカナ、漢字、数字、英語の小文字と大文字、の6字種である。これらの筆記データを用いた結果を得た。(1) 行（および字）枠における幅と高さに強い相関があることが分かった。(2) 6字種のそれぞれについて、行枠と字枠のそれぞれの、幅と高さに関する回帰直線を求めた。(3) 行枠と字枠のそれぞれの、幅（高さ）を設定して高さ（幅）の95%の予測範囲を得る式を示した。(4) 行枠の高さが平均字幅よりもほぼつねに大きいことは筆者と字種によらない。市販されているペン入力携帯情報端末画面上における行（および字）枠の大きさは各システム固有であり、幅と高さの関係式の存在を意識させるものはない。幅と高さの関係式は、設計者がペン入力システムの行（字）枠画面を設計するとき、また利用者が実行時に行（字）枠の大きさを変更するときなどに有用である。

Formulas Depicting the Relationships between the Width and Height of Pen-input Character Boxes and Line-frames

XIANGSHI REN[†] and SHINJI MORIYA[†]

The aim of this study is to establish strategies for designing pen-input character boxes and line-frames. This paper seeks to determine mathematical formulas describing the optimum relationship between the width and height of pen-input boxes and line-frames. Handwritten character data was collected in an experiment called "Small Writing". The subjects wrote characters many times inside a line-frame. The size of the characters was reduced progressively each time they were repeated. We obtained the following results: (1) The correlation between the mean character width and height of a line-frame, and between the width and height of one character box are very strong for all kinds of character (they were small English letters, capital English letters, numbers, hiragana, katakana, and Chinese characters). (2) We determined the regression lines relating to the width and height of one character box and one line-frame for each of six kinds of characters. (3) We also obtained prediction ranges of 95% for all six kinds characters. (4) In addition, we found that in all cases the line-height was always larger than the mean character width of a line-frame. We believe that these results will be helpful for designing pen-input character boxes and line-frames on pen-based systems.

1. ま え が き

本論文の目的は、携帯情報機器などペン入力を用いる機器において、スタイラスペン（以後、ペンと略記）で字を筆記する際に表示される画面上の字枠と行枠のそれぞれについて、幅と高さの関係式を求めることである。このような関係式が得られれば、設計者が画面上に字枠や行枠を設計することや、画面資源を有効利

用することに、また利用者が字枠や行枠を実行時に変更することに役立つ。さらに、利用者の手の無駄な動きを少なくすることにも有用と考えている。字枠と行枠の幅と高さを求める本論文の方法は、文字以外の記入欄や枠などの幅と高さを求めることに応用できるであろう。

ペン入力ユーザインタフェースの研究方向はペンを使用する目的によって、指すこと（pointing）、書（描）くこと（writing or drawing）、操ること（manipulation）のそれぞれに分類できる。本論文は、ペンで画面上に字を書くこと、そのうちでも字を書く場所に注目している。字を書く場所として、氏名・住

[†] 東京電機大学工学部情報通信工学科

Department of Information and Communication Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo Denki University

所・社名・年月日などの記入欄，伝票の金額欄や品目欄，文章を書く矩形領域，絵を描く枠，式を書く枠，など多数がある．それらのうちで本論文は，1文字を記入する枠（字枠）と，字を記入する1行の枠（行枠）に注目している．

ペン入力分野において，字などの記入枠に関する従来の研究として文献2)がある．文献2)は，1文字を筆記する枠の準最適な大きさ（幅と高さ）を求めている．文献2)における「準最適な大きさ」は，その幅と高さがそれぞれ固定の値である．本研究の目的は，字枠と行枠の幅と高さの関係式を求めることであり，文献2)とは目的が異なる．文献2)の準最適値は固定値であるため，たとえば幅か高さの一方が与えられ他方の適切な値を決める場合，不便である．その場合，本論文の幅と高さの関係式が有用となる．

本論文では，2章で手書き文字入力枠の設計例について，3章で筆記実験の方法を，4章では筆記実験の結果と検討を，そして最後に結論を述べる．

2. 手書き文字入力枠の設計に必要なこと

画面上の文字記入領域を設計しようとする場合，その領域中の行幅や行の高さを決めたり，また1文字の幅（以後，字幅と略記）や高さ（以後，字高と略記）を決める必要がある．このような設計を手書き入力枠の設計と呼ぶことにする．

本章では，画面上の手書き入力枠の大きさが，2.1節で文字記入領域以外の要因で決まる場合，2.2節で文字記入領域内の要因で決まる場合，に分けて考えてみる．

2.1 文字記入領域以外の要因で決まる場合

本節では，文字記入領域以外の要因（たとえば画面の大きさの制限）によって文字記入枠の大きさが決まる場合について考える．結論を先に述べると，このような場合，字幅と字高の候補値として，文献2)で求めた「準最適値」が使える．文献2)では，字を次第に小さく書いていく実験を実施した．そして，全被験者が全字種にわたって1画もはみ出さずに書けた最小の文字枠の大きさを，準最適値と定めた．すなわちこの準最適値は，1画もはみ出さずに書ける文字枠の，下限値を示している．この意味でこの準最適値は，「最適な」文字枠の大きさの第一次候補値として用いることができる．以下で，準最適値の字幅と字高をそれぞれ w_0 と h_0 と表す．

(1) 1行の手書き欄の設計

氏名・住所・品名・金額欄などは，1行の枠からなる手書き欄である．行枠の長さを X ，行枠内に書きたい

字数を m とする．以下に，たいへん易しい，しかし現実には生じそうな設計事例を2つ示す．

例題1：携帯情報機器そのものの大きさの制約から，行枠における X の値がすでに決まっているとき，字数 m を文字記入の観点から決めたい．

方法：式 $m=X/w_0$ によって求める．このように設計の第一次解として準最適な字幅 w_0 が使える．

例題2：画面資源の制約などから X と m のとりうる値の範囲が狭く，前もってほぼ決められているに等しいとき， m が適切か否かを，文字記入の観点から判断したい．

方法：式 $X/w_0=m'$ を用い， m' が m 程度またはそれ以下か，によって大きさの下限が判断できる．すなわち準最適な字幅 w_0 が使える．

(2) 複数行の手書き欄の設計

例題：携帯情報端末上に手書き矩形欄があつて，そこに複数の行が収容可能な場合（たとえば週間予定の記入欄）を考える．矩形手書き欄の縦幅を Y ，その行数を n とする．このような場合の Y と n は，携帯情報端末そのものの大きさや画面資源の制約，それに手書き矩形欄の用途から決まることが多く，また Y と n のとりうる値の範囲は狭いことが多い．このようなとき，1行の高さが適切か否かを，文字記入の観点から判断したい．

方法： $Y/n=h'$ を用い， h' が h_0 とほぼ等しい，またはより大きい，かで判断できる．すなわち準最適な字高 h_0 が使える．

上記の他，現実に出てきそうな事例として「 Y が既知のとき， n を決めたい」，「行数 n が既知のとき， Y を求めたい」などが考えられる．いずれも第一次解として準最適値が使える．

2.2 文字記入領域内の要因で決まる場合

文字記入領域内の要因で決まる場合の一例として，利用者が実行時に行（字）枠の幅（または高さ）だけを変更し，対応する高さ（または幅）はペン入力システム側に決めさせたい場合を考える．この場合，準最適値という固定値では要求に応えられない．手書き入力枠の幅または高さの一方が分かれば他方が得られるようにしておく必要がある．幅と高さを w ， h と表すとき，両者の関係を $h = aw + b$ （または $w = ch + d$ ）の形で求めることが可能ならば便利である．

次章では，手書き文字入力枠の幅と高さの関係を直線の回帰方程式で表現することを目的とした筆記実験を行う．直線の方程式 $h = aw + b$ ($w = ch + d$) だけでは，手書き入力枠の幅（高さ）に対する高さ（幅）の値は一意となり，余裕ある設計がしにくいこともある．

本論文では、行（字）高の予測範囲（あるいは行（字）幅の予測範囲）を求めることも考慮に入れている。

3. 実験方法

3.1 実験装置

ハードウェアは入・出力一体型タブレット（WACOM 製 HD-640A）とスタイラスペン（WACOM 製 SP-200A）そしてパーソナルコンピュータ（NEC 製 PC9801-DA）からなる。

タブレット面と液晶画面の大きさはいずれも横 230.4 mm×縦 144.0 mm である。タブレット入力空間の分解能は 0.05 mm/point，時間分解能（読み取り速度）は 100 point/sec，液晶表示の分解能は横 640 dots，縦 400 dots である。1 dot は約 0.36 mm である。図 1 に示した実験ツールの入力画面，すなわち筆記できる画面の大きさは縦 122.4 mm，横 230.4 mm である。

画面の下側メニューはペンで選択できる。下側メニュー上の「ペン」は筆記具である。筆記の途中でまちがったとき「消しゴム」で筆跡を消すことができる（しかし詰めなおさない）。「行終わり」を押すと、それまでに筆記した 1 行の情報をファイルに保存できる。「終了」を押下すると実験終了になる。

3.2 微細筆記実験

この実験では、文字群を 1 行に書くことを何度も繰り返すが、繰り返す際に、次第に小さく書いていくことが義務づけられる。そのため繰返しの中盤以降においては、かなり微細な文字を書くことになる。そこでこの筆記（実験）を、微細筆記（実験）²⁾と呼ぶことにする。

この微細筆記実験で最初に考慮すべき注意点は、第 1 行目をどのくらいの大きさで書き始めたらよいか、という点である。この点に注意を払うことなく微細筆記実験を始めた場合、被験者によっては不本意な状態で第 1 行目を書き出してしまい、適切なデータが得られないこともありうる。そこで本実験では、被験者に第 1 行目のつमりの行を複数回書いてもらい、その中から自分が無理なく書いたと思える 1 行を選んでもらうことにした。ここで「複数回」をいくつにすべきかという課題もあるが、本論文では 3 回とした。これは「複数回」とは何回かを知るために、被験者に第 1 行目のつमりの行を何回も書いてもらい、3 回も書けば十分という結論を得て決めた。

図 1 に示すように、被験者は第 1 行のつमりで、同じ筆記対象を 3 行書き、その中から 1 行をキーボードで選択する。

選択された 1 行を枠づけして、筆記内容とともに

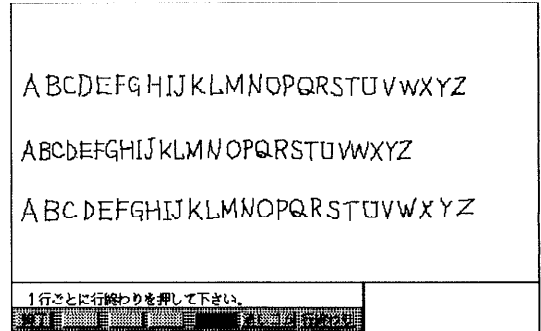


図 1 実験用システム，第一行目設定の画面例

Fig. 1 Hard copy of the screen of the experimental tool.

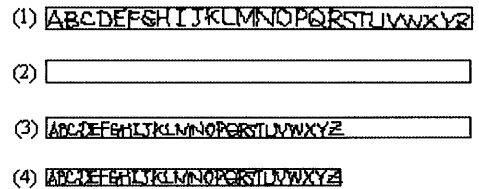


図 2 微細筆記手順

Fig. 2 Procedure for handwriting characters.

表示する（図 2 (1)）。それと同時に、下側に上側の枠と同じ大きさの枠（中空）を表示する（図 2 (2)）。ここで被験者は、上側と同一の筆記対象を下側の行枠内に、「上側の行よりは小さくしかも左詰めに書く」という指示に従って筆記する（図 2 (3) は書き終えた状況を示している）。ただし、行枠の中に納めて書けない場合、枠をはみ出して書いてもよい。筆記されたもの（図 2 (3)）をまた枠づけして筆記内容とともに表示する（図 2 (4)）。それと同時に、下側に上側の枠と同じ大きさの枠（中空）を表示する。以上のように繰り返して筆記する。行枠の幅と高さが十分に収束した場合と、被験者自身がそれ以上小さく書けないと思った場合に実験終了とする。

図 3 は、ひらがなを例にしてある被験者が筆記した一部のデータを示している。被験者が書いた 1 行を囲む枠を以下に述べる方法を用いて求める。図 3 は 1 行を囲む方法を示す。1 行の横幅，すなわちその 1 行中の、すべての画^{*}の最小の x 座標値と、最大の x 座標値との差を「行幅」と定める。また、その 1 行中の、すべての画の最小 y 座標値と、最大 y 座標値との差を「行高」と定める。1 行の行幅と行高からなる枠を「行枠」と呼ぶ。行幅をその 1 行中の文字数で割った

^{*} ここでの画とは、ペン先がタブレット面上を滑って筆跡を残した部分を指す。この筆跡は点列 $P_i(x_i, y_i)$ の列 $P_1, P_2, P_3, \dots$ として表現されている。 x_i, y_i はペン先の位置を示すタブレット座標値である。

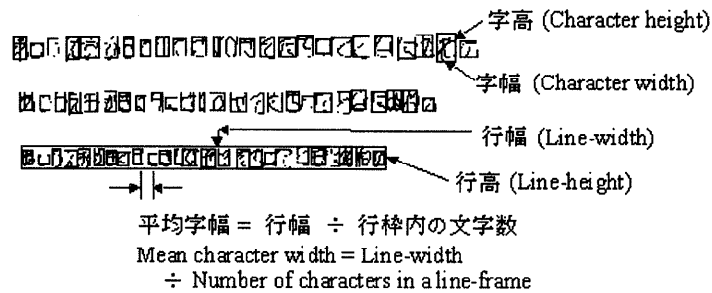


図3 ある被験者が順次小さく筆記した筆跡の一部を示す。字を囲む矩形は、実験後に字を切り出し、囲んで表示したもの。

Fig. 3 Handwritten data from a subject. The box which encloses the character shows segmentation of handwritten stroke data into the character.

値を「平均字幅」と呼ぶ。

1字の「字幅」は、その1字中の、すべての画の最小の x 座標値と、最大の x 座標値との差を指す。1字の「字高」は、その1字中の、すべての画の最小の y 座標値と、最大の y 座標値との差を指す。1字の字幅と字高からなる枠を「字枠」と呼ぶ(図3)。

3.3 筆記対象

- ・英小字: a b c d ... z
- ・英大字: A B C D ... Z
- ・数字: 1 2 3 ... 9 0
- ・ひらがな: あいうえ ... わいうえをん
- ・カタカナ: アイウエ ... ワイウエヲン
- ・漢字: 東京新横浜静岡名古屋京都新大阪岡山
広島博多

ただし数字については、1行に繰り返し2回

12345678901234567890 のように書くことにした。理由は、数字は英字に比べて字数が少ないため、1行の平均字幅を計算する際の精度をわずかではあるが高めるためである。ひらがなは、全51文字を「ひらがな1」(あいうえ ... なにぬねの)と「ひらがな2」(はひふへ ... わいうえをん)に2分し、それぞれを1行に筆記した。理由は、51文字のすべてを1行に筆記しようとする、筆記に無理がともなうからである。カタカナも同様に「カタカナ1」(アイウエ ... ナニヌネノ)と「カタカナ2」(ハヒフヘ ... ワイウエヲン)に2分した。漢字は他の字種に比べ字数が圧倒的に多いので、本実験では一部分の漢字について実験した。1例として、東海道新幹線における東京駅から博多駅までの主要な駅名(地名としてもよく使われている)21字を選んだ。21という数は1行に無理なく書ける字数である。

3.4 被験者

被験者としての筆記者は大学生20人で、男性18人、

女性2人である。年齢は20から26歳、いずれも右利きである。そのうちペン利用の熟練者が3人、ごくわずか経験のある者が4人、未経験者が13人である。この20人を10人ずつ2つのグループ(グループAとB)に分けた。グループAは英小字、英大字、数字のそれぞれを、グループBはひらがな1と2、カタカナ1と2、漢字のそれぞれを筆記した。

字種を混合せずに筆記した理由は、一例として年月日や金額などのように、現場では限定した字種だけを記入することが比較的多いこと、さらに、本論文は幅と高さの関係式を求める最初の試みであるため、字種ごとの特徴を調べる方が基礎的データを得やすいと考えたからである。なお被験者は座って筆記した。

4. 実験結果と検討

微細筆記実験で筆記された総行数(と総字数)は10人(グループAとB内のそれぞれにおいて)全員の分を合計すると、英小字239行(6214字)、英大字243行(6318字)、数字260行(5200字)、ひらがな442行(11266字)*、カタカナ425行(10843字)**、漢字208行(4368字)である。

図4は、数字を例にして、平均字幅と行高の変化を、筆記の繰返しにそってグラフにしたものである。行高の変化と平均字幅の変化を強調するため2種類の線で示した(すなわち、被験者の区別をグラフ上では明示していない)。グラフを見ると、行高と平均字幅の第1回目にはかなりの個人差がある。15回目付近以降では、文字枠の大きさの変動範囲はほぼ収束している。以上についてはその他の字種についても成立し

* ひらがな1は226行(5650字)、ひらがな2は216行(5616字)

** カタカナ1は207行(5175字)、カタカナ2は218行(5668字)

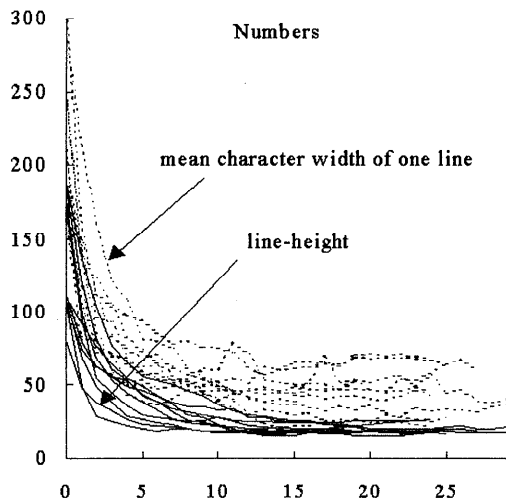


図4 平均字幅（行幅をその1行中の文字数で割った値）と行高の変化。横軸は繰り返し筆記する行の回数、縦軸はその行における平均字幅と行高（単位：point, 0.05 mm/point）。グループAの被験者10人が数字を筆記したもの。

Fig. 4 Variation in the mean character width of a line and line-height sizes of the squares. The x-axis shows the number of times a line was written, y-axis represents the width and height [point, 0.05 mm/point] of characters inside a particular line. Numbers written by the ten subjects in group A.

ている。数字以外の字種に関する同様なグラフは文献2)を参照されたい。

3.2節で行（または字）の定義により、行枠の平均字幅と行高の組み数は行数と等しい。英小字の行枠の幅と高さの組数は239組、英大文字は243、数字は260、ひらがなは442、カタカナ425、漢字は208組である。字枠の、字幅と字高の組み数において英小字は6193、英大文字は6245、数字は5200、ひらがなは10934、カタカナ10512、漢字は4304組である。

以上のような行（字）枠のデータを用いて、字種ごとの行（字）枠の幅と高さとの関係を調べる。具体的には、相関係数と、回帰直線 $h = aw + b$ ⁴⁾（ま

☆ なお、字の乱れ、字と字の区切りを判別できない一部のデータを削除した。これらの削除したデータはすべての筆記データ（全字種と被験者全員）のうちの1.49%を占めている。

☆☆ 2つの変数の間に直線的な関係があるときに、その2つの変数の間のつながりの強さを表はる指標として相関係数がある。また行（字）枠の幅と高さの間の関係を取り扱うために回帰法がある。実際の平均字幅と行高、字幅と字高、の関係を回帰方程式でどの程度説明できたかは決定係数 R^2 で表す。 R^2 は0と1の間の数値で1に近いほど字幅と行高の間の関係は回帰方程式によくあてはまることを意味している。

表1 6字種の相関係数と決定係数（行枠）

Table 1 The correlation coefficients and coefficients of determination of the six kinds of characters (line frames).

字 種	相関係数	決定係数 R^2
英小字	0.85	0.72
英大文字	0.92	0.84
数字	0.92	0.84
ひらがな	0.91	0.83
カタカナ	0.90	0.81
漢字	0.93	0.86
平均値	0.91	0.82

表2 6字種の相関係数と決定係数（字枠）

Table 2 The correlation coefficients and coefficients of determination of the six kinds of characters (character boxes).

字 種	相関係数	決定係数 R^2
英小字	0.69	0.48
英大文字	0.86	0.74
数字	0.82	0.67
ひらがな	0.78	0.61
カタカナ	0.84	0.70
漢字	0.88	0.78
平均値	0.81	0.66

たは $w = ch + d$ ）および余裕の設計のための予測範囲¹⁾を求める。

4.1 行枠と字枠の相関

行枠に注目し、平均字幅と行高の相関係数を、字種ごとについて調べた。表1の2列目に字種ごとの平均字幅と行高との相関係数を示している。6字種の相関係数は0.85～0.93の間で、これらの平均値は0.91であり、強い相関があることが分かる。

次に字枠に注目し、字幅と字高の相関係数を、字種ごとについても調べた。表2の2列目に字種ごとの字幅と字高との相関係数を示している。6字種の相関係数は0.69～0.88の間で、これらの平均値は0.81である。平均値でみると強い相関のあることが分かる。

字枠の相関係数が行枠のそれより小さいことから、字幅と字高（字枠）のばらつきが平均字幅と行高（行枠）のそれより大きいことを示している。この理由は1行中に筆記した文字の大きさにばらつきがあるからである（図3参照）。

4.2 行（字）枠の回帰直線

図5に、6字種のそれぞれについて平均字幅 w の関数として行高 h の直線回帰式を示す。図5の各グラフの右端、すなわち平均字幅と行高の最大値は、微細筆記実験における第1行目の値である。微細筆記実験では、次第に小さく書くことを繰り返したので、実験が進行する方向は、これらの図の上では縦軸の値と

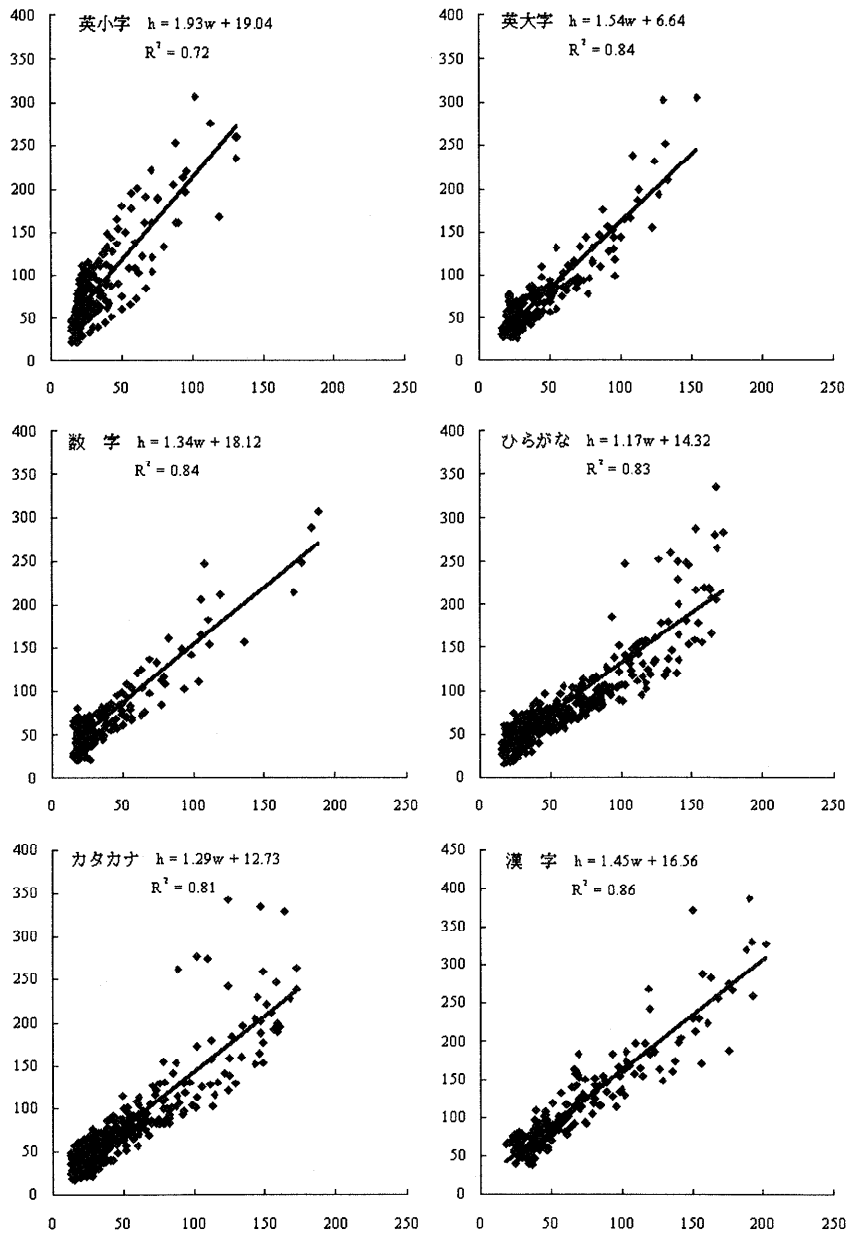


図5 字種ごとの行枠の幅対高さの回帰直線。横軸 w 、縦軸 h の単位は points, 0.5 mm/point. 被験者全員のデータ

Fig. 5 The regression lines from the mean character width and line-height of one line of small English letters, capital English letters, numbers, hiragana, katakana and Chinese characters. The w -axis and the h -axis represent points (0.05 mm/point).

横軸の値が次第に小さくなる方向である。平均字幅と行高の値が最大に近い付近ではプロット点と近似式との距離が大きくなっている。この理由は、微細筆記実験における第1行目を、被験者が3行中から1行を選択する方法で決定したため、個人差が大きいことによ

る。図5の英小字の R^2 が最小 (0.72) であり、英小字の平均字幅と行高は他字種より大きくばらついている。一方、漢字は6字種の中で R^2 値が最大で 0.86 となり、漢字の平均字幅と行高のばらつきが少ないことを示している。図6における英小字と漢字の字枠に

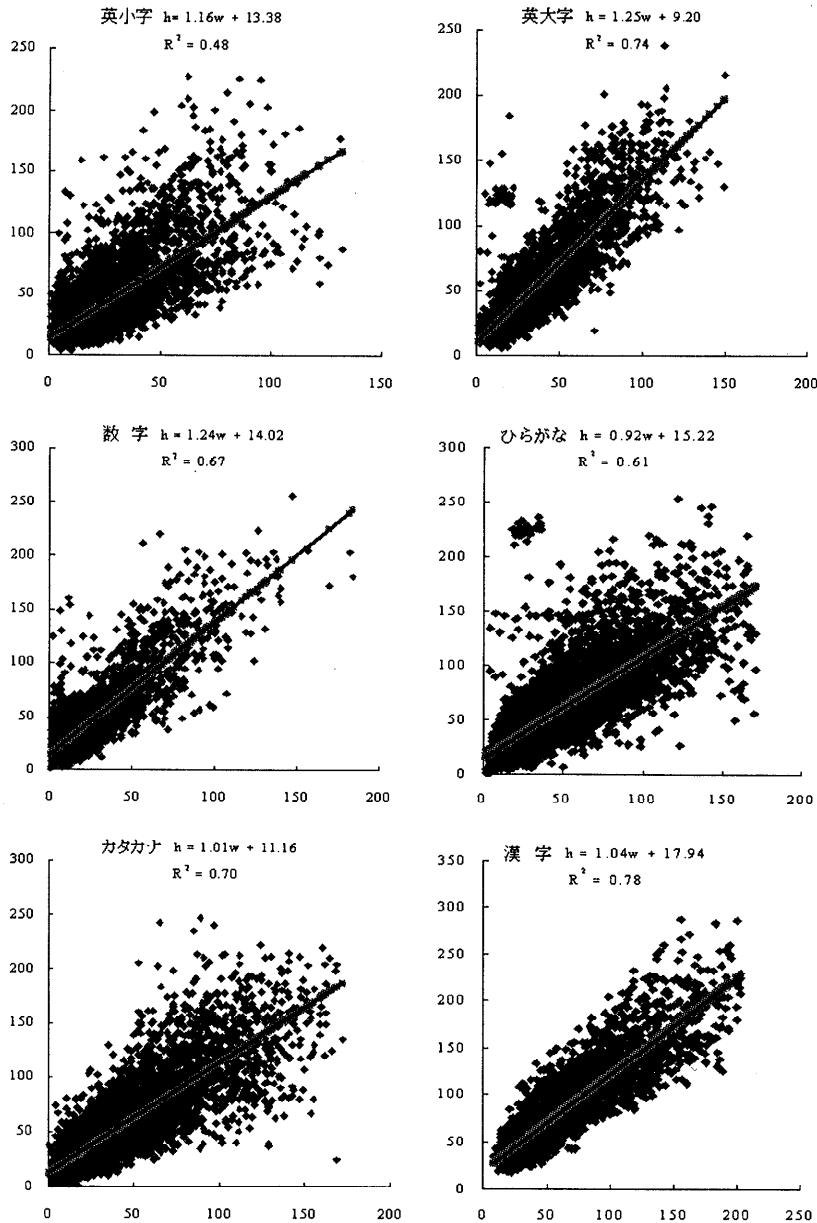


図6 字種ごとの字枠の幅対高さの回帰直線。横軸 w 、縦軸 h の単位は points, 0.5 mm/point. 被験者全員のデータ

Fig. 6 The regression lines from width and height of one character box of small English letters, capital English letters, numbers, hiragana, katakana and Chinese characters. The w -axis and the h -axis represent points (0.05 mm/point).

についても同様な傾向があることを示している。

表3に行枠に関する直線回帰式 $h = aw + b$ と表4に $w = ch + d$ をまとめている。ここで、 $h = aw + b$ と $w = ch + d$ の利用のしかたについて補足しておく。平均字幅（行高）が先に決められていて行高（平

均字幅）の値を予測したいとき、式 $h = aw + b$ ($w = ch + d$) を利用することができる。しかしその逆は注意が必要であり、行高（平均字幅）が先に決められて平均字幅（行高）の値を予測したいとき、式 $h = aw + b$ ($w = ch + d$) は使えない³⁾。

表3 平均字幅 w から行高 h を求める回帰方程式と予測誤差 (行枠)

Table 3 The equations for determining height when width is given and 95% of the prediction errors (w is width; h is height; a and b are constants) (line frames).

字 種	$h = aw + b$ (points)	h の予測誤差 (95%)
英小字	$h = 1.93w + 19.04$	52.01
英大字	$h = 1.54w + 6.64$	35.49
数字	$h = 1.34w + 18.12$	31.71
ひらがな	$h = 1.17w + 14.32$	39.53
カタカナ	$h = 1.29w + 12.73$	44.02
漢字	$h = 1.45w + 16.56$	48.68

表4 行高 h から平均字幅 w を求める回帰方程式と予測誤差 (行枠)

Table 4 The equations for determining width when height is given and 95% of the prediction errors (w is width; h is height; c and d are constants) (line frames).

字 種	$w = ch + d$ (points)	w の予測誤差 (95%)
英小字	$w = 0.38h + 2.04$	22.97
英大字	$w = 0.54h + 2.83$	21.06
数字	$w = 0.63h - 6.24$	21.76
ひらがな	$w = 0.71h - 0.93$	30.79
カタカナ	$w = 0.63h + 0.70$	30.74
漢字	$w = 0.59h - 0.40$	31.11

表5 字幅 w から字高 h を求める回帰方程式と予測誤差 (字枠)

Table 5 The equations for determining height when width is given and 95% of the prediction errors (w is width; h is height; a and b are constants) (character boxes).

字 種	$h = aw + b$ (points)	h の予測誤差 (95%)
英小字	$h = 1.16w + 13.38$	39.70
英大字	$h = 1.25w + 9.20$	31.30
数字	$h = 1.24w + 14.02$	31.34
ひらがな	$h = 0.92w + 15.22$	40.04
カタカナ	$h = 1.01w + 11.16$	34.07
漢字	$h = 1.04w + 17.94$	38.62

表5に字枠に関する直線回帰式 $h = aw + b$ 、と表6に $w = ch + d$ を示している。これらの方程式の利用法は上記の説明と同様である。

4.3 字高 (または幅) の予測範囲¹⁾

$h = aw + b$ は、ある1つの w に対して一意に h を求める式であり、ある1つの w に対して h がとりうる値の「範囲」を求める式ではない。すなわち、ある1つの w に対して h がとりうる値の「範囲」を、式 $h' = h \pm zh_e$ で求めることを考えてみよう。ここで h' は h の予測範囲、 z は正規変数、 h_e は h の標準誤差、 zh_e は h の予測誤差、と呼ばれている¹⁾。それぞれの値を求める式を付録 A.1 に示した。

一例として、ある w が与えられたとき、字高 h としてとりうる値の95%が、その予測範囲に含まれる

表6 字高 h から字幅 w を求める回帰方程式と予測誤差 (字枠)

Table 6 The equations for determining width when height is given and 95% of the prediction errors (w is width; h is height; c and d are constants) (character boxes).

字 種	$w = ch + d$ (points)	w の予測誤差 (95%)
英小字	$w = 0.41h + 7.57$	39.70
英大字	$w = 0.59h + 2.81$	31.30
数字	$w = 0.54h + 0.16$	31.34
ひらがな	$w = 0.66h + 5.32$	40.04
カタカナ	$w = 0.69h + 2.63$	34.07
漢字	$w = 0.75h - 0.67$	38.62

ように h' を決めたい場合を考える。95%の場合 z の値は正規分布表より1.96であるから $h' = h \pm 1.96h_e$ となる。この式で $\pm$ の部分に注目すると、95%が含まれるようにするということは本論文では字高を増すことを意味するので、+の場合だけが意味を持つ。したがって計算に用いる式は $h' = h + 1.96h_e$ となる^{*}。1.96 h_e は字高 h の予測範囲の95%の予測誤差と呼ばれる。表5の3列目に、字種ごとの字高の95%の予測誤差を計算し、まとめた。同様に、字幅 w の予測範囲は $w' = w + zw_e$ と表現できる。表6の3列目に字種ごとの字幅の95%の予測誤差を例示した。

なお、上記と同様な考え方で、行枠を設計する際に有用となる、平均行幅と行高に関する字種ごとの行高の95%の予測誤差を表3の3列目に、字種ごとの平均字幅の95%の予測誤差を表4の3列目に、計算し、まとめた。

4.4 文字を筆記する際の特性

表3と表5の直線方程式 $h = aw + b$ をみる限り、係数 $a > 1$ (ひらがなの字枠が例外で0.92)、しかも切片 $b > 0$ なので、行高が平均字幅よりも、また字高が字幅よりも大きい傾向があることを示している。そこで、行高対平均字幅の傾向を詳細に調べるため、すべての行枠について行高と平均字幅を、またすべての字枠について字幅と字高を調べてみた。

行枠について調べたところ、グループ B 中のある1人の被験者が書いた2行分のデータを除くと、全員の全データについて、行高は平均字幅よりもつねに大きいことが分かった。それでは、このことが成立しなかった上記1人の被験者の場合を詳細にみてみよう。行高が平均字幅より小さくなったのは次の2つの場合

^{*} ここでは95%を含めるといい方で述べているが、 h' の式では+の場合だけが意味を持つので、95%に含まれない部分 ((100-95)%) のうち側部分 ((100-95)/2%) も含まれることになる。言い換えると、上記の式で95%として計算すると、字幅 w と字高 h' からなる文字枠の中には、理論上、字高としてとりうる値の97.5% ((100-95)/2+95) が含まれることになる。

だけである。ひらがな1の微細筆記実験において、この被験者が5回目に行った行(第5行目)の行高は、字幅より5 dots (0.3 mm) だけ小さかった。同様にカタカナ2の微細筆記実験における第5行目の行高は、平均字幅より10 dots (0.5 mm) だけ小さかった。これらの2例は、本研究における全被験者20名が、全6字種に関して微細筆記した全データ(合計1817行)中の2行(0.1%)において生じたことである。

したがって、1行の文字を筆記する際に、筆記者が意識して書く場合を除けば、ほぼつねに行高は平均字幅より大きい。人間社会に制度として署名が利用されているように、筆跡は人に固有の特徴を持つが、本実験結果によると人や字種に依存しない、1行の文字を筆記する際に、上に示した行高と平均字幅の関係は人に固有というより、人に共通な特徴といえる。これは簡単な事実ではあるが、新たな知見であり、少なくとも行枠を設計する際に有用な事柄である。

字枠について調べたところ、総字数(43388字)でみると字高が字幅より大きいものは総字数の86.21%を占めている。字高が字幅より大きいものの割合を大きい順に字種ごとに列挙すると、数字95.09%、英大文字92.03%、漢字87.01%、英小文字85.81%、カタカナ79.36%、ひらがな77.98%となる。このことを表5の方程式の係数 a からみると、6字種の最小値はひらがなで0.92となっており、上記の順と一致している(他の字種には順序が一致していないものがある)。このように字枠についても字高が字幅より大きいものがかなり多いことが分かった。現在使用されている字枠(紙上および画面上)では、数字の字枠を縦長に漢字の字枠を正方形に設定することが多いようである。しかし、字高が字幅より大きい漢字が、本実験によれば全漢字の87.01%に及ぶという結果が得られた。この事実は、携帯情報機器などの画面上の字枠を設計する際に役立つであろう。

5. む す び

本論文では、画面上にペン(スタイラスペン)で手書き文字を入力する際の、行(字)枠の幅と高さの関係式を、6字種(ひらがな、カタカナ、漢字、数字、英語の小文字と大文字)のそれぞれについて求めた。関係式を求めるために、画面上で字を次第に小さく書いていく実験を実施した。このような問題を提起し、行(字)枠の関係式を求める方法を示し、また関係式を求めたのは本研究が最初である。ただし、本論文で実施した実験法そのものは文献2)と同じ方法である。

本論文の関係式は、画面設計者が行(字)枠の大き

さを決める際に利用できる。たとえば、携帯情報端末で手書きメールやメモ欄を設計する際に行枠の関係式は役立つであろう。数字の字枠の関係式は伝票の金額記入欄の設計に、漢字の字枠の関係式は文字認識枠の設計に利用できる。また、利用者が行(字)枠の大きさを変更する際にも有用であろう。たとえば、利用者が字幅(字高)を好みの大きさに変更したとき、字高(字幅)の第一次候補値は本論文の関係式で自動的に決めるによって、利用者に手の動きをできる限り少なくしたインタフェースを与えられるであろう。

上記の用途例が示すように、また手書き文字入力枠は多様な人が多様な状況で筆記する場所であるということから、本論文で示した関係式は絶対的な意味を持つものではなく、また式そのものが普遍的に成立することを意味しない。しかし、本論文の筆記実験の範囲内ではあるが、比較的多数の被験者が比較的多数の行(特に字)を筆記して得られた式であることから、本論文の関係式は行(1817行)、または字(43388字)枠の大きさの第一次候補値を求める手段として、本実験以外の筆記者や本実験以外の筆記条件でも利用可能と考える。

ペン入力を使いやすくするために手書き文字入力枠の大きさに注目したこと、幅と高さの関係式を求めることを提案したこと、関係式を求める方法を示したことは普遍性ある結果である。これらは、文字以外の記入欄や枠などの幅と高さを求めることに、直接応用できる。

本論文では、行(字)枠の幅と高さの関係式の他に、次の結果を述べた。

- 行(字)枠の幅と高さの間に強い相関のある(字種ごとの、行枠の相関係数の平均値は0.91、字枠のそれは0.81)ことが分かった。
- 行(字)枠の幅(高さ)に関する95%の予測誤差を得る式を、字種ごとに求めた。字の幅(高さ)の値を設定するとき、高さ(幅)がどの程度の範囲を必要としているかを、知ることができる。
- 全実験データをみると、行高は平均字幅よりも、ほぼつねに(0.1%程度の例外を除いて)大きいことが分かった。なお、字枠について総字数(43388字)でみると字高が字幅より大きいものは総字数の86.21%を占めていることが分かった。

本論文の以上の結果は、今後、手書き文字入力枠やその他の記入欄の、大きさに起因する使いやすさを向上するうえで有用と考える。

文字入力枠の関係式をより実用にするため、字種が混じった文を筆記する場合、立って筆記する場合、障

害を持つ人や高齢者の場合、さらにそれらの各場合、また、実際に使用する可能性の高い社会人や中高校生、小学生も筆記者に加えた評価実験を行うことなどが、今後の課題である☆。

謝辞 被験者として快く実験にご協力いただいた東京電機大学工学部情報通信工学科守屋研究室の卒研究生、輪講生の諸氏に感謝します。本実験のデータ処理に関して和田裕樹氏、洪信正氏による多大な貢献に謹んで感謝の意を表する。有益なコメントをいただいた査読者に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) ホーエル, P.G.: 初等統計学 (第4版), 培風館 (1981).
- 2) 任 向実, 守屋慎次: ペン入力文字枠の最小値と準最適値, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.3, pp.645-659 (1995).
- 3) スティール, R.G.D., トリー, J.H.: 例題・応用統計学, マグロウヒルブック (1986).
- 4) 和田秀三: 統計入門, サイエンス社 (1990).

付 録

A.1 予測範囲を求める式

実験データ (標本) の大きさが十分大きい場合、大標本法を適用する。ここでは、 h' は設定したい h の値の上限である。 z は正規分布表から調べる。 h_e は h の標準誤差, zh_e は h の予測誤差である。

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

ここで、

x : 正規曲線の任意の点

μ : 正規分布の平均

σ : 標準偏差を表す定数

$$h_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (h_i - h'_i)^2}$$

(平成 9 年 8 月 25 日受付)

(平成 10 年 4 月 3 日採録)

任 向実 (正会員)

1965 年 8 月生。1991 年 3 月東京電機大学工学部電気通信工学科卒業。1996 年 3 月同大学大学院情報通信工学専攻博士課程修了。工学博士。1996 年 4 月より同大学工学部情報通信工学科助手。Human-computer interaction の全分野、特に pen-based input, multi-modal interaction, usability testing などに興味を持つ。電子情報通信学会、計測自動制御学会ヒューマンインタフェース部会、British HCI Group 各会員。



守屋 慎次 (正会員)



1944 年 12 月生。1973 年 3 月東京電機大学大学院博士課程修了。工学博士。現在、同大学工学部情報通信工学科および同大学院博士課程教授。1981 年ニューヨーク州立大学、1982 年イリノイ大学の各計算機工学科客員準教授。1992 年中国雲南省計算機学会研究教授、1994 年雲南工業大学客座教授。Interacting with Computers 誌の Special Editorial Board などを歴任。ペン入力システム、音声入力ユーザインタフェース、インタラクションのモデル化の研究に従事。電子情報通信学会、計測自動制御学会、人間工学会、テレビジョン学会、ACM, IEEE 各会員。