

仮名文字鍵盤配列の評価と設計

中山剛 黒須正明
(日立製作所中央研究所)

1. はじめに

先に仮名漢字まじりの日本文を鍵盤から入力する場合の、各種入力方式の入力速度予測モデル¹⁾を紹介したが、その続編として、鍵盤打鍵モデルによる鍵盤配列の評価を試みたので報告する。文字鍵盤は日本語入力にかぎらず、計算機を始めとする各種情報機器の情報入力手段の基本的要素であるが、これまで、必ずしも、合理的な配列の評価が行なわれなかった。その一因は人間の打鍵プロセスの定量的なモデルが作成困難であったためと考えられる。本研究はこの点に着目し、最近の知見を用いて、打鍵モデルを作成し、これにもとづいた文字鍵盤の評価を行なうと共に、同じモデルによって鍵盤配列の最適化を試みたものである。

2. 鍵盤打鍵モデルによる鍵盤配列評価法

既報のように、

- $S(t)$: t 時間訓練後のタッチ打法による鍵盤打鍵速度 (ストローク/分)
- M : 完全習熟時の打鍵速度飽和値 (ストローク/分)
- G : 学習立上がり係数
- τ : 等価先行経験時間 (時間)
- t_0 : 訓練時間 (時間)

とすると、打鍵速度 $S(t)$ は次式で表される。

$$S(t) = M(1 - e^{-G(t+\tau)}) \quad (1)$$

(1) 式の飽和値 M は次のようなモデルによって鍵盤配列と関係づけることができる。すなわち、 T を文字キー一打の平均打鍵時間とすると、

$$M = \frac{60}{T} \quad (\text{ストローク/分}) \quad (2)$$

で表される。ここで T の単位は sec/ストロークである。さらに、平均打鍵時間は次のように展開される。

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} t_{ij} \quad (3)$$

ここで、

- p_{ij} : 連続2文字 i, j の出現頻度
- t_{ij} : 文字 i, j を入力する場合の1打平均時間 (sec/ストローク)
- n : 全文字数

である。本研究では、 p_{ij} ²⁾ は今案による日本語 digram の出現頻度を利用した。 t_{ij} をどのように表現するかが、この打鍵モデルのポイントであるが、ここではキーを打鍵する指の基本速度係数と、打鍵が左右交互打か否かなどでできる履歴係数およびキーの位置でできるキーの打鍵時間などを加味して次式で表した。

$$t_{ij} = \frac{1}{L} \sum_{q=1}^L \frac{\alpha_q R_{kq}}{Q_{hf}} \quad (4)$$

ここで、

- Q_{hf} : キー k を打鍵する手 h の指 f の打鍵速度係数で、表 1 の値とした。³⁾
 L : 連続 2 文字中の第 2 文字を入力するに要する打鍵数 (例えば消音では $L=1$ 、「ギャ」などの濁音でかつ拗音の場合は $L=3$ となる)
 R_{kq} : L ストローク中の q 番目のストロークで打鍵されるキー k の基本遅指時間 (sec)
 k : 図 1 に示すキー番号
 α_q : 打鍵履歴係数で、

先行ストロークが同手、異指で打鍵された場合 : $\alpha_q = 1.0$

"、同指、異キーの場合 : $\alpha_q = 1.3$

"、同指、同キーの場合 : $\alpha_q = 1.1$

先行ストロークが反対側の手で打鍵された場合 : $\alpha_q = 0.8$

(以上は Kinkead⁴⁾ のデータを参考にして定めた。)

更に q 番目のストロークが、同時同手シフトキー打鍵を伴う場合は、

$$\alpha_q = 1.5 \alpha_q$$

"、同時異手シフトキー打鍵を伴う場合は、

$$\alpha_q = 1.7 \alpha_q$$

表 1 手 h 指 f の打鍵速度係数 Q_{hf}

h, f	Q_{hf}	手、指	h, f	Q_{hf}	手、指
1, 1	65.0	左、親指	2, 1	70.0	右、親指
1, 2	97.1	左、人差指	2, 2	100	右、人差指
1, 3	88.5	左、中指	2, 3	94.2	右、中指
1, 4	83.5	左、薬指	2, 4	89.7	右、薬指
1, 5	75.9	左、小指	2, 5	78.7	右、小指

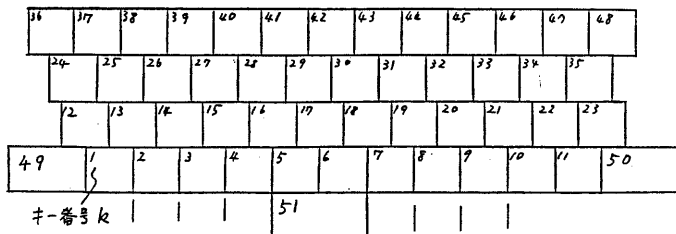


図 1 キーの位置とキー番号 k

表 2 ホームキーからキー k までの距離 d_k

キー番号 k	距離 d_k (mm)	キー番号 k	距離 d_k (mm)
1	20	26	18
2	20	27	18
3	20	28	23
4	20	29	28
5	33	30	18
6	20	31	18
7	20	32	18
8	20	33	18
9	20	34	24
10	20	35	38
11	33	36	38
12	12	37	37
13	12	38	38
14	12	39	38
15	12	40	38
16	18	41	44
17	18	42	38
18	12	43	58
19	12	44	38
20	12	45	38
21	12	46	38
22	18	47	45
23	36	49	25
24	18	50	60
25	18	51	18

とする。さらに、キー k の基本運指時間 R_k は Fitts の目標到達運動のモデル⁵⁾を参考にして次の形とした。

$$R_k = a \log_2 \left(\frac{d_k}{d_o} + 0.5 \right) \quad (5)$$

ここで、

d_k : キー k を打鍵する指のホームキーからキー k までの移動距離 (mm)
 d_o : キートップの幅 (mm)
 a : 時間係数で、ここでは 3.67

とする。表2に dk の例を示す。また仮名文字1字を入力するに要する平均ストローク数 n を次のように定義する。

$$n = \sum_j \sum_i p_{ij} L_{ij} \quad (6)$$

ここでは便宜上、JIS 4段配列鍵盤に対する n を n_o とし、任意の鍵盤に対する n を n' とした次の比で表す。

$$n = \frac{n'}{n_o} \quad (7)$$

3. 第1次最適化鍵盤配列設計法とその適用例

鍵盤配列の最適化は(3)式の T を最小にする条件を求めることによって行なわれる。これは、形の上では、 T を微分して、その極小条件を求めれば良い。しかし、(3)式の左辺の p_{ij} は i, j について既定の値をとり、 t_{ij} も任意の値をとる連続変数でなく、実は(4)式に示されるように R_{ij}^{kf} 、 Q_{ij}^{hf} 、 α_q の組合せで決まるため、このような形式的な扱いは不可能である。したがって、ここでは p_{ij} が大なる文字 i, j の組合せには t_{ij} の値がなるべく小さくなるようにし、 t_{ij} の値の大きい条件は p_{ij} の小さな i, j と組み合わせるという考え方をとる。これを実行するには次の相関係数 r を最大にする組合せを求めればよい。

$$r \left(p_{ij}, \frac{Q_{ij}^{hf}}{\alpha_q R_{ij}^{kf}} \right) \longrightarrow \text{Max.} \quad (8)$$

この解を求める反復計算プログラムを作成しても良いが、計算量が莫大なものとなるので、今回は、次の手続による第一次近似解を求めた。

(1) 次式により全てのキーについて打鍵ポテンシャル H_k を求める。

$$H_k = \frac{Q_{kf}^{hf}}{R_k} \quad (9)$$

(2) p_{ij} の行平均 $p_{\cdot j}$ を求める。

$$p_{\cdot j} = \frac{1}{n} \sum_i p_{ij} \quad (10)$$

(3) H_k と $p_{j,k}$ をそれぞれ大なる順に配列する。

(4) 両配列の対応する要素から、キー k と文字 j の組合せを求める。これに基づいて、キー k に文字 j を割り付けられ、キーのもつ打鍵ポテンシャルと文字の出現頻度の対応がとれた文字配列が得られる。

この様にして求めた文字配列は、 α の効果を直接には配慮していない。しかし表 1 に見るように、左右手の打鍵速度係数 Q_{hf} を大なる順に並べるとほぼ左右手交互になるので、 H_k にもこれが反映され、 H_k を大なる順に配列した時に、それに含まれる Q_{hf} も左右手のものが交互に現れると考えられる。さらに digram 中で出現頻度の大きな文字 i, j は平均頻度 $p_{i,j}$ も大であり、かつ、 $p_{i,j}$ の大なる順に配列した時に上下に隣あった文字が i, j の対として出現する確率も同様であると考える。すると上記の様な手続によって文字 j をキー k に割り付けた時に、digram 中の文字 i, j の打鍵が両手交互打で行なわれる確率も大になると考えられる。

この様な手続で求めた 4 段配列についての文字 j とキー k との対応を表 3 にしめす。また、これを図 1 の鍵盤上に割り付けた第一次最適化配列を図 2 にしめた。更に 3 段配列についての H_k と $p_{j,k}$ の対応表を表 4 に、配列結果を図 3 に示す。但し図 3 の文字キーの上段の H_k は、親指同時シフトのため、 $1/1.5$ の計算になっている。

4. 結果の評価

4. 1 打鍵速度の評価

以上の様な手続で求めた第一次最適化配列鍵盤と、従来の鍵盤の打鍵速度の比較を図 4 に示す。この打鍵速度は 2 項で述べた鍵盤打鍵モデルにより、各鍵盤の飽和打鍵速度 M を求めたものである。図中で $K4$ は 4 段配列を表し、 $K3$ は 3 段配列を表す。また、仮名 1 字入力に要する平均ストローク比とは、(7) 式の α のことである。また、 $K4$ 改良配列は、図 5 に示すものであり、先に我々が指使用率を、ホームキーを中心に大にする例として提案したものである。また、50 音配列は最近時々見掛ける図 6 のようなもので、図 4 に見るように、使用頻度の大きな文字が周辺に配列されているため打鍵速度が遅くなる。図 7 には JIS 3 段配列案を示す。

図 4 にはローマ字入力時の英字キー打鍵速度予測結果も併記してある。既報の実験データからの外挿によれば、 M は仮名キーで 400、英字キーで 500 と推定されている。本モデルによる予測では英字キーの打鍵速度が、この予測値より 17% ばかり大である。しかし、英字の打鍵速度は 120 W/min. 程度までは行くとされており、この予測値は妥当な範囲にあると思われる。

3 段配列の鍵盤で上段の文字を入力するには、文字キー打鍵指と同一手の親指でシフトキーを打鍵する。図 4 の

表 3 文字頻度 P_j とキーポテンシャル H_k の大なる順に並び、 $p_{j,k}$ とキーの組合せ (4 段配列)

文字 j	P_j	キー k	H_k	文字 j	P_j	キー k	H_k
濁点	94525	18	171.0	オ	13075	28	76.3
イ	64825	15	166.0	マ	11450	24	75.9
ウ	56525	19	161.0	テ	11300	2	74.9
シ	52825	20	153.3	ソ	10950	10	70.6
ン	49875	14	151.3	レ	10875	1	68.0
カ	36400	13	142.7	ハ	10450	29	66.6
ツ	36000	21	136.5	ワ	10425	34	59.5
タ	29150	12	129.8	ノ	10325	5	57.3
ク	28850	17	100.0	モ	9000	42	53.3
キ	27800	30	100.0	ニ	8950	40	51.8
ヨ	26800	16	77.1	ヤ	8075	44	50.3
コ	21850	27	97.1	エ	7950	45	47.9
ト	19600	31	94.2	ヒ	7250	39	47.2
ナ	17100	32	89.7	フ	7175	41	47.2
ル	16550	6	89.6	ホ	6925	11	46.3
ケ	16075	7	89.6	ロ	6450	38	44.5
ラ	15625	26	88.5	ミ	6375	33	43.5
サ	14775	8	87.4	メ	3525	35	42.0
ア	14675	25	84.4	ヘ	3400	46	42.0
ス	14325	9	83.5	キ	3025	43	41.4
ユ	13750	3	80.4	ネ	550	37	41.2
セ	13650	3	79.3	ム	0	36	40.5
リ	13400	22	78.7	ズ	0	47	37.7
		33	78.7				

16	37	38	39	40	41	42	43	44 (47)	45	46	47	48
ム	ネ	ロ	ヒ	ニ	フ	モ	。	ヤ	エ	ハ	ヌ	
24	25	26	27	28 (29)	29	30	31	32	33	34	35	
マ	ア	ケ	コ	オ	ハ	キ	ト	ナ	リ	ワ	メ	
12	13	14	15	16 (17)	17	18	19	20	21 (22)	22	23	
タ	カ	ン	イ	ヨ	ク	ッ	ウ	シ	ツ	セ	ミ	
49	1	2	3 (24)	4	5	6	7	8	9	10	11	50
シフト	レ	テ	ユ	ラ	ノ	ル	サ	ス	ソ	ホ	シフト	
					51							
					スハース							

図 2 4 段配列の 1 次最適化後の文字鍵盤

打鍵速度だけについて見ると、図4に示すように、3段配列、4段配列とも、配列内では第一次最適化配列の打鍵速度が最大で、最適化の効果が表れている。第一次最適化4段配列鍵盤は現行のJIS4段配列に比較して28%速く、図5の改良4段配列鍵盤と比較しても9%大である。また、3段配列最適化鍵盤はシリアル打鍵の方が高速で、JIS4段配列より49%も速く、3段配列のJIS鍵盤率より22%速い。

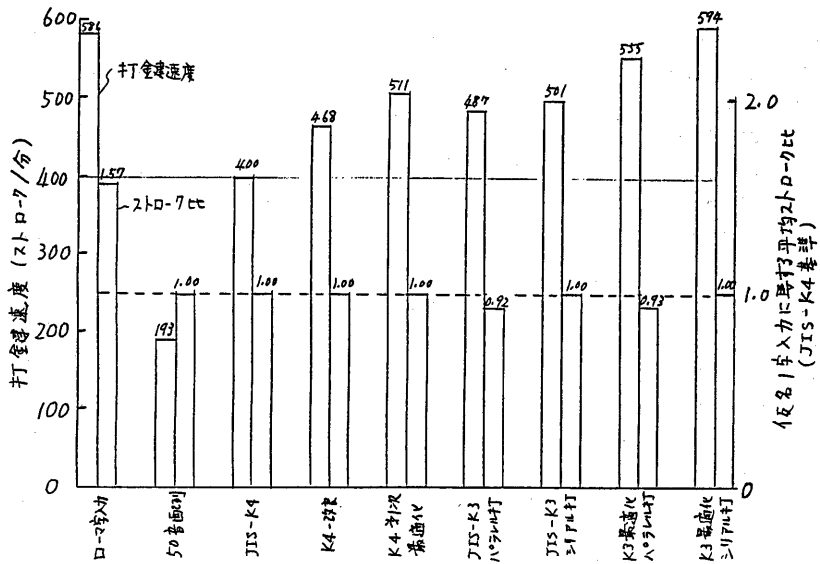


図4 文字鍵盤配列と予測飽和打鍵速度

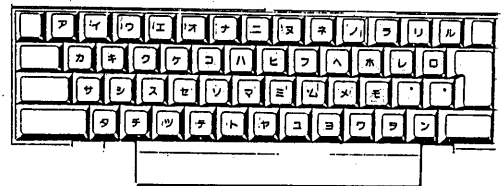
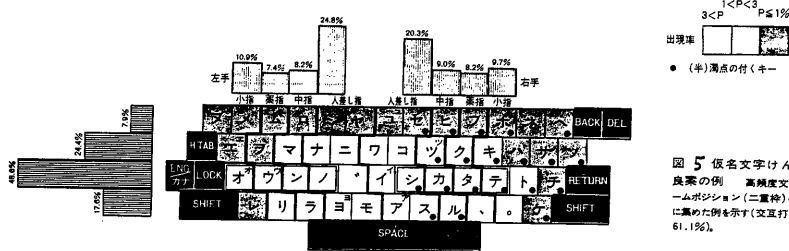


図6 50音面割鍵盤

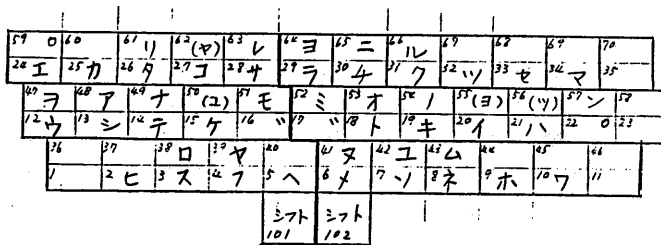


図7 3段配列JIS仮名鍵盤序

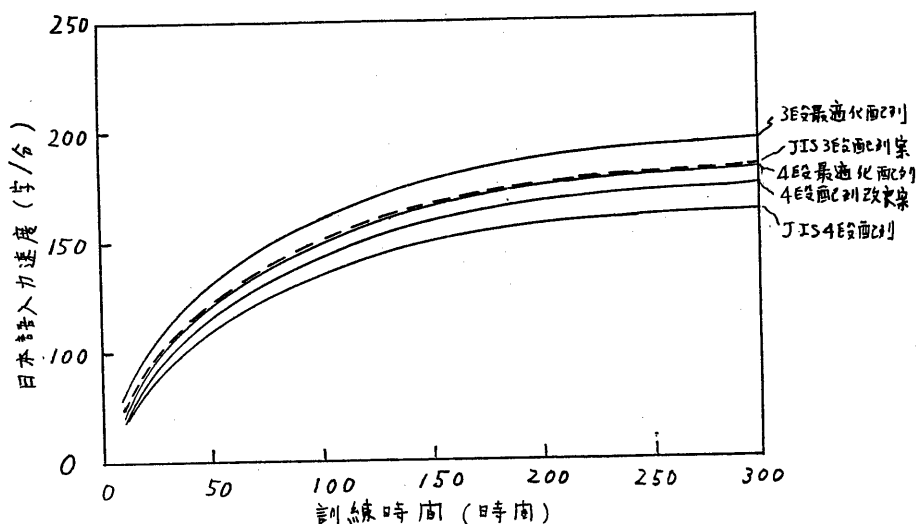


図8 日本語入力速度の比較

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
又	ヘ	ヤ	フ	ネ	メ	ホ	ロ	マ	ミ	ム		
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
ス	ケ	ト	ウ	テ	ニ	コ	キ	ワ	オ	ハ		
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
ア	セ	カ	タ	チ	ユ	イ	ル	ラ	ヨ	ヒ	エ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
モ	サ	ソ	シ	ス	ン	ノ	フ	レ	ソ	リ		

図9 高頻度 digram 文字打基準による文字配列

難しい(この意味で第一次最適化配列と呼ぶ)。この問題を検討するため、digram を頻度順に一次元の配列に並べ直し、頻度の大きい文字対 i, j に優先的に H_{ij} の大きなキーのペアを、常に i, j に対し両手交互打になる条件で割り付けてみた。この場合、 p_k の大きさの順にキー k を割り付けるという原則をとり、既に前に割り付済みの文字 i または j が低頻度文字対のいずれか一方に含まれていても先行割付を修正しないという方針をとった。このように、高頻度文字対、両手交互打基準で4段階配列鍵盤に文字を割り付けた結果を図9に示す。この配列の打鍵速度を前記モデルにより評価した所、486ストローク/分で、第一次最適化配列の511ストローク/分より遅かった。評価モデルには α_q の形で両手交互打の効果も加味されていることを考えると、この事は digram を平均した文字の出現頻度の効果の方が、2文字間の遷移条件の効果よりも大であることと、前記の第一次配列決定時の α_q に対する仮説が妥当であることを示唆するものであらうと考える。

6. おわりに

以上に打鍵モデルによる仮名文字鍵盤配列の評価と設計法の概要を紹介した。今後、機会を作って、この評価法の妥当性を実験データで裏付けてゆきたいと考えている。ただ、実際に実験を行なう場合は、個人差や訓練手続に充分注意を払わないと、実験データだからといって、必ずしも一般性のないものに終ってしまう危険性がある。その点で、本モデルのように論理的に構成されたものは、論理が妥当であれば評価の妥当性もそれなりに保証される。

いずれにせよ、今後、こうした点を考慮してモデルの信頼性の向上につとめたい。

7. 参考文献

- 1) 中山、黒須：「日本語入力速度予測モデルの検討」、情報処理学会日本文入力方式研究会資料、13-1、(1984-1)
- 2) 今栄：「日本語 digram の相対頻度とその特性」、心理学評論、4、(1960) p.85
- 3) 村山：「2ストローク入力法」、情報処理、4、6、(1982) p.552
- 4) Kinkead, R. : "Typing speed, keying rates, and optimal keyboard layout." Proc. 19th Ann Meeting, Human Fact. Soc., 159-16 (1975)
- 5) Card, K. et al. : "The Psychology of Human-Computer Interaction." Lawrence Erlbaum Associates, (1983)