

少数キーによる入力

—ユニバーサルな言語コミュニケーションを目指して—

田中久美子 東京大学情報理工学系研究科創造情報学専攻 kumiko@ipl.t.u-tokyo.ac.jp

はじめに

近年では PDA や携帯電話などの小型携帯端末が普及し、これに伴って文書入力システムが議論されるようになった。入力デバイスとしては、キーボードを用いるものからセンサや音声認識などを用いるものまでさまざまに提案されているが、少数キーによる入力は、キーボードの発展形として注目を集めている。少数キー入力の問題の本質は、言語の総文字数よりも少ないキー数を用いていかに文書を入力するかという点にある。この問題に対しては、日本は漢字の入力方法として世界で最も早くから取り組んできている。現在では、predictive text entry として世界的に研究されるようになり、日本で発展してきた技術上の思想が世界中の言語へ広がりつつある。本稿ではこの世界の流れの中で、予測入力を中心に少数キー入力を捉える。

少数キー入力は、最先端の機器類を通して発展してきたが、同時に高齢者や身体障害者とのコミュニケーションを広く支援するユニバーサルな道具としての可能性も秘めている。従来のコンピュータは、フルキーボードという特殊な環境を前提としており、そこではタッチタイプの技能に通じた達人だけを対象としてきた。しかし、計算機が日常に浸透するにつれ、ユニバーサルな入力技術が求められるようになり、その1つの解決策の鍵を少数キー入力研究が握っている。

以下ではまず入力システムの一般モデルを示し、次にさまざまに提案されている少数キー入力について述べる。

文書入力の一般的モデル

入力システムは音声認識などと同様、Shannon の通信モデル¹²⁾によりモデル化することができる(図-1参照)。ユーザがもともと入力したい自然言語文字列 W があるとき、ユーザはまずそれを Encoder 部(ユーザ

の頭の中)において入力記号列 X に変換する。 X は入力ハードウェアに依存し、センサ信号によることもある。 X はシステムに入力される際、入力ミスが生じることにより記号列 Y となる。入力支援ソフトウェアは、この Y から大もとの W を推定する。たとえば、現行の携帯電話上で最も主流の入力方式は「かな方式」といわれる。電話の各数字キーの1番に「あ」行、2番に「い」行、3番に「え」行、..., 9番に「わ」行、0番に「*」行と割り当て、かな「そ」は数字の3の5番目の文字になるので、3を5回押して“33333”を入力する。 W = “空”を入力する場合には、 X は“333339”となる。現在のかな漢字変換では入力ミスを想定していないので、 Y も“333339”である。かな漢字変換ソフトウェアは漢字候補 \hat{W} を推定し、通常はもっともらしい順番に候補を提示する。

入力方法を設計する上では、まず、

- X をどのように設計するか
- 入力ミスを想定するかどうか

を考えることになる。第1の X の設計段階では X が大もとの W に1対1に対応するかどうかで、2種類の設計方針に分かれる。 X が W に1対1で対応しない場合には、 X は曖昧であるといい、すると Y も曖昧であるから、Decoder では W を推定する必要が出てくる。この点、日本語においてはかな漢字変換の利用が一般的であるので、 X と W は1対1ではない。その一方で、英

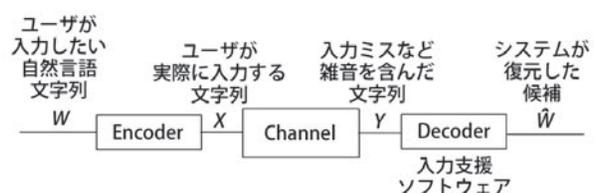


図-1 入力システムの一般的モデル

語などでは、曖昧性を利用しない方法も重要である。また、入力ミスを想定する場合にも、Yから大もとのWを推定する必要が出てくるので、やはりYは曖昧になる。これらの場合には、入力は次を繰り返すことにより行われる。

- (1) ユーザはXを作り、システムにYを入力し、
- (2) Decoder ソフトウェアはもとのWを推定してユーザに候補を提示し、
- (3) ユーザは候補から目的のものを選ぶ。

この方法では、Xは文字単位での入力とは限らず単語や文節などより大きな単位で入力されることが多い。本方法は、現在では predictive text entry と呼ばれて世界中で研究されており、本稿ではそれに合わせて、曖昧性を利用した入力方式全般のことを「予測入力」と呼ぶことにする。この点、日本においては、「補完」、すなわち前部分列の入力からW全体を予測することを、「予測入力」と呼ぶことがあるが、本稿ではこの方式については「補完」を用い、「予測入力」は曖昧性を利用した入力全般を指すものとする。

Xが決まると、そのXをどのように入力するののかも設計しなくてはならない。たとえば、Xの基本をパソコン同様にかな文字列であると設計した場合に、それをどのように10個のキーを用いて入力するのかは、かな漢字変換の変換精度とは別問題であり、これはXの設計に含まれる。すなわち、Xの設計段階の工夫には、

- 文字入力上の工夫
- 予測入力上の工夫

の2つがある。

以下、まず予測とは無関係にシステムを設計することのできる文字入力上の工夫を見る。その際、日本語の場合の既存のかな漢字変換を用いることを想定してかなの入力を工夫している方法については、ここで論じる。その上で、予測変換上必要となる言語技術を見た上で、予測を利用した現行のシステムをまとめる。

さまざまな文字入力システム

文字入力上の工夫を行った提案は、既存のパソコンで行っている入力を、少数キーだけで行うものがほとんどである。YとWは1対1に対応するので、Decoderソフトウェアに工夫は不要である一方で、どのように少数

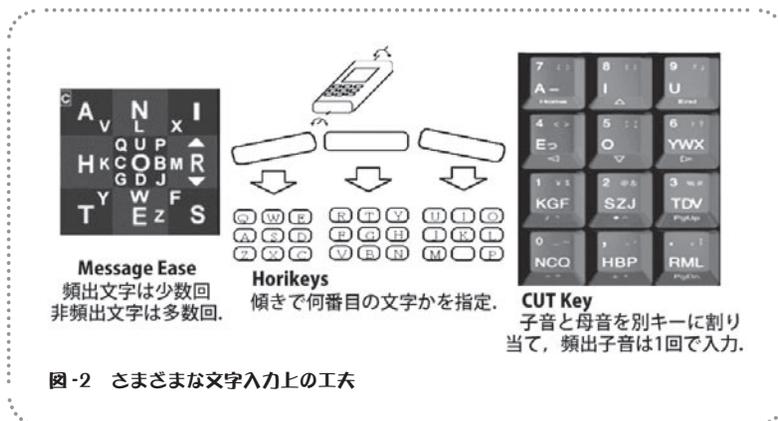


図-2 さまざまな文字入力上の工夫

のキーだけを用いて英語のアルファベットや50以上あるかなを入力するのか、設計者の創意工夫やセンスが光る。この点についての提案は増井俊之氏のWebページ¹⁷⁾にきわめてよくまとめられている。ここでは分類上代表的なものを提示するにとどめる(図-2参照)。

少数キーの大半は数字キーボード(以下テン・キー)を用いるものである。そもそも、欧米諸国においては以前から0~9の数字にアルファベットを複数ずつ割り当てる試みがなされてきた^{★1}。

近年の工夫もこの割り当てを踏襲したものが多く、すると、複数割り当てられている文字のうち、n番目の文字が入力されていることを、どのようにシステムに示すのが工夫のしどころとなる。現在では、n回そのキーを押して示す方式と、nを別の信号として示す方法に二分されている。たとえば、現行の一般的な数字キーへの英字の割り当てで's'を入力するには、's'が数字7番の4番目に割り当てられているキーであるから、前者の方法では、7キーを4回押す、後者では7の後に4を別の方法で示すことになる。

前者の方法を発展させると、アルファベットは、'e', 'a', 't'は頻度が高く、'q'などは頻度が低いことを利用し、文字頻度の高い文字は少数回押し、文字頻度の低い文字は多数回押すように発展させることができる。このような工夫を行った代表的なシステムとしてMessage Easeを挙げる(図-2左)。後者の方法では、nを直接入力する方法のほか、別の信号を用いて入力する方式も考えられている。たとえば、傾きセンサを用いるHoriKeys(図-2中央)を例として挙げる。HoriKeysでは、通常のフルキーボードを3分割して各数字に3つずつアルファベットを割り当て、何番目のアルファベットの入力かは、ハードウェアの傾きで決める。日本語入力の現状では、最終的にかな漢字変換を利用

★1 当初は、アルファベットに割り当てられているのは2から9までであり、0はoperatorであった。8個のキーのそれぞれに3文字ずつ対応していたので、QとZは割り当てはなかった。



せざるを得ないが、その直前のかん入力の段階で、同様に2種の方法が見られ、その多くは、かなが子音母音で体系化されていることを利用している。n回キーを押す方式として「かな方式」、nを入力する方法として「マトリクス方式」が知られている。前者に類する工夫としては、キー配列をすべて独自に考え直し、テンキー下部に子音、上部に母音を配置し、頻度の小さい子音は複数回押しにしたカットキー(図-2右)を挙げておく。マトリクス方式の発展形として、nを別のキーとして入力するIUEO方式も提案されている。

テン・キー以外の少数キーでの試みとしては、古くには速記用タイプライタがある¹⁰⁾。単語単位で複数キーが割り当てられ、入力時はこれらキーを同時に押す。速記用タイプライタを用いると、特殊訓練の後には話すスピードで入力が可能となる。その後、機器類の小型化が顕著となると、特殊なキーボードがさまざまに考案されるようになった。たとえば、片手用のHalf Qwertyキーボードは、左手用キーの上に右手用キーを重ねたものである。このほか、文字の形をキー入力と結びつける一連の方法がどの言語でも見られるが、やはり主流は言語の音を利用した入力方式であろう。

予測入力を支える言語技術

小型デバイス上の少数キー入力により大きく変わったことは、予測入力が世界中に広がったという点である。以前の西洋では、思想的に曖昧性を嫌う背景があることや、予測入力方式では入力できない語彙があることから、予測入力のアイデアは以前より存在したものの広まることはなかった。しかし、携帯端末の登場により、アルファベットの数よりもキー数が少ないという問題が顕在化し、予測入力は中国・日本だけでなく世界中で議論されるようになった。

予測入力が受け入れられると、校正や翻訳など、従来は入力後にオフラインで行ってきた文書処理が、入力時にオンラインで即時に行えるようになり、文書構築のさまざまな作業が前倒しにシフトするであろう。

とすると、今後は、翻訳や校正なども含めた高度な予測入力を支える言語技術が必要となる。本章では予測入力を利用した具体的なシステムを見る前に、まず予測入力を実現する上で必要となる技術をまとめる。一般モデルを通信路に置いている以上、その技術も情報理論との関係が深い。

Decoder の設計

予測入力では、Yが曖昧であるので、Wを推定するDecoderは要のソフトウェアとなる。Decoderにおけ

る候補の推定は、

$$\hat{W} = \underset{W}{\operatorname{argmax}} P(W|Y) = \underset{W}{\operatorname{argmax}} P(Y|W)P(W) \quad (1)$$

とモデル化されることが多い。これは音声認識や自然言語処理上のさまざまな問題のモデルとして80年代後半からよく用いられるようになったものである。

$P(Y|W)$ は入力ミスが起きる確率を表し、入力ミスを扱う場合には、WからYへの誤りをモデル化した上で算出する。 $P(W)$ の方は結果としてでき上がる文書が言語として正しい確率を表し、言語モデルである。言語モデルは、近年のコーパスを用いた自然言語処理において研究が進んでいる^{4), 8)}。モデルには、単純な単語頻度から、n-gramモデルやHMMモデルが提案され、比較されてきた。携帯機器類は個人用であることもあり、 $P(W)$ として適応的な言語モデルも研究されてきている。そのうち最も頻繁に用いられているものがMove To Frontモデルで、ある入力に対して1度選択された候補が次の同じ入力時に最上位の候補に挙がる方法である²⁾。より高度な適応的言語モデルとしては、選択された候補を一時的に取っておくキャッシュモデル⁶⁾や、骨格となる言語モデルをユーザ文書に最適化するPPM²⁾が挙げられる。もちろん高度な言語モデルはよい候補を与えるが、一方で計算量は大きくなるので、計算リソース上の制約を鑑みて候補推定モデルを選択する必要がある。

予測入力の言語の単位としては、単語単位、文節単位、フレーズ単位などさまざまなものが考えられる。この点、西欧諸語では単語単位で補完を用いることが多い一方で、日本では補完を用いずに連文節変換を行うことが多い。いずれの方式であっても、候補の探索を行って言語モデルに従って式(1)を計算し、もっともらしい順番で提示することとなる。

入力効率

入力効率は、まずはDecoderの効率に依存し、それは入力符号の設計と言語モデルが決定する。たとえば、英語の数字キーへの割り当てを考える際、'a'から'q'までを0に、残りの'r'~'z'を'1'から'9'の数字に1つずつとするのでは、ユーザの努力如何にかかわらず入力効率は悪いであろうし、単純な言語モデルを用いると候補推定の精度が低くなる。予測をする場合には、候補の複雑さが問題となり、これは条件付きエントロピーで計測することができる。すなわち、符号YからWを復元する複雑さは、

$$H(W|Y) = - \sum P(Y, W) \log P(W|Y) \quad (2)$$

で測ることができる。本式の値が小さいほど、 Y が与えられた時の W がより不確かではなく推定できるということであり、すなわち情報理論上は Decoder は効率がよい。

しかし、ユーザがかかわる以上、効率は上式だけで測れるというものでもない。この点は、予測入力のみならず、入力システム全般についていえることであるが、言語の体系とユーザインタフェースの両方を配慮した設計にする必要がある。

言語の観点から効率の向上に役に立つこととして、言語体系を鑑みた設計にすることが挙げられる。たとえば、英語アルファベットのテン・キーへの割り当てを設計する際に、アルファベットの順番を考慮したり、かなの体系を考慮するということである。というのも、たとえ条件付きエントロピーが低くとも1つのキーにアルファベット“tqk”を無作為に割り当てるとなると不自然な設計は、ユーザが学習した後にどんなに入力が高速であろうとも、初期の負荷が大きく、ひいてはユニバーサル性を失う恐れがあるからである。言語をよく知ることがよい入力システムを作ることにつながる。

また、 Y は最終的にはユーザの観点から吟味する必要がある。ユーザインタフェース分野においてキー配置と入力時間の関係などが Fitt's Law⁷⁾ などとしてモデル化されている。このように、符号の効率だけでなく言語体系、UI 上の設計など総合的に鑑みる必要がある。

辞書

予測入力のためには、辞書が必要である。かな漢字変換の1つの歴史は、まだ計算機のリソースが限定されていた時代に小さなメモリにいかにか辞書を圧縮して搭載するかを探求することでもあり、この点においては青江ら¹⁶⁾ が多くの研究成果を挙げている。計算リソースが限定される小さな機器類への少数キー入力の実装にはこのような技術はいまだ有用である。

語彙に関しては、標準的な語彙については新聞の電子データから統計的に得ることができるようになった。一方で携帯機器類はパーソナルな機器類であることもあり、流行語、専門用語、方言などが辞書に存在しないという未知語問題はより顕著となった。ユーザの多い分野の用語については、さまざまなフリーの辞書が web 上に存在する。このほか、著者らは、ユーザが文書編集に際しては7割もの語彙を再利用しつつ文章を書くという特徴を利用し、ユーザの個人的なコーパスを与えられるとその中から辞書に不在の未知語を抽出し、変換候補とするという手法を提案し、その具体的な効果を報告している¹⁵⁾。

さまざまな予測入力システム

以上を踏まえ、本章ではさまざまに提案されている予測入力システムを見る。大きく分けて縮退による入力方法と部分列による入力方法の2つがある。

縮退による方法

縮退による方法とは、複数の文字を重ねて1つの記号で表す方法をいう。たとえば、数字の2番キーの1回押しが英語の‘a’、‘b’、‘c’のいずれをも表す。

縮退による方式の世界の代表は、日本のかな漢字変換と中国の pinyin-hanji 変換である。かな漢字変換の発端は、コンピュータのフルキーボードを用いてどのように数千の日本語の文字を入力するのか問題となったことにあり、その本質は少数キー入力と同じである。そこでこの主要な工夫は、漢字列に対するかな文字列の曖昧性を利用した点である。

英語の場合の縮退を利用した方法は、単語単位で入力を行い、ユーザはテンキーを各アルファベットごとに1回ずつ押し。たとえば、携帯電話で“sky”を入力しようと思うと、‘s’に対応する‘7’、‘k’に対応する‘5’、‘y’に対応する‘9’を1度ずつ押して、ユーザ入力は“759”となる。システムは対応する“sky”、“pit”、“shy”などの候補を挙げ、ユーザは候補の中から目的の“sky”を選ぶ。英語におけるこのアイデア自体は80年代に Bentley³⁾ により提案されていたが、90年代に入って初めて Tegic 社が実装し、多くの携帯電話に搭載されるようになった。

縮退による入力は何もテン・キーに限定されるわけではない。SHKey (図-3左) は、文字入力用に15のキーを用い、英語アルファベットを最大2文字ずつ割り当てている。入力は1アルファベット1押し方式である。また、著者らはかな漢字変換を一般化し、言語非依存で、キー数や割り当ても自由に変えられる TouchMeKey (図-3中央) を開発した。図は4つのキーの場合を示しており、このキー割り当てを用いると、“数理”の入力は‘す’に対応する‘2’、‘う’に対応する‘1’、‘り’に対応する‘4’を1回ずつ押し、候補には“時間”、“所”、“幸い”などが挙がる。この研究では関連する言語技術を体系化して比較し、3~5といったキー数におけるさまざまな割り当ての際の入力効率を条件付きエントロピーを用いて比較した¹⁸⁾。その結果、日本語の場合には子音による入力の方が母音による入力よりも効率が高いことや(後述)、3つや4つといったキー入力においては言語モデルの学習が必要となることが分かった。また、実際のユーザによる入力実験も行っている。

部分列による方法

部分列入力方式は、目的文書の部分列を入力し、その部分列からもとの単語を推定する方法である。最も多く試みられている方法は、単語 prefix の入力からより長い単語や文節を補完する方法である。たとえば、*i* や *in* から *international* を補完する。

補完による日本語の入力システムとしては、POBox⁹⁾ が著名である。POBox はさまざまな機器類に対応して配布されており、携帯電話に搭載されている(図-3 右)。また、福祉工学にも応用されている。補完方式は、前の縮退による入力に組み合わせて用いることもでき、たとえば TouchMeKey は補完も行う。英語についても T9 方式にさらに補完を組み合わせた方法が ZI 社により提案されている。

部分列による入力、補完だけでなく後部からの推定や子音列からの推定などへと一般化することができる。Shieber¹³⁾ らは英語において自由な部分列からもとの単語列を推定する方法を提案している。たとえば、*intl* と入力すると、*international*、*intentional* などと単語を推測する。また文の展開も行うことができ、*an exmpl of 5 wrds* などと入力すると、*an example of 5 words* に展開される。部分列による入力の一般化はまだ英語についてしか行われておらず、言語汎用の方式としての試みが待たれる。

少数キー入力の福祉工学への応用

予測入力は、予測を用いない方式に比べて、画期的に打鍵数を減らす効果がある。このため、福祉工学への応用が期待される。Harbusch らは、ドイツ語と英語に限定して4つキーによる入力システムを開発し⁵⁾、身体障害者の協力による実験を行っている。また、著者らは重度身体障害者のための1ボタンのみの入力システムを開発した¹⁴⁾。符号 *X* としてモールス符号を用い、さらに補完を行う。モールス信号は文字によって長さが異なる。*sh* と入力した後で *shy* を入力する場合には、補完は有効であるが、*she* を入力する場合には、*e* のモールス信号は短いため補完せずモールス信号を直接入力した方がよい。このように、補完することで入力効率を引き下げることになる候補を削減するという工夫を行って効果を確かめた。このような工夫は大きな制約のある状況を考えて初めて出てくるもので、他の入力システムへと応用が可能である。

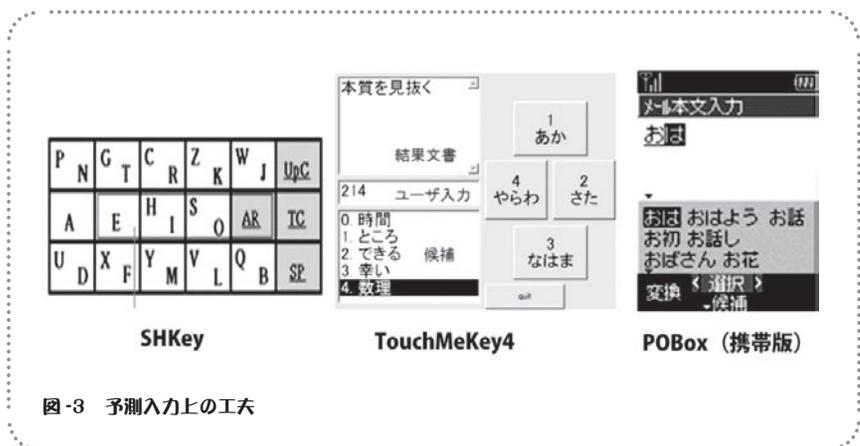


図-3 予測入力上の工夫

入力ミスへの対処

以上は予測入力を前提とした *X* のさまざまな工夫である。実際は、ユーザは入力ミスを犯すため、*X* に対して雑音が入った *Y* からもとの言語を推定する必要がある。

入力誤りの訂正方法には文書がいったん入力されてからオフラインで入力を訂正するスペルチェック方式と、入力時に入力誤りを鑑みて候補を生成する方法とがある。本節で扱うべきは後者であるが、現行のシステムのほとんどは入力ミスを想定していない。その理由の1つは、入力ミスを鑑みると、候補集合が非常に大きくなってしまふからである。

その中で、JustSystem 社は独自にさまざまな試みを行っている。以前より特定の入力ミスについては、ミスを鑑みて候補を生成することを試みていた。ごく最近、ユーザが入力ミスを訂正すると、システムがそれを覚えておき、同じミスについては、次回からミスを訂正した候補が挙がる方法を最新の日本語入力フロントエンドプロセッサにおいて提案している。これらはまだ少数キー入力との組合せでは提案されていないが、携帯機器類では特にミスが多発するため、今後の発展が期待されるテーマである。

入力システムを支える言語科学

入力システムが言語を扱う以上、言語を知ることがよい入力システムにつながり、逆に入力システムから言語についての知見も得られる。本稿を終える前に、予測入力システムのあり方を通じて知ることのできる言語に関する認知的知見をよもやま話として述べてみることにする。

少数入力の研究の根本は言語をいかに縮退させて表現するかという問いにある。これは予測だけでなく、文字上の工夫についても同様である。さまざまな縮退の中でも次の2つは言語を問わず普遍的に見られる。

人間の人間たる所以にまで広くかかわることになる。

- prefix への縮退
- 子音への縮退

まず、prefix については、Aitchison¹⁾ が、Bath-Tub 則として単語綴りにおける位置と人間の記憶との関係をモデル化している。すなわち、人は単語の前方と後方の文字はよく記憶しているが、真ん中はあまり覚えていないというのである^{★2}。たとえば、スペルミスは単語の真ん中が圧倒的に多かったり、思い出しそうだけれども思い出せない場合、思い出ししかかっているのは、単語の最初か最後の部分であるといった具合である。

すなわち、人間において単語綴りの情報量は場所により偏在する。部分文字列によるこれまでの提案のほとんどが、prefix による入力である点には、このような認知的な背景もある。

第2に子音についてである。以前、日本語の5つのキーを用いた入力の割り当てを考えていた際、各キーに母音を1つずつ割り当てる場合(0:あ段, 1:い段, 2:う段, 3:え段, 4:お段)と、子音を2つずつ割り当てる場合(0:あは行, 1:かま行, 2:さや行, 3:たら行, 4:なわ行)の効率を条件付きエントロピーを用いて比較したことがある(“たなか”の場合、母音の場合には“000”と入力するのに対し、子音の場合には、“341”と入力する)。その結果、子音入力の方が条件付きエントロピーは小さく符号の効率はよかった。つまり、同じ5キーへの縮退では、子音の方が不確かさが小さい。

20世紀初頭にフランスの詩人 Mallarmé が「子音は骨、母音は肉」と洞察したが、言語においては、子音と母音の対比はあちこちに見られる。そもそも文章を記述する際、子音列で記述する言語はセム・ハム系言語として数多く存在する。一方で、母音で記述する言語は silbo gomera^{★3} などに限定されている。音声においても、人間は早口になると、母音部分が短くなって子音だけが残っていき、声の個性は子音ではなく母音が担っているそうである。さらに、チンパンジーは子音は発音できないらしい¹¹⁾。つまり、子音と母音とは言語上異なる役割を持っているのであり、入力研究が言語の縮退を扱う以上、言語に普遍的に内在するこのような性質に触れることになる。

このように、入力研究は単なる技術上の研究にはとどまらない。人間のコミュニケーションをつかさどる以上、

終わりに

世界の研究の流れの中で少数キー入力をかな漢字変換の一般化として捉え、関連分野を一望することを試みた。日本は世界で最も早くから少数キー問題に挑戦してきており、予測入力方式は日本が発信できる1つの思想であると思われる。入力研究はかな漢字変換の確立とともに終わったわけではなく、今どこまで研究が行われ、この後何が必要なのかを見据え、ユニバーサルなコミュニケーション支援技術として、さらに挑戦を要する部分が多い。世界に先駆けてこの分野を開いてきた先人たちの遺産を大切に続けて育てていくことが重要である。

参考文献

- 1) Aitchison, J.: Words in the Mind, Blackwell (1994).
- 2) Bell, T. C., Cleary, J. G. and Witten, I. H.: Text Compression, Prentice Hall (1990).
- 3) Bentley, J.: Programming Pearls, Communications of the ACM, 26(9), pp.623-628 (1983).
- 4) Charniak, E.: Statistical Language Learning, MIT Press (1993).
- 5) Harbusch, K. and Kuhn, M.: Towards an Adaptive Communication Aid with Text Input from an Ambiguous Keyboard, Demo Sessions of the 10th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, pp.12-17 (2003).
- 6) Kuhn, R. and Mori, R. D.: A Cache-based Natural Language Model for Speech Reproduction, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12(6), pp.570-583 (1990).
- 7) MacKenzie, I. S.: Fitt's Law as a Research and Design Tool in Human Computer Interaction, Human Computer Interaction, pp.91-139 (1992).
- 8) Manning, C. D. and Schutze, H.: Foundations of Statistical Natural Language Processing, MIT Press (1999).
- 9) Masui, T.: PO_Box an Efficient Text Input Method for Handheld and Ubiquitous Computers, In Proceedings of the International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, pp.289-300 (1999).
- 10) Noyes, J.: Chord Keyboards, Applied Ergonomics, pp.55-59 (1983).
- 11) Savage-Rumbaugh, S. and Lewin, R.: The Ape at the Brink of the Human Mind, Wiley (1996).
- 12) Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication, Bell System Technical Journal, 27: pp.379-423, pp.623-656 (1948).
- 13) Shieber, S. M. and Baker, E.: Abbreviated Text Input, International Conference on Intelligent User Interfaces, pp.293-296 (2003).
- 14) Tanaka-Ishii, K. and Frank, I.: Dit4dah: Predictive Pruning for Morse Code Text Entry: Towards an Entry System for the Seriously Impaired, International Joint Conference on Natural Language Processing, pp.134-147 (2004).
- 15) Tanaka-Ishii, K., Hayakawa, D. and Takeichi, M.: Acquiring Vocabulary for Predictive Text Entry through Dynamic Reuse of a Small User Corpus, The 39th Annual Meeting for Association of Computational Linguistics, pp.123-131 (2003).
- 16) 青江順一: ダブル配列による高速デジタル検索アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌, J71-D(9): pp.1592-1600 (1988).
- 17) 増井俊之: 入力システムサーベイ (2004), <http://pitecan.com/InputSystems/>
- 18) 田中久美子, 犬塚祐介, 武市正人: 少数キーを用いた日本語入力, 情報処理学会論文, Vol.44, No.2: pp.433-442 (Feb. 2003).

(平成17年3月24日受付)

★2 なぜ、バスタブかという、西洋のバスタブでは、頭と足がバスタブから出ているからであるそうである。

★3 スペインのゴメラ島では、遠方間の自然言語コミュニケーションを口笛で行う。口笛であることから母音への縮退が起っていると分析されている。