

両手の同時運動はどのようにコントロールされるか — 両手の急速反復書字で生じた両側性スリップの分析 —

仁 平 義 明¹

急速反復書字（RRW）法を用いて、スリップがどのように現れるかを分析することで、両手同時の運動がどのようにコントロールされるか検討を行った。その結果、両手同時の急速反復書字では必ず両手同時に同一の文字のスリップが生じたことから、この特殊な書字では両手単一の運動記憶が使用されている可能性が高いことが推測された。また、どの両手書字条件でも非利き手側の書字サイズが有意に大きいことから、運動プログラムのサイズ・パラメータ設定は両手それぞれについて個別化されたものである可能性が示唆された。

1. 問題と目的

急速反復書字（Rapid Repeated Writing; RRW）は、同じ文字をできるだけはやく書き続けるという単純な操作である。その単純さにもかかわらず、この手続きは、多くの文字について、参加者には書こうと意図していた文字とはちがう文字を書いてしまうエラー、書字のスリップ、を容易に誘発させる（仁平, 1984; Nihei, 1986a; 仁平, 1990a）。

この方法によってスリップが誘発される理由は、次のように考えられる。ある文字を書くことは、その文字を書くための長期記憶である運動記憶を活性化させる。その記憶の活性化は、運動記憶のネットワーク内でそ

¹白鷗大学教育学部

れとリンクしている別な文字の書字のための記憶に波及しそれを活性化させる。さらに書字の反復は、活性化の加重を引き起こす。そして高まった活性化はその意図しない文字の書字運動をトリガーされやすくして、書字のスリップを引き起こす（仁平，1991）。また、通常の手書きでは、「運動プログラムの呼び出し」→文字のサイズや傾き、書字スピードなどの「パラメータ設定」→「トリガー」という一連のプロセスが繰り返されるが、同じ一つの文字を書き続ける反復書字は、設定が済んでいる運動プログラムをトリガーすることだけが繰り返される特殊なかたちの書字であるといえる。さらに、書字が急速であることは、活性化されている運動記憶のどれをトリガーすればよいか十分な選択の余裕を与えなくして、エラーの発生を促進する。これが急速反復書字でスリップがなぜ容易に発生するかの説明である（仁平，1991a）。

急速反復書字法は、文字を書くための運動記憶がどんな特性をもっているかについて様々な検討を可能にしてくれる。

この方法を利用できる問題の一つに、両手同時運動のコントロールの問題がある。両手同時の急速反復書字によって、スリップがどのように現れるかをみることで、両手同時の運動がどのようにコントロールされているか手がかりを得ることができると考えられるからである。

両手同時の運動のコントロールについて関心をもたれてきた問題の一つは、われわれは両手で別々な運動をすることができるが、それでも両手はどの程度まで独立した運動を行うことができるかという問題である。たとえば、両手で同時に別な図形や文字を書くことは難しい。もし意図的に、左右の手で同時に別な文字をなめらかに書くことができるなら、左右の手の運動を別な書字のコマンドが支配可能なことになる。

もし、両手同時の急速反復書字で、片方の手にだけスリップがあらわれるなら、つまり片方の手は意図していた文字を書いて、別な方の手が別な意図していない字を書くことが起こるなら、少なくとも両手の書字運動は

別個な二つの運動記憶によって同時に支配されることが可能だということになる。たとえば平仮名「お」の急速反復書字で、片方の手は意図通りに「お」を書いていながら、もう一方の手がスリップとして「あ」や「す」「む」などを書いてしまうなら、スリップは意図していないエラーであるため、片方の手は意図した運動のコマンド、もう一方の手は意図しない運動の記憶に支配されることを意味する。もし、スリップがつねに例外なく両方の手同時にあらわれるなら、この実験事態では両手の書字運動は、単一の運動記憶によって支配されていることになる。

もう一つは、両側の手で書かれる文字のサイズのコントロールの問題である。

両手同時動作の神経機構については、両手間での方向情報の協調は脳梁後部によって仲介されていることが明らかにされている (Eliassen, Baynes, & Gazzaniga, 1999)。二段階の脳梁離断術で、前部脳梁離断術後に患者の両手同時の図形描画はわずかに改善したが、後部脳梁離断術後に両手同時の描画が著しく低下したからである。

書くという一連の行為全体の中枢は存在しないが、書字のための運動記憶は、左半球前頭葉中前頭回後端に存在しているという報告がある (山鳥, 1980)。書字運動の最終的コントロールは両半球からの支配を受けながら実際に書字を担当している左右それぞれの手の制御に依存する。両側同時書字の場合、一方の半球に存在する一つの文字の運動記憶が、脳梁を介して両手の運動をコントロールすることになる。

両手運動のサイズ制御について示唆的なのは、Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, & Quinn (1979) が提案した図1のような両手運動のパラメータが段階的に設定されるプロセスのモデルである。

このモデルでは、左右運動時には、運動プログラムは、まず共通のパラメータ設定を行い、次の段階で左右の手の個別のパラメータ設定を行っていくかたちで運動が多様化していき、最終的に左右の運動が実行される。

もし両手書字で、文字サイズに左右差が認められることになれば、「文字

サイズ」は左右の手の個別的なパラメータということになる。

以上の2つの点を検討するために、両手同時の急速反復書字を行なうことにした。両手同時の書字では、「左右同型運動」の条件、「左右対称運動」の条件の2つの異なる運動が比較された。

2. 方法

実験参加者は、心理学の入門コースを履修している大学生156名であった(男性86人、女性70人、平均18.91歳、SD 0.90)。参加者は書字を含めて、何かを行う場合に左手の方が容易だという自己報告による左利きのサインを全く示さない者に限った。

急速反復書字には、次のような理由から平仮名の「お」を使用した。文字が複雑すぎないので、両手同時の急速反復書字が容易であること。「お」の急速反復書字によってスリップとして高い頻度で出現する文字が平仮名「あ」であるのが判明していること(仁平, 1990b)。分析の際に、スリッ

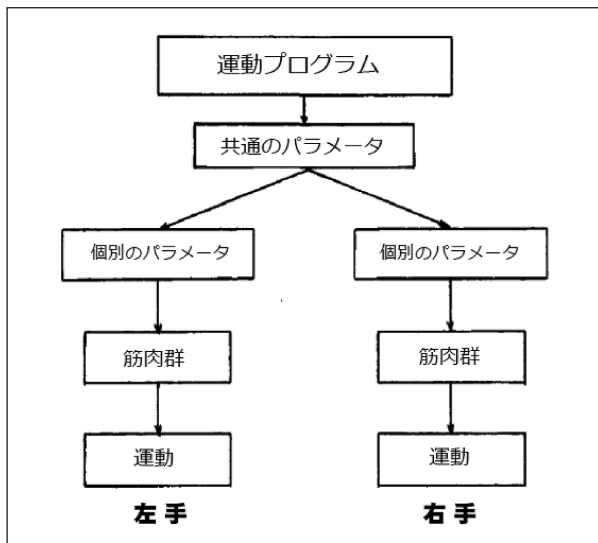


図1. 両手運動の運動プログラムのパラメータ設定プロセス (Schmidt et al., 1971)

両手の同時運動はどのようにコントロールされるか

プとしてあらわれた「あ」が、「お」と容易に判別可能なことである。たとえば、スリップとして生じた文字が最後まで完遂されていなくても、前者の第2ストロークは左へのカーブになり、後者の第2ストロークは右へのカーブになることから容易に判別ができる。

参加者は3つの群に52名ずつ割り当てられた；①両手同型運動群、②両手対称運動群、③利き手（右）の単一手による書字群。

「両手同型運動」群の参加者たちは、左右に並べ置かれたB4大の白紙に、両手に持ったボールペンで、「お」を左右の手同時に、正しいオリエンテーションで、できるだけやく繰り返し書き続けるよう求められた。

「両手対称運動」群の参加者たちは、並置された白紙上に、利き手（右）は正しいオリエンテーション（「お」）で、左手はその鏡映形になるように、つまり両手が左右対称な運動をするように、「お」の急速反復書字を行なった。

「単一手による書字」群は、利き手（右手）で一枚の用紙上に、普通のオリエンテーションで「お」の急速反復書字を行なった。

実験は各群とも集団で同時に行なわれた。急速反復書字は2分間であった。

3. 結果と考察

(1) 両手同時の書字スリップ

「お」の急速反復書字では、さまざまな文字がスリップとしてあらわれる（Nihei, 1986）。その中でも出現頻度が高いのは、平仮名の「あ」「す」「む」「よ」などである。しかし、両手同時の急速反復書字では書かれた文字は字形がくずれやすいため、スリップとして出る「す」「む」「よ」は意図した「お」とは判別が難しい場合がある。

そこで、今回は「お」と明確に判別できる「あ」を分析対象に限定した。

2分間の片方の手についての平均書字数は、両手同型条件で、37.7 (SD 14.2)、両手対称運動条件で、37.6 (SD 13.7)、単一手条件で、112.9 (SD 19.6) だった。分散分析では書字条件の主効果は有意であった ($F(2, 153)$

=374.24; $p<.001$)。Scheffeの法による多重比較の結果、両手同時の書字条件は単一手による書字条件にくらべて、それぞれ有意に ($p<0.01$) 書字速度が遅くなっていた。両手同時の書字スピードは、単一手による書字に比べて、四分の一近くになっており、両手同時書字はかなり困難な課題であることが明らかである。

意図した「お」のかわりに「あ」を書いてしまうスリップを2分間の書字中に生じた参加者は、単一手群で16名 (30.8%)、両手同型運動群で5名 (9.6%)、両手対称運動群で2名 (3.8%) であった。単一手群では高い割合で「あ」を書いてしまうスリップが生じていた。このスリップを生じた参加者の分布のちがいは有意であった (Fisherの正確確率検定、 $p<.001$)。両手書字群では、課題が難しいために書字速度が低速になり、スリップが減

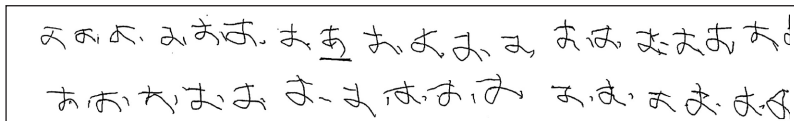
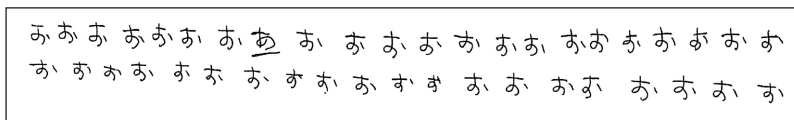


図2. 左右同型運動群の急速反復書字で出現した両側性スリップの例 (7文字目「あ」):
上段は利き手 (右)、下段は非利き手 (左) による書字。

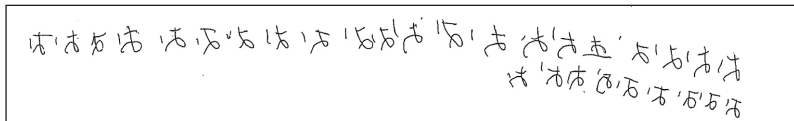
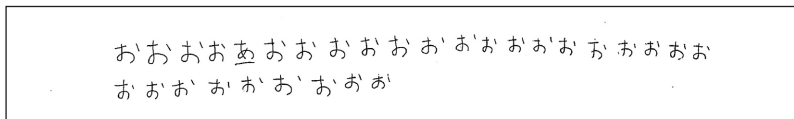


図3. 左右対称運動群の急速反復書字で出現した両側性スリップの例 (5文字目「あ」):
上段は利き手 (右)、下段は非利き手 (左) による書字。

少ししたと考えられる。

しかし、両手同時の急速反復書字でのスリップについて最も重要な点は、スリップが必ず両手同時に出現していることである。対称運動条件の2名の参加者に生じた「あ」を書いてしまうスリップ、両手同型運動条件の5名に生じたスリップは、すべて例外なく同じ文字が両手同時に出現していた(図2および図3の例参照)。片方の手が「お」を書き、もう一方の手が「あ」を書くような例は全く見られなかった。

(2) スリップとしての文字のオリエンテーション

両手同時の急速反復書字でのスリップについて第二のポイントは、その書こうと意図していなかった文字が、例外なく、その手が書くように要求されている文字のオリエンテーションで書かれたことである。つまり、オリエンテーションの指定の方が、何が書かれるかより先行しているともいえる。たとえば、左手が通常のオリエンテーションで文字を書く「両手同型運動条件」では、スリップのすべては右手も左手も通常のオリエンテーションで「あ」を書くエラーだった。それに対して、「両手対称運動条件」では、「あ」がスリップとして出現した場合、右手は「お」を書くことが求められている通常のオリエンテーションで、左手はその鏡映形で書かれたのである。

(3) 文字サイズのコントロール

条件の差異は、スリップ以外の面にもあらわれた。最も顕著な差は、書かれた文字のサイズが条件によって異なることであった(図4および図5参照)。

文字のサイズは、その文字が余さず囲まれる円の直径(mm)として定義され、製図用円テンプレートによって測定された。

各参加者について、最初の5文字の平均サイズが求められた。右手で書

かれた文字の平均サイズは、右手単独条件で7.1mm (SD 1.9)、左右同型運動条件では10.0mm (SD 2.9)、左右対称運動条件では10.6mm (SD 4.0)であった。これら書字条件の主効果は有意であった ($F(2,153)=19.1, p<0.01$)。また、Scheffeの法による多重比較は、二つの両手書字条件でのサイズは単独手書字条件に比べて有意に大きくなることを示していた (いずれも $p<0.01$)。両手同時運動では、利き手の運動のコントロールも非利き手での運動のコントロールの負荷が加わるために、単独運動条件に比べると困難になることが示唆される。

左手によるサイズは、対称運動条件では13.0mm (SD 4.6)、同型運動条件では14.4mm (SD 3.8)であった (図5)。二つの両手書字条件とも、左手による書字のサイズは右手の平均サイズよりも有意に大きいものだった (対称運動条件では、 $t=6.57, df=51, p<0.01$ 、同型運動条件では、 $t=10.0, df=51, p<0.01$)。

このサイズの差は、図2と図3の書字の例にもあらわれている。

4. 総合考察

1) 両手は同時にトポロジカルにイソモルフィックな書字運動を実行できるか？

バイオリン演奏のような場合は、左手の各指は音高を決定するために弦の上の位置を移動し、ヴィブラートをかけ、右手の各指は弓の運動をコントロールするために微妙な調整をする。明らかに両手の別々な運動が可能である。

同じように、文字を書くときには、両手は別な文字の運動記憶によって並列的に支配されることが可能だろうか？

この実験の範囲での答えはノーである。両手同時書字では、同じ文字のスリップが必ず両側性に出現した。片方の手は意図通りの文字を書いて、他の手が意図しない文字を書くようなかたちではスリップは生じなかった。

両手が同時に二つの異なる文字を書く場合、書字運動は時間的にも空間

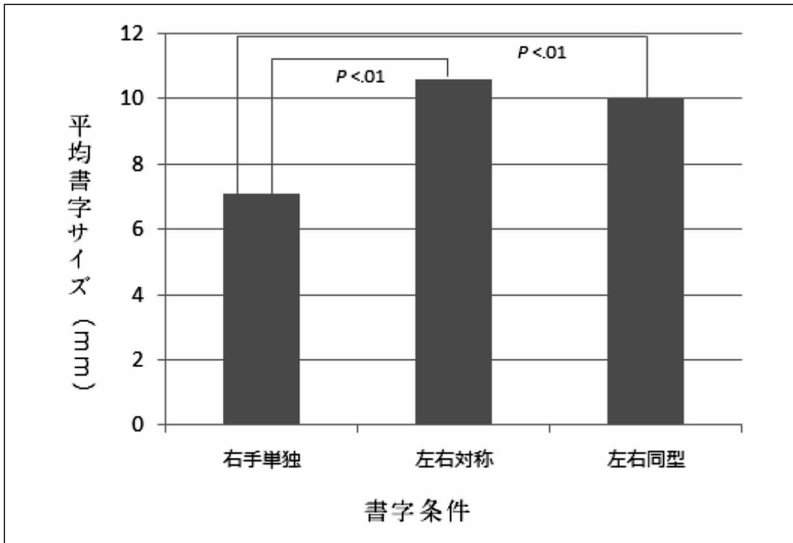


図 4. 利き手 (右手) での平均書字サイズの条件差 (多重比較)

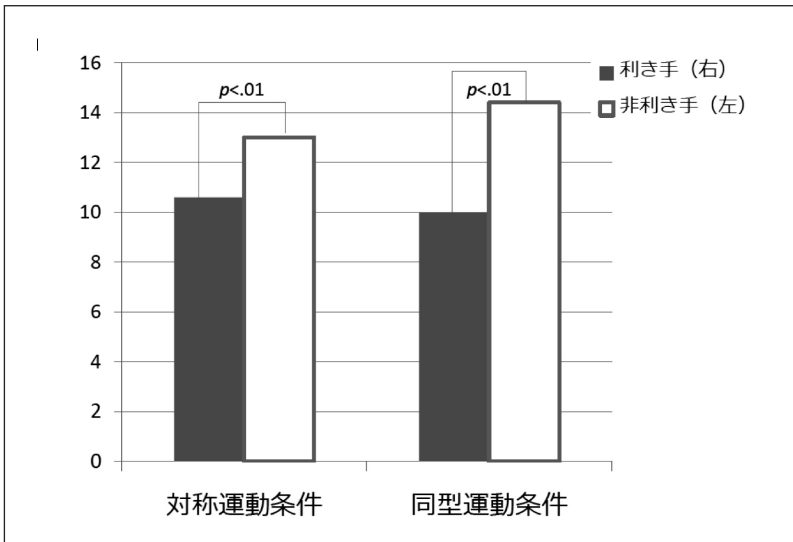


図 5. 利き手 (右手) と非利き手 (左手) の平均書字サイズ (mm) の差

的にもイソモルフィックな運動を要求する。

書字運動については、なめらかな運動をつくりだす熟練した書字の運動記憶は片側の半球にのみ存在するという考え方がほぼ確定しているといえる。ただし、なめらかではない不完全な運動記憶はもう一方の半球に存在するという考え方もある。本実験は直接に両手で別々な文字を書くことを求める課題ではなかったが、両手の同時書字運動が二つの異なる運動記憶によって同様の滑らかさで同じようにコントロールされることは困難である可能性が考えられる。文字は純粹に運動記憶だけにとどまらないで音韻的記憶や意味記憶とも密接に結びついているからである。

2) 文字のオリエンテーションのコントロール

第二の注目すべき結果は、スリップとして現れた文字が、すべてその手が書くことを指定されているオリエンテーションで書かれたということである。左手が正常なオリエンテーションで文字を書くことを求められている左右同型運動条件では、左手のスリップ「あ」はすべて正常なオリエンテーションであった。左手が正常な文字の鏡映形で文字を書くことを求められている左右対称運動条件では、左手のスリップ「あ」は鏡映形で書かれていた（図2および図3の例）。

Teulings, Thomassen, and van Galen (1986) は、汎用的な書字運動プログラムとして長期記憶に貯蔵されている内容は、①文字の「トポロジカル」な構造、②ストローク構成の順序、③空間特性（すなわちストロークのサイズ比）であると考えた。彼らは、文字のオリエンテーションは長期記憶としての運動プログラムにふくまれていないと考えている。

書こうと意図していなかったものである文字が、どの場合も一定のオリエンテーションではなく、そのときに要求されているオリエンテーションで書かれたという結果は、書字のための長期記憶はオリエンテーションが指定されておらず、その手が前もって書くように指定されたオリエンテーションで自動的に出力される可能性を示唆している。

3) 文字サイズのコントロール

文字サイズの左右手差についての結果は、利き手（右手）の運動に比べて非利き手（左手）の運動は相対的にコントロールが難しく、利き手が非利き手の運動をリードしている可能性を示していると考えられる。

Stucchi & Viviani (1993) は、両手による二次元運動を解析して、利き手の運動が非利き手の運動に約25ms先行するかたちで両手運動は行われており、この時間差は利き手のタイムキーパーとしての情報がもう一方の脳半球に伝達されるのに必要な時間であると解釈した。

しかし、文字のサイズの決定要因には、それ以外のものもあるように思われる。それは運動のコントロールの難しさの増大とともに文字サイズが無意図的に増大するという可能性である。

同じ右手の書字でも、同時書字条件では、単独書字条件にくらべて、右手の書字サイズが増大した。また、左手は右手にくらべ書字には不慣れで書字運動の制御がより困難だと考えられる。実際に、左手の書字サイズは、どちらの書字条件でも右手のそれよりはるかに大きなものであった。書字サイズのコントロールには、このように意図的なコントロールと無意図的なコントロールの二つのものを考える必要があることを今回の結果は示しているといえる。

また、左右の手の書字運動のサイズのちがいは、運動プログラムのサイズ指定が単一の中枢プログラムのパラメータを指定すれば済むものではなく、Schmidts (1971) が考えたように両手それぞれについて特殊化されたものであることをも示唆している。

このように、急速反復書字という方法は、両手の同時運動のコントロールの問題にアプローチする上で、新しい方法を提供するものだといえるだろう。

【文献】

- Eliassen, J. C., Baynes, K., and Gazzaniga, M. S. (1999). Direction information coordinated via the posterior third of the corpus callosum during bimanual movements. *Experimental Brain Research*, 128, 573-577.
- Nihei, Y. 1986a. Experimentally induced slips of the pen. In Kao, H.S.R., & Hoosain, R. (Eds.) *Linguistics, Psychology, and the Chinese Language*. Centre of Asian Studies: University of Hong Kong, Hong Kong University Press. 309-315.
- Nihei, Y. 1986b. Dissociation of motor memory from phonetic memory: Its effects on slips of the pen. In Kao, H.S.R., Van Galen, G. P., & Hoosain, R. (Eds.) *Graphonomics: Contemporary Research in Handwriting*. Elsevier Science Publishers (North-Holland), 243-252
- Nihei, Y. 1988 Effects of pre-activation of motor memory for kanji and kana on slips of the pen: An experimental verification of the recency hypothesis for slips. *Tohoku Psychologica Folia*, 47, pp. 1-7.
- 仁平義明 (1984). 書字スリップの実験的誘導—書字運動プログラムのpre-activationの効果—. 日本心理学会第48回大会発表論文集, 278.
- 仁平義明 (1990b). 急速反復書字からみた書字運動記憶のネットワーク—ひらがなの書字スリップ基準票の作成—. 日本心理学会第54回大会発表論文集, 548.
- 仁平義明 (1990a). からだが意図と解離するとき—スリップの心理学的理論—. 佐伯胖・佐々木正人編『アクティブ・マインド—人間は動きのなかで考える—』東京大学出版会, 55-86.
- 仁平義明 (1991a). 急速反復書字によるスリップの発生メカニズム. 東北大学教養部紀要, 第56号, 172-190.
- 仁平義明 (1991b). 汎用運動プログラムをめぐる運動記憶研究の展開—書字の問題を中心に—. 心理学評論, 34, 358-382.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., and Quinn, J. S. Jr. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86, 415-451.
- Strucchi, N. and Viviani, P. (1993). Cerebral dominance and asynchrony between bimanual two-dimensional movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1200-1220.
- Teulings, H. L., Thomassen, A. J. W. M., and van Galen, G. P. (1986). Invariance in handwriting: The information contained in a motor program. In H. S. R. Kao, G. P. van Galen, and R. Hoosain (Eds.). *Graphonomics: Contemporary research in handwriting*. North-Holland: Amsterdam. 306-315.
- 山鳥重 (1980). 漢字仮名問題と大脳半球の左右差. 神経研究の進歩, 24, 556-564.