

機関番号：32503

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700243

研究課題名（和文）書字運動における暗黙知と個人性の因果性解析

研究課題名（英文）Analyzing Causal Relation Between Tacit Skill and Individuality in Handwriting Movement

研究代表者

真部 雄介 (MANABE YUSUKE)

千葉工業大学・情報科学部・助教

研究者番号：50514783

研究成果の概要（和文）：

本研究は、書字動作における「暗黙知の明示化」と「暗黙知と個人性との関連性の明示化」が目的である。腕の筋電位データや電子タブレットデータの計測を行い、複数時系列間の協調関係を発見する実験を行った。筋電データと電子タブレットデータ間の分析では、同期ずれ等の問題が発生し有益な結果は得られなかった。電子タブレットデータのみでの分析では、筆圧と高度間の%RECやY軸と筆圧間の%DET、X軸とY軸間の%DETにおいて、本人と他人の判別が可能である（t検定において有意な差がある）ことが分かった。

研究成果の概要（英文）：

The purposes of this study are “clarification of tacit skill” and “revealing the relation between individuality and tacit skill” in handwriting movement. As the result of some experiments, we found that the individuality can be embedded in the coordinate relations between pen-pressure and pen-altitude, Y-trajectory and pen-pressure or X- and Y-trajectories.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
平成 22 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトウェア工学

キーワード：書字スキル、暗黙知、個人性、認知情報学

## 1. 研究開始当初の背景

文字を書く動作は、人間が行うことのできる知的で特殊な身体運動の1つであり、書字運動や文字形状と筆者の性格や個人性との関連性について長らく研究が行われてきた。特に、個人認証や個人照合に関する研究は多く、私自身も非線形時系列解析の観点から研究を行ってきた。しかし、これまでの研究は以下の2つの問題を含んでいると考えられ

る。

問題点1：

現状の研究では、書字動作を「複雑な身体全体の運動」として捉えていない。Bernsteinは、人間の動作が階層をなしており、様々なレベルの動作が適応的に協調することによって、成立していることを指摘した。Bernsteinの動作階層モデルはAからDの4階層からなり、それぞれの階層は、「体幹部

の緊張」,「多数の筋のシナジー」,「空間場での運動」,「動作の連鎖からなる行為」を表す。このモデルは、1つの行為が遂行されるためには、その下位で複数の動作が追行されなければならない、さらにその1つ1つの動作の遂行のためには、複数の筋のシナジーが必要であり、かつ体幹部の緊張(姿勢の維持)が必要であるということを示すものである。すなわち、書字のような細かい動作や目標を決めて身体を動かす場合も、手先の制御だけではなく身体全体の協調的機能によって実現されている。したがって、書字動作も文字の形状、筆圧などだけではなく、腕の筋力、首、体幹部、姿勢状態なども包含した身体全体の運動として分析されるべきであると考えられる。

#### 問題点 2 :

現状の研究の多くは、文字の形状、筆圧、筆速、筆記具の傾きなどの各特徴を独立に評価している。複数の特徴を利用した分析や応用ももちろんあるが、各特徴間の協調的因果関係という観点で分析している研究は少ない。大滝は、書という技能が階層をなしていることを指摘し、字の形を主とした表現の仕方を「目習」、字を書くための手の動かし方を「手習」と名づけ、「上位の層は、必ず下位の層に依存する」と考えられている。これは、Bernstein の考え方とも共通するものである。また、近年の身体知研究やスキルサイエンスなど、体が覚えている知識(自然と組織化され獲得される暗黙的な知識)を対象とした研究の文脈においても、身体の複数の部位の関係性や筋肉の協調(シナジー)といった要素にこそ知識が含まれているという考え方が重要視されている。書字動作も文字の形状、腕の筋力、筆圧、筆速などの協調的因果関係という観点から分析されるべきであると考えられる。

#### 2. 研究の目的

本研究は、書字動作における「暗黙知の明示化」と「暗黙知と個人性との関連性の明示化」が目的である。本研究における暗黙知と個人性を以下のように定義する。

【暗黙知】腕・首などの筋電位データ、着座時の圧力データ、筆跡文字軌道、筆圧、筆速などのデータ間に見出される協調的因果関係のこと。

【個人性】本人と他人を判別することができる特徴や知識の集合のこと。

研究期間内に達成することは以下の3点である。

- (1) どのデータとどのデータに協調的因果関係があるのか明らかにする。
- (2) 協調的因果関係を具体的に明示化(知

識化)する。

- (3) 明示化した協調的因果関係に個人性があるのか明らかにする。

#### 3. 研究の方法

本研究の具体的作業は、大きく以下の4つに分けることができる。

- A. 書字動作データの計測
- B. 決定論性検定による協調的因果関係の発見
- C. 協調的因果関係の明示化(知識化)
- D. 知識の比較による個人性の検定

A では、文字軌道、筆圧、筆速、ペンの角度、腕の筋電位、首の筋電位、着座時の椅子への圧力、といった情報を計測する。B では、カオス時系列解析の観点から決定論性の高いデータの組み合わせを発見する。C では、決定論性の高いデータ同士での因果関係を明示化する。具体的には、自己組織化マップ(SOM)によるデータのクラスタリング、ニューラルネットの構造学習による因果関係の学習と IF-THEN ルール化を行う。D では、取り出した IF-THEN ルールを異なる筆者間、異なるサンプルで比較し、個人性の有無を分析する。

#### 4. 研究成果

上記で説明した事項についての検証を行うために、4つの実験を行った。それぞれ順に記述する。

##### (1) 実験1: 筋電位と筆跡データ間の協調関係の分析

はじめの実験では、腕の複数部位の筋電位と複数の筆跡運動データ間における協調関係を分析した。データ計測は、2名の被験者(A, B)が腕に筋電計を装着した状態で、電子タブレットによって漢字「永」を一画ずつ書字する過程を計測したものをを用いた。また、身体全体を緊張させて書字した場合と通常の状態では書字した場合の2通りで計測した。計測したデータ間の協調関係をRQA法により%DETを計算することで分析した。

表1および表2にそれぞれの被験者における腕の筋電位と筆跡データ間の協調度合(%DET)を示す。一画目の全試行回数(平均値)が最も高かった組み合わせのみを示している。赤字が%DET=80以上の高い決定論性をもつ組み合わせを示しており、全体において高い値が見て取れる。このことから、筋電データが筆跡データと強く協調している事がわかった。

また、尺側手根伸筋、橈側手根屈筋、背側骨間筋などの腕の末端部や筆記用具の空間場の動きを表す x, y 座標が頻出していることから、レベルCである空間場の動きがレベ

ルBである筋肉の動きに支えられているという関係性がわかった。

さらに、書字姿勢において、協調関係の強い組み合わせが変化しているという結果が得られた。緊張姿勢では、背筋を伸ばしたことで体幹が机に近づき、通常姿勢に比べ腕が折り畳まれた状態となる。それにより、手首のスナップを使って書字を行う結果となり、前腕部の筋肉が筆圧とより協調して現れることがわかった。その現象は、被験者Bにおいて特に顕著である。

表 1 : 被験者Aの%DET 結果

	通常	緊張
1画目(側)	x座標と 僧帽筋(71.02204)	y座標と 背側骨間筋(66.3729)
2画目(勒)	x座標と 尺側手根伸筋(61.82756)	ペンの方位と 橈側手根屈筋(57.66067)
3画目(努)	ペンの方位と 上腕二頭筋(68.47706)	y座標と 背側骨間筋(80.7211)
4画目(趨)	ペンの傾きと 橈側手根屈筋(52.22525)	y座標と 背側骨間筋(47.38777)
5画目(策)	x座標と 背側骨間筋(60.19994)	ペンの傾きと 橈側手根屈筋(53.03855)
6画目(掠)	x座標と 尺側手根伸筋(75.36323)	y座標と 尺側手根伸筋(66.96668)
7画目(啄)	y座標と 背側骨間筋(66.69708)	ペンの方位と 尺側手根伸筋(47.98341)
8画目(磔)	y座標と 橈側手根屈筋(72.9597)	x座標と 背側骨間筋(61.19395)

表 2 : 被験者Bの%DET 結果

	通常	緊張
1画目(側)	y座標と 尺側手根伸筋(84.24324)	筆圧と 橈側手根屈筋(71.04145)
2画目(勒)	x座標と 橈側手根屈筋(75.98397)	筆圧と 橈側手根屈筋(77.09354)
3画目(努)	y座標と 橈側手根屈筋(84.74193)	y座標と 橈側手根屈筋(85.50528)
4画目(趨)	筆圧と 橈側手根屈筋(64.17054)	筆圧と 橈側手根屈筋(62.58865)
5画目(策)	ペンの傾きと 橈側手根屈筋(68.22476)	ペンの傾きと 橈側手根屈筋(76.22747)
6画目(掠)	y座標と 尺側手根伸筋(83.67585)	y座標と 橈側手根屈筋(83.40337)
7画目(啄)	x座標と 背側骨間筋(83.58691)	x座標と 橈側手根屈筋(82.88126)
8画目(磔)	ペンの方位と 橈側手根屈筋(82.99494)	y座標と 背側骨間筋(79.4822)

(2) 実験 2 : 筋電位と筆跡データ間の協調関係の明確化

実験 2 では、実験 1 で明らかとなった緊張姿勢時の協調関係のうち、五画目に 2 人の被験者に共通する関係「ペンの傾きと橈側手根屈筋」が現れていることから、この関係性に着目し分析を行った。

分析方法は、計測した時系列データを隣接する 3 点ごとに分割し、図 1 に示すような基本波形パターンを用いたクラスタリングを行った。そして、その結果を基に連関規則を用いてペンの傾きと橈側手根屈筋において頻出する因果関係パターンを IF-THEN 型のルールとして抽出した。

表 3 および表 4 に、抽出された特徴的なルールを示す。この表からわかるように、被験

者 A は、筆跡においては 1 および 17 のパターン、筋電においては 17、21 の波形パターンが頻出しているのに対し、被験者 B は、筆跡においては 2 および 3、4 のパターン、筋電においては 3 および 4 の波形パターンが頻出している。また、被験者 A の筋電波形パターンが 17 の時、54% の確率で筆跡の波形パターンが 1 になるのに対し、被験者 B では、筋電の波形パターンが 17 の時、50% の確率で筆跡の波形パターンが 4 になっている。このことから、書字動作において、同じストローク、同じ組み合わせで高い協調性が見られたとしても、個人によって筋肉の使い方が異なる可能性が示唆される。

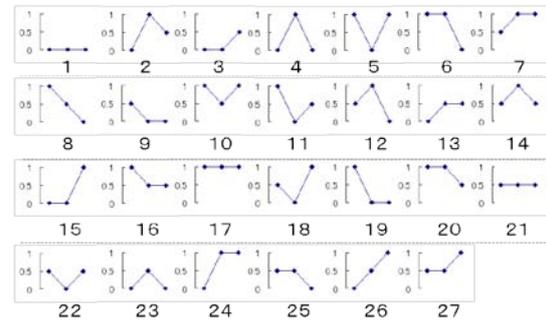


図 1 : 基本波形パターン

表 3 : 被験者 A の特徴的な因果関係

	抽出したルール	支持度	信頼度
1	IF {筆跡=1} THEN{筋電=17}	13%	24%
2	IF {筆跡=17} THEN{筋電=21}	38%	87%
3	IF {筋電=17} THEN{筆跡=1}	13%	54%
4	IF {筋電=21} THEN{筆跡=17}	38%	55%

表 4 : 被験者 B の特徴的な因果関係

	抽出したルール	支持度	信頼度
1	IF {筆跡=3} THEN{筋電=3}	14%	63%
2	IF {筆跡=2} THEN{筋電=4}	25%	44%
3	IF {筋電=2} THEN{筆跡=4}	2%	100%
4	IF {筋電=17} THEN{筆跡=4}	2%	50%
5	IF {筋電=6} THEN{筆跡=4}	2%	40%
6	IF {筋電=3} THEN{筆跡=3}	14%	29%
7	IF {筋電=4} THEN{筆跡=2}	25%	80%

(3) 実験 3 : 複数の書字データ間の協調度合と個人性の分析 1

実験 1 および 2 では、筋電位と筆跡データ間の協調関係について分析を行い、計測からルール化までの枠組みがプログラムの作成から解析ツールの使用法のノウハウまで網羅でき、決定論性の高い関係や関係性のルールによる明確化が行えることがわかった。しかしながら、データ計測の際に、複数の時系列間(特に異なるデバイス間)の同期ずれの影響が大きな問題となることも明らかと

なった。特に筋電計は、幾度も設定や計測を繰り返し試行錯誤が必要であり、現状では個人認証のような工学的応用は難しいということがわかった。

そこで実験3では、筋電計を用いずに電子タブレットから得られる筆跡データのみを用いて個人性の検証を行った。

ベンチマークデータとして Signature Verification Contest 2004 で用いられたデータセットを利用し、解析を行った。利用したデータセットは、40人分の電子タブレットにより得られた書字データ (X, Y, 筆圧, ペン高度, ペン方位, 時間, ペンステータス) が一人につき40本 (真筆20本, 本物を見て真似て書いた偽筆20本) 含まれている。これを用いて、異なる属性間 (X, Y, 筆圧, ペン高度, ペン方位の5種類の総当り) における決定論性と再帰性を計量し、その分布と個人性の関係を調べた。

図2に、ある一人の筆者における決定論性と再帰性の分布に基づく真筆と偽筆の検定結果を示す。このデータでは、XとY, YとPの決定論性において、真筆と偽筆を判別可能な特徴があることがわかった。図3は、上記した一人の筆者のX時系列とY時系列の関係性をニューラルネットワークを用いてルールとして抽出したものである。実験により、おおよそ期待していたような結果が得られた。

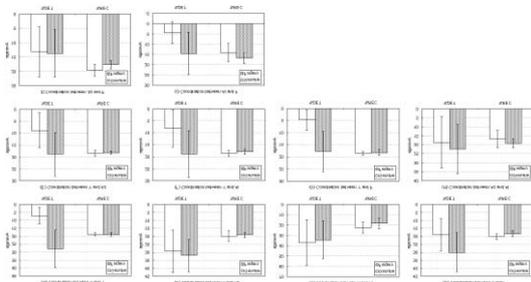


図2：決定論性と再帰性の分布に基づく真筆と偽筆の検定

```

Rule 1: If input vector is '0100000000' Then output vector is '0100000000'
        → If Y is cluster #2 Then X is cluster #2 (63.72% [72/113])

Rule 2: If input vector is '0000100000' Then output vector is '0100000000'
        → If Y is cluster #5 Then X is cluster #2 (23.89% [27/113])

Rule 3: If input vector is '0000100000' Then output vector is '0000100000'
        → If Y is cluster #5 Then X is cluster #5 (84.85% [84/99])

Rule 4: If input vector is '0000000001' Then output vector is '0000000001'
        → If Y is cluster #10 Then X is cluster #10 (49.06% [52/106])

Rule 5: If input vector is '0000000100' Then output vector is '0000000001'
        → If Y is cluster #8 Then X is cluster #10 (37.74% [40/106])
    
```

図3：筆者1の真筆における頻出パターン

(4) 実験4：複数の書字データ間の協調度と個人性の分析2

実験4では、実験3と同様の実験ながらも、個人認証システムの構築を念頭に置き実際に書字システムを自作し、実験を行った。また、書かれる文字が個人性の出にくいシンプルなものであっても真筆と偽筆を判別可能であるかどうかを調べるために、「オンライン」というカタカナを楷書で書く過程の筆跡データを被験者3人 (A, B, C) より各10回ずつ計測し実験に用いた。計測データは、「筆圧」「ペンの方位」「ペンの高度」とし、各種の筆跡データ間の再帰性 (%REC) を定量化した。そして、%REC から個人性を発見できるのかを調べるために、t検定を行った。

図4, 5, 6に、「方位-高度」「筆圧-高度」「筆圧-方位」それぞれにおける%RECの平均値を示す。t検定を行った結果、被験者Aと被験者Cの「筆圧-高度」間の%REC集合の平均値に有意な差 ( $df = 18, t = -3.29, p < 0.05$ ) があり、被験者Bと被験者Cの「筆圧-高度」間の%REC集合の平均値にも有意な差 ( $df = 18, t = -2.13, p < 0.05$ ) が見られた。「筆圧-高度」間の%REC集合の平均値から、被験者Aと被験者C、被験者Bと被験者Cを判別できることがわかった。

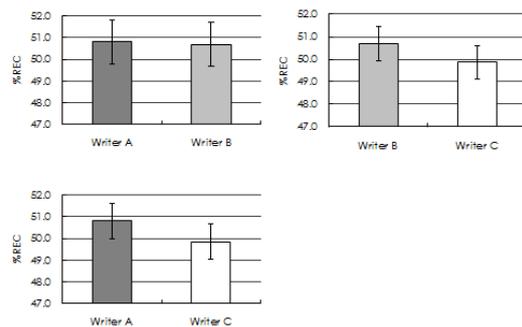


図4：「方位-高度」間の%REC平均

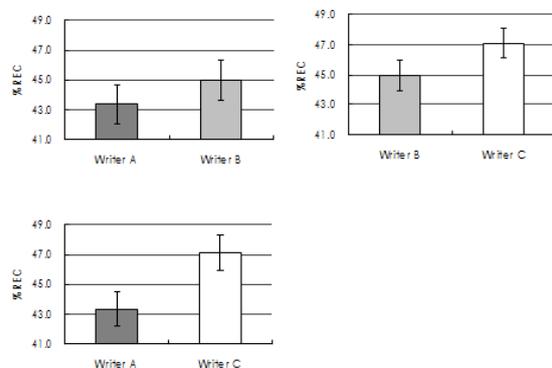


図5：「筆圧-高度」間の%REC平均

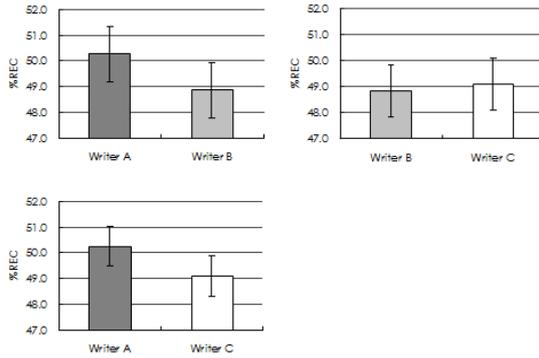


図6 : 「筆圧一方位」間の%REC平均

(2) 研究分担者  
無し

(3) 連携研究者  
無し

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

① Yusuke Manabe, Hiromichi Saito, Keisuke Akiyama, Ryotaro Ikeda, Satoshi Kanda and Kenji Sugawara: Perceptual Functions for Context-Awareness of an Office Worker, 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics, 7-9. July. 2010, Beijing.

② 真部雄介, 藤田茂, 今野将, 原英樹, 菅原研次: 着座姿勢認識のための感圧センサー情報の記号化法の一検討, 第17回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2009.

③ Yusuke Manabe, Basabi Chakraborty and Kenji Sugawara: Extraction of the basic feature points of handwriting data by auto translation error map, 8th IEEE International Conference on Cognitive Informatics, June 15, 2009, Hong Kong.

[図書] (計1件)

① Yusuke Manabe, Kenji Sugawara: "Chapter 16 Analyzing Coordinate Relations in Handwriting Activity: Tacit Skill and Individuality," in Kansei Engineering and Soft Computing: Theory and Practice, pp. 287-302, Engineering Science Reference, 2010.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

真部雄介 (MANABE YUSUKE)

千葉工業大学・情報科学部・助教

研究者番号: 50514783