

カーソルは心の窓になるか？ Is a Cursor the window of the mind ?

椎名 乾平 (Kenpei Shiina)

早稲田大学 Waseda University (shiina at waseda.jp)

Abstract

Although rating scales are still a mainstay of data acquisition in psychology and cognitive science, we do not have ample knowledge about how rating decisions unfold over time. In this study PC cursor trajectories were recorded and analyzed to probe internal states in rating decisions. Major findings are: 1) the variability of cursor trajectories and response RT are highly correlated suggesting that the trajectory variability is the cause of Inverted-U RT effect. 2) The trajectories consist of quick saccadic-like components that are called “strokes” in this paper. The distribution of strokes differed across tasks as a function of cognitive loads. 3) The shape and speed of tangential velocity of trajectories may reflect participant’s internal states, especially when cognitive loads are high. Finally, 4) we can infer the decisional vacillation and hesitation using the trajectories. In particular, rating decisions for middle categories are more susceptible to decisional fluctuation.

Keywords — rating decision, cursor movement, dynamic process

1. はじめに

身体運動と心的活動が無関係であるはずがない。従って、PC上のカーソルの動作も何らかの心的活動を反映するはずだが、何がどう反映するかを調べるのは容易ではない。ところで、最近マウスの運動や手の単純な動作から心的状態を推定しようという試みがなされている(総説としては、[3] [11]を参照されたい)。本論文で扱うのは、心理学や認知科学で多用される「評定尺度判断」におけるカーソルの運動であり、その目的は、評定尺度でのカーソルの動作特性からどのような内的状態が推測できるのかについて、著者が行ってきた研究([7] [8] [9])を紹介することである。

評定尺度 評定尺度は心理学や認知科学におけるデータ獲得手段として依然健在である。しかしながら、評価尺度法とそこから得られる評価値の性質についてはわからない事が多い。例えば、我々は評定判断がどのように物理的に実行されるかをよく知らない。ましてや、心的過程が最終選

択や反応時間にどのように影響を及ぼすのかについてはほとんど無知である。評定尺度は「ブラックボックス」であり、「パンドラの箱」であるようにも思われる。そこで、行動的意思決定研究でしばしば用いられるプロセス追跡パラダイムの枠組み内で、コンピュータベースの決定インタフェース(図1)を使用してカーソルの軌跡を分析する。

2. 実験概要と分析の着目点

図1は、軌跡を記録するために実験で使用されたフォームの例であり、順序カテゴリーとカーソル軌跡の例が示されている。カテゴリーラベルは1から5までの数字か、「いいえ」「わからない」「はい」が、刺激材料によって使い分けられた。

手続き 被験者がフォーム中央のスタートボタン(このボタンはクリックと同時に消えるので図1には表示されていない)をクリックすると試行が始まる。スタートボタンのクリックと同時に、刺激(問題)が中央の刺激提示ボックスの中に現れる。被験者の課題は、できるだけ早く「正しい」

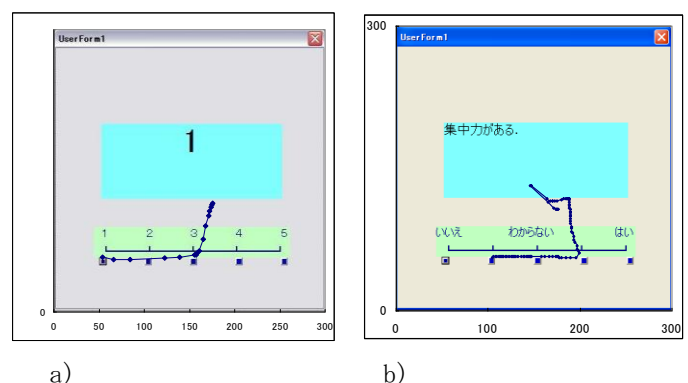


図1 実験で用いられたフォームの例。左はBenchmark課題、右はBig5性格評定課題。図上の曲線は軌跡の例であり、中央部分のスタートボタン(非表示)の位置から下部の評定ボタンまで続いている。図4も参照されたい。

あるいは「最も適切な」カテゴリーボタンをクリックすることであった。最初と最後のクリック間の時間とカーソル軌跡が記録された。以上のような手続きで、被験者は数十の問題に反応した。軌跡と RT が、実験刺激の変化に従ってどのように変化するのが問題となる。実験用プログラムは VBA for Microsoft Excel で書かれ、実験は Excel の上で行われた。

軌跡の基準化と平均軌跡 図 1 に例示されているような軌跡を原軌跡(raw trajectory)と呼ぶ。軌跡は時間変数付きの 2 次元ベクトル

$(x(t), y(t)), 0 < t < RT$ として表現できる。RT は最初のクリックと最後のクリックまでの時間と定義されているので、この値は当然原軌跡によって異なり、原軌跡の形状を直接比較するのは難しい。そこで原軌跡を比較可能にするために「基準化」する。まず RT を 256 で割り、各軌跡ごとに時間刻み幅を定義し、次に線形補間により各時点 i ($i=1,256$)における軌跡の位置 $(x_i, y_i), i = 0, 255$ を推定した。この手続きは、軌跡の長さや形状を変えずに、時間ステップ数を 256 に揃える。この基準化刺激を用いて平均軌跡を描いてみると例えば図 2 のようになる。

軌跡の Tangential 速度 2 次元軌跡を直接分析するための標準的方法は存在しないので、本研究では軌跡の Tangential 速度に注目する。時間 i における軌跡の Tangential 速度とは

$$TV_i = \frac{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{RT/256} = \frac{\text{Traveled Distance}}{\text{time step}}$$

と定義される。図 3 に平均 Tangential 速度の例を示し、図 4 に原軌跡の Tangential 速度の例を示す。

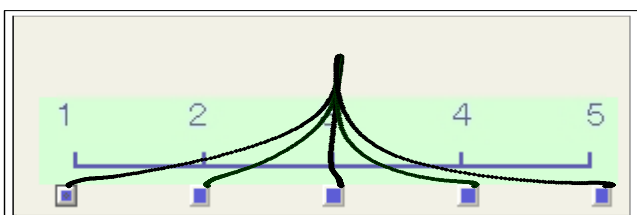


図 2 平均軌跡 Benchmark 課題 (後述) で得られた平均軌跡。各曲線はおよそ 2400 の原軌跡を平均したものである。

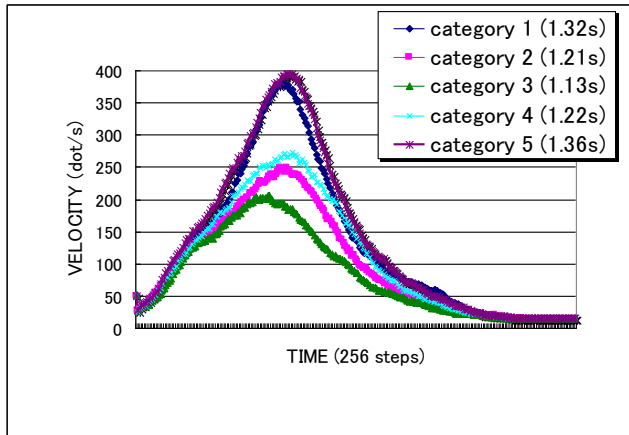


図 3 Benchmark 課題 (後述) での平均 Tangential 速度 (Shiina, 2011b, Fig.3a)。各曲線はおよそ 2400 の Tangential 速度を平均したものである。各曲線は図 2 の平均軌跡に対応している。

ストローク 図 2 の平均軌跡曲線や図 3 の平均 Tangential 速度を見ると、個別の原軌跡も単純到達運動(例えば[4])のような滑らかな単一運動であろうと考えてしまう。ところが、Shiina(2011a)は、評定課題でのカーソル軌跡が先行研究でみられたように滑らかな連続曲線ではなく、眼球運動における saccade のような、短い急速な運動の連続である場合が多いと指摘した。この運動を本論文ではストローク (Stroke) と呼ぶ。図 4 は、原軌跡の Tangential 速度曲線の例を示しているのだが、急速なカーソル運動 (ストローク) に起因する複数のピークが存在し、単峰性(パネル a)のみならず、二峰性、三峰性、さらにより多くの峰を持つ曲線が多数観測される。または e) のような、ドリフトパターンもあった。さらに、ストロークは同質ではなく様々な種類があると思われる。すなわち、明確な定義は難しいが、パルス、ピーク、山のようなものが観察できる。いずれにせよ、もしマウスインターフェースに特有のアーティファクトでないなら、意思決定におけるストロークの出現は、その時間発展の新しい側面を示す注目すべき発見と言えるだろう。このストロークをどう扱うかがデータ解析上の課題となる。

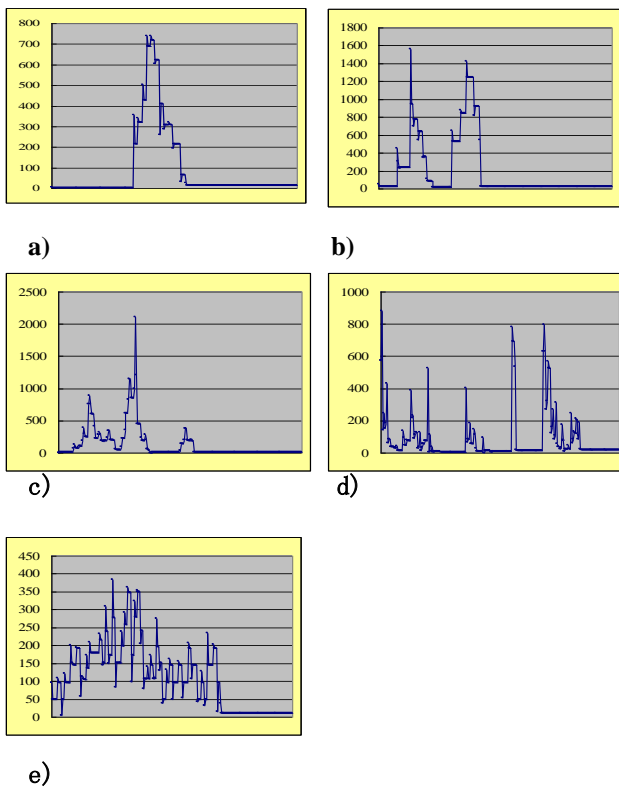


図4 Benchmark 課題（後述）における Tangential 速度の例。パルスやピーク（ストロークと呼ばれる）、およびドリフト(e)が見られる。パネル(b)は図1aで例示されている軌跡に対応している。横軸は基準化された時間(256時間ステップ)、縦軸は Tangential 速度(ドット/s)。

3. 関連する重要な現象と理論

逆U字型効果 リッカート尺度のような多段階順序付カテゴリーを用いた反応スケールでは、反応スケールの中央部分に対する反応が両極部分に対する反応より、不安定で、長い時間を要するのが知られている[5]。この反応パターンは、反応時間、誤り、および反応変動性の形で観察されており、Mignault, Marley, & Chaudhuri (2008)は、それぞれを、逆U字型反応時間、逆U字型エラー効果、逆U字型不確実性効果と名付けた。この効果は様々な研究で確認されており、またいくつかのモデルが提案されている。この効果に対する概説とモデルについては、[1][12]を参照されたい（ただし、これらのモデルは、一般の評定判断のモデルというより、評定判断の下位カテゴリーと考えられる絶対同定判断のモデルである）。逆U字型効

果は、人々が評定判断で何を実際に行っているかについて様々な情報・示唆を与えてくれるものと思われる。

単純到達運動 運動制御研究では、単純到達運動が初期の弾道フェーズと2番目の修正制御フェーズで構成されるのが知られている[2]。神経伝達速度の制限のため、弾道運動は feed-forward コントロールにしたがう。すなわち、弾道運動では、初速と方向が運動の開始前に決定しており、その結果、運動の間には認知過程の影響を受けないことになる。言い換えれば、弾道運動での軌跡は弾丸のように「ただ飛んでいく」のであり、被験者が「ためらい」や「動揺」の状態ではないことを示す指標として機能する。弾道運動の典型的特徴は Tangential 速度が比較的高く、ベル形(Gaussian shape)をしていることである。したがって、Tangential 速度曲線の色速度レベルとベル形状の確認は、軌跡が弾道であるか非弾道であるかを決定する基準として使用できる。

4. 研究 1 Decide-then-move 仮説と Concurrency 仮説

Shiina(2008)は軌跡観測パラダイムを用いて意思決定者の内部状態を推測する実験を行い、Decide-then-move 仮説と Concurrency 仮説を対比した。Decide-then-move 仮説は、被験者は心内でカテゴリー選択を済ませてから、カーソルを動かして外部反応を生成するものと仮定する。この場合、カーソル運動は、初期の弾道フェーズとそれに続く修正制御フェーズからなる単純到達運動とならなければならない。一方、Concurrency 仮説は、カーソルの運動は、運動成分と認知的成分によってインタラクティブに、相乗効果的に制御されるとする。さまざまな刺激（数学、地理、人生観、一般的意見、性格評定などの課題）を与えて評定実験を行った結果、評定カテゴリーの両極を終点とする軌跡は単純到達運動を示し Decide-then-move 仮説を支持したが、中ほどのカテゴリーを終点とする軌跡は単純到達運動から逸脱しており、Concurrency 仮説が当てはまるものと

された。また、単純到達運動からの逸脱は被験者の心的葛藤と動揺を反映するものと示唆された。ただし、この研究は平均曲線のみを取り上げて、やや早急な結論を出しているように思える。

5. 研究2 課題特性と逆U字型 RT 効果

Shiina(2011a)では、認知的負荷の異なる4つの課題が対比された。課題AはBenchmark課題であり1から5までの数字が提示ボックスの中にランダムに提示され、被験者はできるだけ早く対応する反応ボタンをクリックするよう指示された。先行研究[7]において、この課題での軌跡は典型的な単純到達運動となるのが示されているので、この課題は最小の認知的負荷しか要求しないベースライン軌跡を測定することになる。課題B1での刺激は、3つの数字の足し算と引き算からなる簡単な数式であった(例えば、 $3-2+1$, $1+3-2$,)。答は1から5までの整数となり、被験者の課題は、できるだけ早く適切な数をクリックすることであった。課題B2は割り算課題であり、被験者にはある素数を1つの整数で割り(例えば $17/13$)四捨五入して最も近い整数のボタンをクリックすることが求められた。小数での解答は 0.7647 と 5.2222 の間の循環小数になるが、四捨五入した後は1から5までの整数となる。課題CはBig5課題であり、被験者にはBig5理論に基づいた形容詞か文が与えられ、自己の性格を5個のボタンのうち1つをクリックして評定した。この課題では「いいえ」「わからない」「はい」のラベルが、「1」、「3」、および「5」の位置に置かれ、「2」と「4」の位置にはラベルは無かった(図1b)。課題A, B1, およびCの被験者は早稲田大学学生70人であった。課題B2は異なる173人の早稲田大学学生に対して行われた。

逆U字型 RT 効果 図5に最終的にクリックされたカテゴリの関数としての平均反応時間を示す。4つの課題、すなわち、Benchmark, 足し算引き算, 割り算, およびBig5課題の結果が示されている。Benchmark課題, 足し算引き算課題では逆U字型RT効果は存在しないが、割り算課題とBig5課題

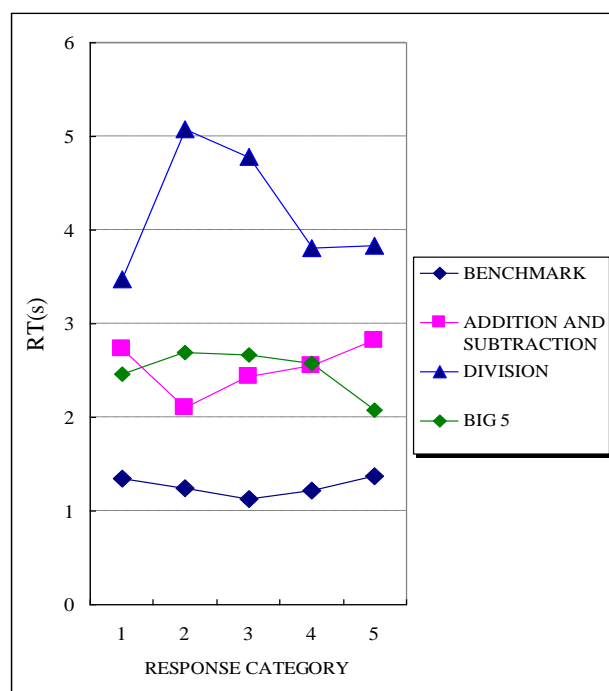


図5 クリックされたカテゴリごとの平均反応時間

では、典型的な逆U字型RT効果が観測できる。この結果は、認知的負荷が低いときには、逆U字型RT効果が起こらないことを示唆する。

平均 Tangential 速度と逆U字型 RT 効果 どんな条件下で逆U字型効果が生起するのか Tangential 速度に注目して調べる。すべての軌跡は5つの反応カテゴリのどれかに到達するので、同一の評定カテゴリに到着した軌跡群の平均 Tangential 速度が計算できる(図6)。例えば、図6aの5個の平均 Tangential 速度曲線は、Benchmark課題で最終的にクリックされた評定カテゴリに対応している。曲線は基準化時間の関数としてのカーソルの「速度」を示しており、括弧内の数値は平均RTである。他の課題の Tangential 速度曲線は図6b, 6c, および6dに示されている。認知的負荷が低く、単純到達運動を起こすものと考えられる Benchmark 課題では、すべての曲線が単純到達運動の典型的な特徴、すなわち最初の弾道運動(左のピーク)と小さい調整運動(右における小さい振動)を示している。最高速度が200ドット/s以上である曲線が弾道運動を示しているものと推定した。

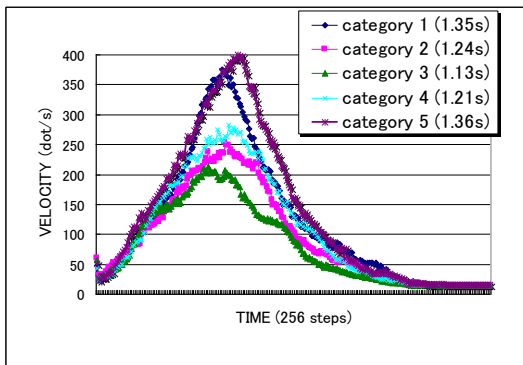


図 6a: 平均 Tangential 速度

Benchmark Task.

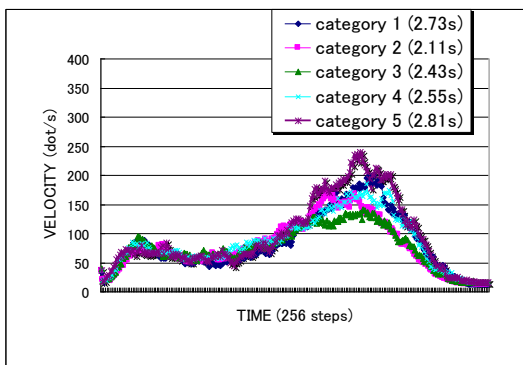


図 6b: 平均 Tangential 速度

Addition and Subtraction Task.

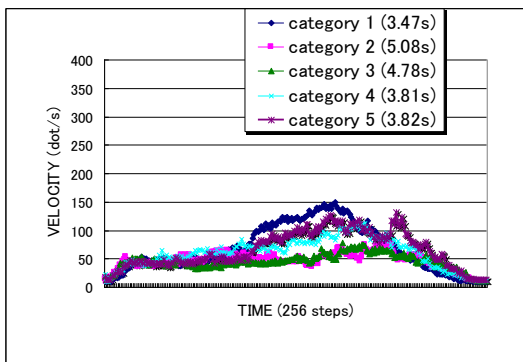


図 6c: 平均 Tangential 速度

Division Task.

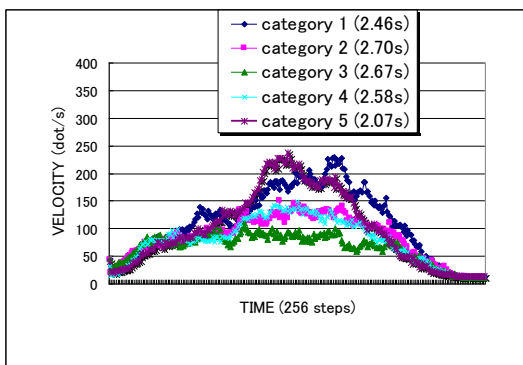


図 6d: 平均 Tangential 速度

Big 5 Task.

この推定に従うと、割り算課題には単純到達運動は存在しないことになり、足し算引き算課題においてはカテゴリー1と5を目標とする軌跡は弾道運動成分を持つと考えられる。同様に、Big5課題のカテゴリー1と5を目標とする軌跡は、弾道運動となる。運動制御理論[2]によると、弾道運動は、運動過程と認知的過程の間に解離があるのを含意する。もちろんストロークの存在もあり、平均曲線に弾道運動が存在するからと言って原軌跡に弾道運動が存在するとは言えないし、平均曲線に弾道運動が存在しないからと言って原軌跡に弾道運動が存在しないとは言えない。すなわち、図6の結果は統計的な傾向を示しているのであるから、個々の原軌跡も調べてみなければならない。

変動係数 平均速度は原軌跡の速度変動性を捉えきれていないという意味で、平均速度曲線の分析だけでは危険なので、別系の分析を行うことにする。時刻*i*において、

\bar{X}_i = Tangential 速度の時刻*i*での平均

s_i = Tangential 速度の時刻*i*での標準偏差

と定義する。そして、再びすべての時間ポイント*i*にわたってこれらの量を平均すると、合計 20(4課題 X 5カテゴリー) の平均 Tangential 速度と、平均変動性(標準偏差)のペアが計算できる。しかし、一般に、測定量が大きければ、その変動性も大きくなる自然な傾向があるので、軌跡の変動性について調べるためには、平均の大きさを考慮に入れる変動性の評価が望ましい。この目的のためにピアソンの定義した Variation Coefficient s/\bar{X} を使うことにする。

本研究の場合、時刻*i*における平均速度曲線の変動性を、 $CV_i = s_i / \bar{X}_i$ と定義したうえで、それらをすべての時刻にわたって再び平均するならば、全体的軌跡変動性の指標となろう。合計 20 (4課題 X 5カテゴリー) の速度曲線に対して、20 の平均 CV が計算された。さてこの CV で定義された軌跡変動性は逆 U 字型 RT 効果を説明できるだろうか? 平均 RT と全体的軌跡変動性(CV)の散布図を見ると(図7)、かなり明確な直線関係を見ることができる($r=0.94$)。(異質であると思える)

Benchmark 課題の5データポイントを無視しても、相関係数は高い($r=0.92$)。したがって、軌跡変動性(CV)がRT変動性の原因であり、次に、RT変動性を原因として逆U字型効果が生起するという(やや乱暴な)解釈が可能である。この解釈に対しては、図7には課題ごとにかなり明確なクラスターが見られるので、4つの課題の困難度が異なるため偽相関が生じただけであるという反論が可能かもしれない。この反論は、課題困難度がRTを大きくし、大きなRTが大きな軌跡変動性を生み出すという主張である。しかし、平均RTと軌跡曲線の変動性(S_i を平均したもの)との相関は-0.18であり、言い換えれば、実験式

$$RT = a \times (\text{averaged } s_i) + b$$

はあてはまりが悪く、

$$RT = a' \times (\text{averaged } CV_i) + b'$$

のあてはまりは非常に良いということなので、この反論は支持できないように思える。

6. 研究3 ストロークの分析

Shiina(2011b)はストロークと反応時間との関係に注目しつつ、ストロークの頻度と形状が、意思決定の特性(特に意思決定における迷い)の指標として機能するかどうかを調べた。**Benchmark** 課題と **Big5** 課題の2課題が対比されたが、その理由は、この二つの課題にはかなり大量の軌跡データ(それぞれ一万以上)が蓄積されていたので、後述するストロークの計数に適していたこと、また **Benchmark** 課題と **Big5** 課題は明らかに異なる認知的処理を喚起すると考えられるからである。すなわち **Benchmark** 課題では、カーソル移動の目標は実験者が定め、被験者は単に実験者の命令に従うだけであるが、**Big5** 課題での目標は被験者自身の自発的な判断で設定されなければならない。もちろん、このような特性を持つ課題は多数あるが、とりわけよく研究されているのが **Big5** 性格評価と考えられるからである。すべての被験者に対して、最初に **Benchmark** 課題、次に **Big5** 課題が与えられ、被験者は早稲田大学の483人の大学生であった。

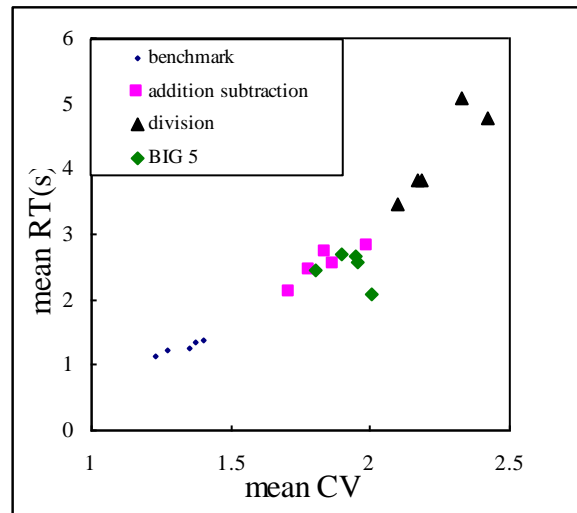


図7 Response Time and Coefficient of Variation

ストロークの計数 ストロークを分析するための手始めとして、最終的にクリックされた評定カテゴリーの関数としてのストロークの計数を行う。数万の速度グラフ上のパルスやピークを目視で数えるのは、ほとんど不可能であるので、ストローク検出フィルターを設計した。

カーソル軌跡からのストローク検出は、図4のパルスやピークを捜し求めるのと同様である。一般に、雑音から信号を抽出するのは、難しい問題であり、ガイドラインを与えてくれる先行研究もなく、そもそも山や丘の「正しい」定義というものがあるわけでもない。

これらの問題を念頭におきつつ、フィルターは以下の方法で設計された。最初に、**Tangential** 速度は非負なので、デジタル画像解析でのフィルターリングや対象検出手法が使用できるのに注目する。特に、デジタル画像解析におけるエッジ検出は、基本技術であり、その標準手続きでは、画像の二次導関数を計算することによってゼロ交差を検出する。ストローク検出フィルターにこのアイデアを借用し、まず **Tangential** 速度の一次導関数(加速度)が計算された、そして、山の頂上(加速度0の点)に対応するゼロ交差が検出された。(山の頂上を探索するのが目的なので、二次導関数を計算する必要はない。なぜなら、**Tangential** 速度曲線上の、山の頂上の一次導関数は0でなければならない、

頂上の左側の一次導関数は正でなければならず(上り坂), 頂上の右側の一次導関数は負でなければならぬ(下り坂)からである). この手続きから得られたゼロ交差は, 本来のストロークと雑音の両方から生起するので, 移動平均フィルターを適用して, 雑音から発生するゼロ交差の除去が試みられた. 移動平均フィルターが使用された理由は, 鋭いステップ反応を保存しつつ, ランダムノイズを減少させるという課題において, 最適なのが知られているからである[10, p.277]. 最後に, ストローク(速度グラフ上の山)が, 2つのパラメタ, 幅と急峻度, を設定することによって検出された. 最初のパラメタは, 山の幅を定義し, 2番目は山の険しさを定義するが, 両者は一次導関数の時系列上で以下のとおり定義される,

Width=幅は, ゼロ交差の左側の山の頂上から, ゼロ交差の右側の谷底まで時間差,

Steepness=急峻度は上で定義された幅で, 山の頂上から谷底まで高低差を割ったもの

この2つのパラメタを変えると山の異なった定義が与えられるので, 検出される山の数はいずれの2つのパラメタの関数である. 以上をまとめると, 元々の2D軌跡のストロークはTangential速度グラフ上の「山」として表現される. 山頂は14時点の移動平均フィルターを適用した後の一次導関数時系列曲線上のゼロ交差として表現される. 最後に, ゼロ交差検出アルゴリズムが, 2つのパラメタを使用して, ストローク数を計数する.

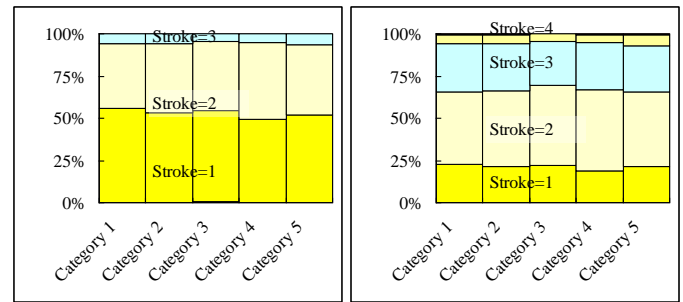
図8はストローク計数の結果を示している.

Stroke Ratioを次の条件付き確率として定義する:

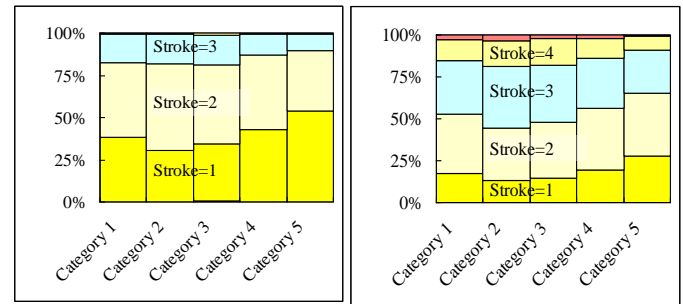
$$P(i|C) \equiv SR_C(i)$$

$$\equiv \frac{\text{The number of trajectories arriving at Category } C \text{ and has } i \text{ strokes}}{\text{The number of trajectories arriving at Category } C}$$

ここでCは何らかの評定カテゴリー, iはストローク数である. 図8aと8bには, Benchmark課題における各反応カテゴリーに対するStroke Ratioが示されている. 図8aはstrict基準(幅=31, steepness=0.5), 図8bはlax基準(幅=20, steepness=0.5)を用いた時のStroke Ratiosを示している.



a) Benchmark Strict criterion b) Benchmark Lax criterion



c) Big 5 Strict criterion d) Big 5 Lax criterion

図8: The ratios of stroke numbers for each rating category. Very small ratios (more than 4 or 5 strokes) are invisible in this figure. a) Benchmark Task under strict criterion (12,075 total responses), b) Benchmark Task under lax criterion. In Benchmark Task, Categories 1, 2, 3, 4, and 5 were clicked 2417, 2414, 2415, 2414, and 2415 times, respectively. c) Big 5 Task under strict criterion (14,490 total responses), d) Big 5 Task under lax criterion. Categories 1, 2, 3, 4, and 5 were clicked 2642, 1987, 2289, 3367, and 4205 times, respectively.

同様に, 図8c, 8dはBig5課題の結果を示し, 図8cは, strict基準, 図8dはlax基準を用いている. strict基準の元では, より大きな山だけがストロークとみなされ, lax基準の下ではより小さい山が検出されてストロークとみなされる. strict基準は, 本来の信号をrejectする傾向があり, lax基準は雑音から発生する山を採択する傾向があるのだが, 信号検出と正棄却との間のこのトレードオフは, 信号検出理論で知られているように, 完全に排除することは不可能である. そして, これが複数の評価基準を同時に考慮する理由である.

主要な結果は以下の通りである. 1) Benchmark課題(図8aと8b)では, どちらの評価基準でも, ス

トローク比がどの反応カテゴリーに対してもほぼ同等であり、これはストロークの生起確率とどのカテゴリーがクリックされたかが無関係であったのを意味する。一方、Big5 課題(図 8c と 8d)でのストローク比にはかなり系統的な違いが観察できる。

2) 図 8a と 8c は, strict 基準の下で性格判断に起因する認知的負荷が, $SR_c(1)$ (単一ストローク軌跡比)を減少させ, 複数(2 以上)のストローク軌跡を増加させたことを示している。ただしカテゴリー5 は例外である。同様に, lax 基準の下で, 図 8b と 8d を比較すると, 性格判断により認知的負荷が課されている状態で, $SR_c(2)$ (二重ストローク軌跡)が減少して, 三重かそれ以上のストローク軌跡が増加したことがわかる。ただしカテゴリー5 は再び例外である。これらを総合すると, カテゴリー5 を除いて, 性格判断がストローク数を増加させたと言えるであろう。

3) Big5 課題(図 8c と 8d)では, どちらの評価基準の下でも, カテゴリー2 と 3 に対するストロークの平均数が大きかった。

4) 図 9 で両課題における平均 RT を示す。Big5 課題では, 平均 RT が短いと, $SR_c(1)$ が高いに傾向がある。両変数間の相関関係は strict 基準下では $r=-0.98$, lax 基準値下で $r=-0.96$ であった。もちろん 5 ポイントだけ用いた相関係数であるから信頼性は低い。

5) カテゴリー5 への反応はユニークであった。被験者が Big5 課題で, カテゴリー5, すなわち, 「はい」カテゴリーをクリックしたときは, まるで認知的負荷が全くないかのように, ストローク比は Benchmark 課題と類似していた。この「はい」効果は, 将来の詳細な研究に値するものと思われる。

以上の結果から, ストローク数が評定判断と RT に関連するのは明らかであろう。なぜそうなるのかを明らかにするのは簡単ではないが, 次のセクションで運動制御研究と逆 U 字型効果との関係が検討される。

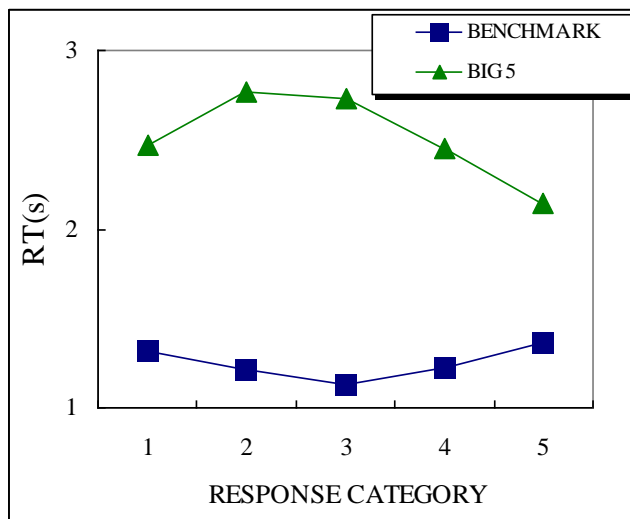


図 9 平均反応時間 Big5 課題で逆 U 字型 RT 効果が見られる。

ストローク数と平均 Tangential 速度の関係 (弾道運動とためらい) 単一ストローク軌跡の比率は, 弾道運動に関連するので理論的に重要な意味がある。もしここでの単一ストローク運動が弾道運動とあると言えれば, 単一ストローク運動が行われている間は意思決定におけるためらいが小さかったと言えるだろう。先に述べたとおり, 弾道運動の典型的特徴は Tangential 速度が高くベル形をしていることである。したがって, Tangential 速度曲線の速度レベルとベル形状が, 軌跡が弾道であるか非弾道であるかを決定する基準となりうる。

前節で行ったストローク数による軌跡の分類結果を利用して, Benchmark 課題において各カテゴリーに向かった単一ストローク軌跡の平均 Tangential 速度を図 10a に示す。Benchmark 課題は弾道成分を含む単純到達運動を起こし, Tangential 速度が高くベル形をしているものと強く予想できる。図 10a を見ると曲線は明らかにベル形をしており, また全体的に Tangential 速度が比較的高く, Benchmark 課題が弾道成分を含む単純到達運動を生起させたのがわかる。

図 10b に, Big5 課題において各カテゴリーに向かった単一ストローク軌跡の平均 Tangential 速度が示されている。ベル形からの逸脱は, 弾道運動からの逸脱を示し, 意思決定におけるためらいを示すと考えられる。この規則に従えば, カテゴリ

ー1 と 5 は迷いなく選ばれたが、他のカテゴリーは迷いの後に選ばれたと推測できる。

逆 U 字型効果と RT 図 9 では、Big5 課題において、典型的な逆 U 字型 RT 効果が見られた。そして図 10b で、中程の 3 つのカテゴリーに向かった単一ストローク軌跡が弾道運動から逸脱しているのが明らかになった。(なお、この課題では、2 個以上のストロークを持つ軌跡の平均 Tangential 速度曲線は、ベル形からさらに逸脱しており、したがって弾道運動からより乖離していた。)

図 10 は、フィルター処理後の速度を使用して描かれたという意味において純粋な平均速度を示しており、そして Benchmark 課題の曲線は明らかにベル形をしている。そこで、Big5 課題での逆 U 字型効果の直接原因は、中程の 3 つのカテゴリーに向かった単一ストローク運動の Tangential 速度が低く、ベル形から逸脱し、弾道運動でなかったということになる。結局、すべての結果を総合的かつ簡潔にまとめる説明は、Big5 課題の中程のカテゴリーに向かった軌跡のストローク数が多く、非弾道的(振動が多く不安定)であったので、平均速度が低下し、その結果、逆 U 字型 RT 効果が起こったというものであろう。より大胆な心理学的な解釈は、被験者のためらいと迷いがストロークを引き起こしたのであり、軌跡の振動の根本原因は心的変動であるというものである。もちろん、平均 Tangential 速度曲線はストローク開始頻度が時間軸上で平均されたという側面もあるので、他の解釈も可能だが、この心理学的な解釈は有望であると思われ将来の課題であると言えよう。

7. おわりに

本研究は基本的に探索的なものであり、取り扱わなかった重要な変数としては、例えば、個人差、速度の方向、RT の分布、ストローク持続時間の分布、ストロークの長さ、等があげられる。にもかかわらず、内的意思決定と RT、RT と軌跡振動、RT と物理的移動(特にストローク)の間の相互作用(あるいは因果関係)を示すいくつかの興味深い事実が見出された。本研究の主要な結果は以下の

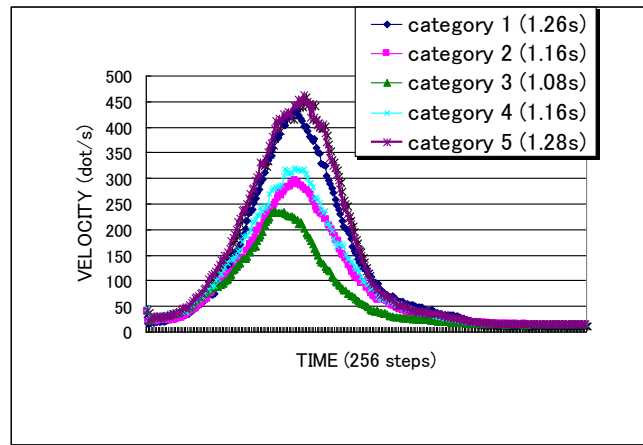


図 10a: Average tangential velocities of single stroke trajectories toward the 5 categories in Benchmark Task. All curves are Bell-shaped. Lax criterion.

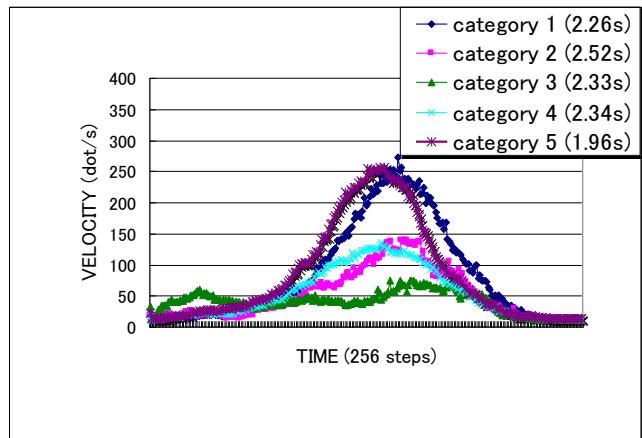


図 10b: Average tangential velocities of single stroke trajectories toward the 5 categories in Big 5 Task. Deviation from Bell-shape indicates deviation from ballistic movement. Lax criterion.

ようにまとめられよう。

- 1) RT と軌跡の不安定性は強く関係している。
- 2) ストロークの分布は課題によって異なる。そして、認知的負荷の増加に従って、ストローク数が増加した。
- 3) ストロークは RT を減速させ逆 U 字型効果を引き起こした。
- 4) 軌跡の tangential 速度の大きさと形状は、特に認知的負荷が高い時に、弾道あるいは非弾道運動という運動のタイプと連動し、被験者の心的状態の反映する指標になりうる。
- 5) 「はい」反応には内的葛藤の兆候があまり見られない。また、平均 RT は「はい」と答える場合の

方が早く、逆U字型というよりも逆J字型になっている(図9)。この「はい」効果は無意識的意思決定研究の観点から興味深い現象に思える。

psychometrics への示唆 評定尺度法の実験的基礎研究は30年以上放置されほとんど行われていないのが現状である。その間に、psychometric的な仮定を置いて評定尺度法の統計モデルを提案する研究は多数提出されている。しかし、それらのモデルはやや実証性に欠ける仮定をおいて、データ解析法や尺度化法を提案するものであって、そもそも基礎仮定が正しいかどうかのチェックはほとんど行われていないのが現状である。評定尺度を使用する人が一度は持つ疑問ながら、うやむやのままになっていると思われる、a) 尺度水準は何か?、b) 正規分布すると言えるのか?、c) カテゴリー数はいくつが最適か? d) どの程度の精度があると言えるのか? といった問題に解答あるいは何らかの指針を与えることができるのを期待している。そして、「何でも測定器」として使われている評定尺度法の意味付けの「近代化」ができれば良いと願っている。

意思決定理論への提言 a) 心的過程と身体運動との関係、b) 意思決定における葛藤解決過程、に新しい知見が提供できるだろう。とりわけ行動経済学的課題の解決プロセス、特に反応生成過程を丹念に追ったものは少ないので、この分野に基本的データを提供し、将来的には何らかの提言ができるだろうと期待している。

参考文献

- [1]Brown, S. D., Marley, A. A. J., Donkin, C., & Heathcote, A. (2008). An integrated model of choices and response times in absolute identification. *Psychological Review*, **115**, 396-425.
- [2]Elliott, D., Helsen, W. F., & Chua, R. (2001). A century later: Woodworth's (1899) two-component model of goal-directed aiming. *Psychological Bulletin*, **127**, 342-357.
- [3]Freeman, J. B., Dale, R., & Farmer, T. A. (2011). Hand in motion reveals mind in motion. *Frontiers in Psychology*, **2**, 59.
- [4]Kelso, J. A.S., Southard, D. L., & Goodman, D. (1979). On the nature of human interlimb coordination. *Science*, **203**, 1029-1031.
- [5]Kuiper, N. A. (1981). Convergent evidence for the self as a prototype: the "inverted-U RT effect" for self and other judgments. *Personality and Social Psychology Bulletin*, **7**, 438-443.
- [6]Mignault, A., Marley, A. A. J., and Chaudhuri, A. (2008). Inverted-U effects generalize to the judgment of subjective properties of faces. *Perception & Psychophysics*, **70**, 1274-1288.
- [7]Shiina, K. (2008). Vacillation and Hesitation in Category Rating: Evidence from PC Cursor Trajectories. *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.1894-1899). Washington D.C.: Cognitive Science Society
- [8]Shiina, K. (2011a). Trajectory-Variability and Inverted-U Effects in Rating Decisions. *European Perspectives on Cognitive Science : Proceedings of the European Conference on Cognitive Science*
<http://nbu.bg/cogs/eurocogsci2011/proceedings/pdfs/EuroCogSci-paper187.pdf>
- [9]Shiina, K. (2011b). Tracing the Process of Rating Decisions through Cursor Movements. *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society*
- [10]Smith, S. W. (1997). The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Pub.
- [11]Song, J.H., Nakayama, K. (2009). Hidden cognitive states revealed in choice reaching tasks. *Trends in Cognitive Sciences*, **13**, 360-366.
- [12]Stewart, N., Brown, G. D. A., & Chater, N. (2005). Absolute identification by relative judgment. *Psychological Review*, **112**, 881-911.