

複数桁数の大小比較における二重心の数直線モデルの計算モデル化

島田英昭 (筑波大学, 現所属: 産業技術総合研究所) shimadahideaki@ni.aist.go.jp

1. 問題と目的

経済活動, 確率判断などに必要な情報は, 数値によって提示されることが多い。したがって, それらの処理は, 数値の処理プロセスの特性によって結果が左右されるはずである。本研究では, 二重心の数直線モデル (Shimada, 2004) に基づき, 数の大小比較のプロセスを計算モデル化する。これにより, 数値の処理プロセスにおける心的な影響を定量的に評価できるようになる。

本稿では, 二重心の数直線モデルを説明したあと, 計算モデル化を行う。

2. 二重心の数直線モデル

Hinrichs et al. (1982) は, 複数桁数の大小判断 (たとえば, 15683 と 9574 の大小判断) に必要な反応時間を予測する計算モデルを提案した。しかし, そのモデルの問題点が, Poltrock & Schwartz (1984) や島田 (2005) によって指摘されている。二重心の数直線モデルは, その問題点を解決するために提案された。

二重心の数直線モデルの処理プロセスの例を図1に示す。大小判断が求められた際, 大小判断に重要な特徴が, プライマリ, セカンダリの2つの数直線上に写像される。まず, Poltrock & Schwartz (1984) や島田 (2005) が実験を実施しているような, 2数の桁の長さが同じであることがあらかじめ明らかな場合の判断プロセス (たとえば, あらかじめ4桁数が提示されることが明らかな状況で, 2745 と 6389 の大小を判断するプロセス) を述べる。

桁の長さが同じ場合, 判断には最上位桁がもっとも重要であり, 最上位桁の数 (2 と 6) がプライマリ数直線上に写像される。最上位桁が同じかどうかにかかわらず, 最上位桁が同じであった場合に備え, 次に重要な上位2桁目の数 (7 と 3) がセカンダリ数直線上に写像される。プライマリとセカンダリにおける判断は同時に実行され, それぞれ2数の大小を判断する。反応時間は, 写像された2数の距離によって決まる。判断にはプライマリの結果が優先されるが, セカンダリの結果が干

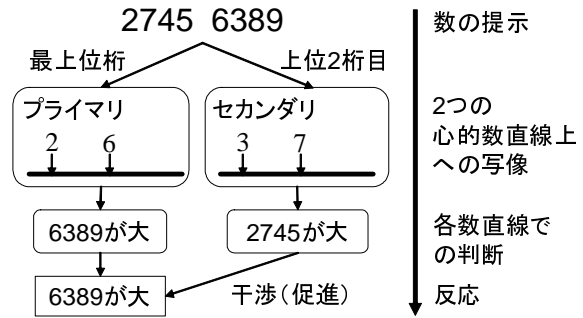


図1: 二重心の数直線モデルの処理プロセスの例

渉あるいは促進効果を持ち, 反応時間に影響する。プライマリ数直線に写像された2数が同じであった場合 (たとえば, 2745 と 2389), セカンダリ数直線に注意がシフトする。最上位桁が写像されていた数直線には, 上位3桁目の2数が写像される。そして, 上位2桁目, 3桁目が写像された数直線をそれぞれプライマリ数直線, セカンダリ数直線として, 同様の処理が実行される。

2数の桁の長さが異なる場合 (たとえば, 234 と 6789), 大小判断に重要な特徴はそれぞれの数の桁の長さ (3桁と4桁) で, これがプライマリ数直線上に写像される。次に, それぞれの最上位桁の数 (2 と 6) が, セカンダリ数直線上に写像される。そして, 上記の桁の長さが同じ場合と同様に処理が実行される。

3. 計算モデル化

2つの数を, $x = x_n x_{n-1} \dots x_2 x_1$, $y = y_m y_{m-1} \dots y_2 y_1$ と表現する。ここで, x_k は x の下位から k 桁目の数を表し, y も同様である (たとえば, $x = 2745$ であれば, $x_3 = 7$)。また, n, m はそれぞれ x, y の桁の長さを表す。

3.1 2数の桁の長さが同じ場合

2数の桁の長さが同じであることがあらかじめ明らかな場合の処理を述べる。 x, y の大小判断の反応時間は,

$$RT = u + 2nv - a \log(1 + |x_n - y_n|) - \text{sign}\{(x_n - y_n)(x_{n-1} - y_{n-1})\} * b \log(1 + |x_{n-1} - y_{n-1}|)$$

と表現できる。ここで、各パラメータは以下の意味を持つ。 u はどの比較にも必要な基本的処理のコストである。 v は提示された数の符号化コストを決定する係数である。 a, b はそれぞれプライマリ数直線、セカンダリ数直線における比較コストを決定する係数である。

上記式において、 $a \log(1 + |x_n - y_n|)$ は最上位桁の処理にかかる時間を表現する。対数変換は、Moyer & Landauer (1967) を参考にしている。 $b \log(1 + |x_{n-1} - y_{n-1}|)$ は上位2桁目の処理が干渉あるいは促進する量を表現し、干渉か促進かは $\text{sign}\{(x_n - y_n)(x_{n-1} - y_{n-1})\}$ がプライマリ、セカンダリの判断結果の一致、不一致を判断し、決定する。

最上位桁の数が同じであった場合、つまり $x_n = y_n$ であった場合は、 x_n, y_n をそれぞれ x_{n-1}, y_{n-1} に、 x_{n-1}, y_{n-1} をそれぞれ x_{n-2}, y_{n-2} に置き換え、注意シフトのためのコスト s を RT に加える。さらに、 $x_{n-1} = y_{n-1}$ であった場合、 s を加えながら順次下位の桁を処理していく。

この式にパラメータとして $u = 400, v = 50, a = 200, b = 20, s = 200$ を与えた結果、これまでの実験結果をよく説明できることが示された。たとえば、Dehaene et al. (1990) は、提示された2桁の数が55より大きいか小さいかを判定させ、その反応時間を測定した。その結果、55に近い数から遠い数になるにつれて、なめらかに反応時間が短くなっていくことを示した。その反応時間のパターンを、モデルでは図2のように近似できた。

3.2 2数の桁の長さが異なる場合

次に、2数の桁の長さが異なる場合を述べる。この場合、桁の長さが判断にあたってもっとも重要な要素であり、プライマリ数直線上に写像されるため、上記の式におけるパラメータを変更して、

$$RT = u + v(n + m) - a \log(1 + |n - m|) - \text{sign}\{(m - n)(x_n - y_m)\} * b \log(1 + |x_n - y_m|)$$

とすることで反応時間が決定される。 $m = n$ であった場合、RT に注意シフトのコスト s を加

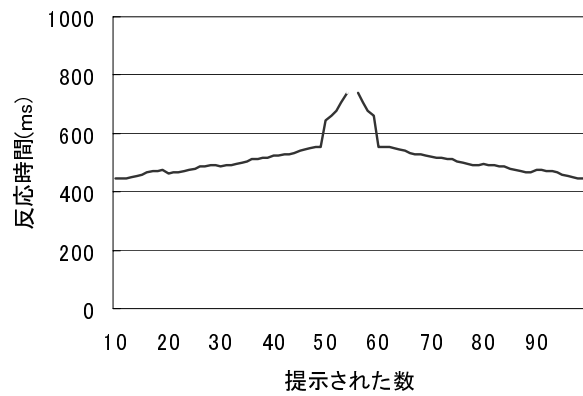


図 2: 55 を中心とした反応時間の分布

え、 n, m をそれぞれ x_n, y_n に、 x_n, y_n をそれぞれ x_{n-1}, y_{n-1} に置き換える。これは、3.1 節に述べた式に s を加えたものに一致する。この式は、Hinrichs et al. (1982) や Shimada (2004) の結果をよく説明できることを確認している。

4. 結論

二重心的数直線モデルに基づいた計算モデル化を行い、これまでの実験結果の説明が可能であることを示した。この試みにより、経済活動、確率判断などに含まれる数値の処理プロセスにおける心的な影響を定量的に評価できることが期待される。

引用文献

- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 626-641.
- Hinrichs, J. V., Berie, J. L., & Mosell, M. K. (1982). Place information in multidigit number comparison. *Memory and Cognition*, *10*, 487-495.
- Moyer, R. S. & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, *215*, 1519-1520.
- Poltrock, S. E. & Schwartz, D. R. (1984). Comparative judgments of multidigit numbers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*, 32-45.
- Shimada (2004). An examination of dual mental number line model by using single- and double-digit number comparison task. *Proceedings of 5th Tsukuba International Conference on Memory*, 40.
- 島田英昭 (2005). 『複数桁数の大小判断における上位2桁処理モデルの提案』 *認知心理学研究*, *3*, 103-112.