

量子コンピューティングを基盤とした
注意モデルの一考察

5M-7

川戸 一郎 松井 伸之
姫路工業大学 工学部

1. はじめに

現行のコンピュータの限界を超越する一つの試みとして、量子コンピューティングの研究が近年行われているが、Shorの整数の因数分解アルゴリズム¹⁾の発見を契機として研究が活性化している。

本報告では、量子コンピュータは、脳を含む任意の物理的計算装置を効率よく模倣できるとの理論的結果²⁾に基づいて、その計算理論固有の特徴である量子重ね合せ状態を、脳の情報処理系に入力されているが現実に認識されて意識されるに至らない中間的な情報認識状態と捉えたモデルを提唱し、意思決定³⁾や注意の切り替えに対する認知の情報処理過程を考察する。これらの枠組から得られた注意のモデルを、注意の配分を測定した認知実験との対比から検討することを試みる。

2. モデル

脳は脳への複数の入力情報や、意思決定の過程において発生する複数の選択肢からただ一つを選択し意識していると考えられる。脳が多くを選択肢を想起したり、あるいは外部からの入力として与えられた場合、その脳の状態を量子重ね合わせ状態として捉え、それら選択肢のただ一つに意識を向けるメカニズムに対して考察した数理モデルを提唱する。

認識すべき情報を記号化した N 個の情報の組 $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ (1) が脳に同時に入力され処理する場合を考える。情報 y は、 N 次元パラメータ空間 Ω の点である脳内での受容活性化状態 ω に変換されるとする。

ω は脳内の生理学的状態に依存しており、様々な状態をとりうるので、ヒルベルト空間 H を導入し H 上に情報 y の要素に対応した基底状態の存在を仮定し、その基底状態ベクトルを正規直行系 $\{\phi_i(\omega)\}(i=1,2,\dots,N)$ とすれば、この空間における情報 y に対する任意の状態ベクトルは、

$$\psi(\omega, t) = \sum_{i=1}^N c_i(t) \phi_i(\omega) \quad (2)$$

のように展開係数 $c_i(t)$ を用いて量子重ねあわせ表現ができ、これを中間的な情報認識状態と捉える。 $\psi(\omega, t)$ は規格化されているとして、情報 y に対する期待値 $\langle y \rangle$ は、次式と定義できる。

$$\langle y \rangle = \int_{\Omega} \psi^*(\omega, t) \hat{y} \psi(\omega, t) d\omega \quad (3)$$

$\psi^*(\omega, t)$ は $\psi(\omega, t)$ のエルミート共役である。

3. 注意配分

人間の視野の範囲に同時に提示された複数の情報を、正確に認識する選択的注意に関する心理実験により、上記のモデルを利用した注意配分に対するアプローチについて考察する。

Fig. 1 に示す5種10図形群をCRT上に0.5秒間提示した後、画面上のどの位置にどの図形が位置していたかを回答する方法で実験を実施する。ただし被験者は、“あらかじめ各図形

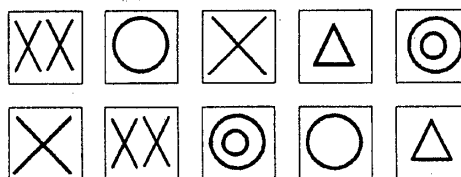
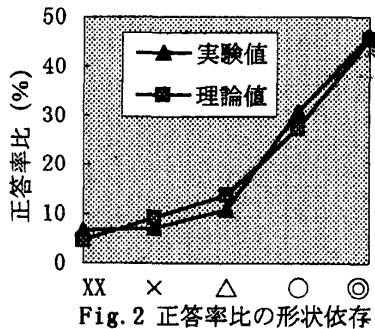


Fig. 1 提示図形群

に付与された得点を記憶し、画面に同時に提示された図形群の得点の総和が高得点となること“を目標に回答する。図形群 {XX X Δ O ⊙} に対してその配点を {1 2 3 6 10} として実験を行った。その結果を Fig. 2 に示す。ここで正



解率比は全正解数に対する各図形の正解数の割合であり、各図形への注意配分を定量的に捉えていると考えられる。各図形に対する期待値を、

$$\langle y_i \rangle = \int \psi^* \hat{y}_i \psi d\omega \quad (4)$$

より計算する。演算子 \hat{y} は、各図形の配点に対応した固有値の対角行列とする。この実験では、式 (2) の中間的な情報認識状態を表現するために ϕ_i を図形の種類に対応する基底状態ベクトルと定める。量子重ね合わせ状態である中間的な情報認識状態から、一つの情報を認識する状態へ遷移するために、波束の収縮つまりデコヒーレンスが起こる。提示時間内に一種類の図形を認識し、正答する確率は、その時間内に少なくとも一度デコヒーレンスが起こるとすれば、提示情報数に依存し 1/5 と考えられる。従って、

$$|c_i|^2 = 1/5 \quad (i=1,2,\dots,5) \quad (5)$$

と解釈できる。正答率比 R_i は期待値の総和に対する割合となる。

$$R_i = \frac{\langle y_i \rangle}{\sum_j \langle y_j \rangle} \quad (6)$$

被験者の得点に対する期待値は、実験値から

約 13.9 ポイントであり、それに対してモデル理論値からは約 13.6 ポイントと計算され、誤差は約 2.1% である。

提示時間内におけるデコヒーレンスの回数が増加すれば、各図形に対する正答率は増加する傾向に向かうと考えられる。従って、得点に対する期待値の誤差を最小化すれば、人間の視覚に対する、情報の提示時間内の平均デコヒーレンス回数を推測できる。

4. おわりに

本実験ではモデルを静的に取り扱い、選択的注意に対する一つのアプローチとなり得ることを検討し、その可能性を示唆したと考える。注意はその提示情報数に応じて、注意の能力が変化する⁴⁾と考えられるため、その注意の能力はデコヒーレンスの回数と関係しているとも考えられる。また、このモデルに対してより広範囲な評価を与えるために、例えばルビンの反転図形等の多義曖昧図形観察時における交代想起現象等の動的な認知現象に対する適応を、現在検討中である。

参考文献

- 1) Shor, P. W.: Algorithms for Quantum Computation: Discrete Log and Factoring, DIMACS Tech. Rep. 94-37 (June 1994)
- 2) Deutsch, D.: Quantum Theory, the Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer, Proc. R. Soc. Lond., Vol. A 400, pp. 97-117 (1985)
- 3) Yuri F. Orlov: The Wave Logic of Consciousness: A Hypothesis, International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, No. 1, 1982
- 4) 松井、馬場: 注意能力の分散性について, Human Interface, vol. 4, pp. 77-82, 1989