

人間の意思決定における情報選択の神経学的基礎づけ

武 琪† 下川 哲矢‡

東京理科大学 経営学研究科† 東京理科大学 経営学部ビジネスエコノミクス学科‡

1. 本研究の位置づけ

経済や金融の理論ではこれまで、合理的なエージェントを前提としてモデルを構築してきた。近年、より現実に近い限定合理性のモデルとして、Rational Inattention (RI) モデルが注目されている。同モデルは、シグナルから得られる情報を、相互情報量で計量し、それを処理する認知能力に限界を設けたり、あるいはそれに比例して発生する認知コスト(情報処理のコスト)を仮定することによって、人間の合理性を制限する。このモデルは幅広く応用されており、金融、オークション、市場価格、政策分析、労働雇用など、現実の市場で観測される様々な現象を説明できることが報告されている。

RI モデルのこれまで研究には、大きく2つの流れがある。一つは、Sims によってはじめられたカルマンフィルタ型モデルである([1])。このモデルは、動学的な環境に用いられ、カルマンフィルタの精度が、主体の情報処理の能力に依存して決まるとする。もう一つの流れは、確率選択型のモデルである([2])。このモデルでは、相互情報量に比例した情報処理コストが発生するとし、そのもとで主体は期待効用を最大化するように利用する情報と行動を決定する。このモデルは、logit 型確率選択モデルと深く結びつくことも知られている。

しかしながら、その理論の広がり反して、RI モデルの前提となる認知的な仮定の妥当性についての検証は進んでいない。本研究では、この妥当性に関して脳情報および視線情報を用いて検証した。

2. 検証モデル

2.1 カルマンフィルタ型モデル

カルマンフィルタ型の RI モデルでは、主体は観測されたシグナル(ここでは実際に観測される株式のリターン)に含まれる観測ノイズをカルマンフィルタによって取り除き、投資対象となる株式のファンダメンタルリターン(状態)を

予想するとする。ただしその際、その精度が主体の情報処理能力(シャノンの用語を類用してキャパシティという)によって制約されるとする。

シグナルが1次元の場合は、以下のようにモデル化される。観測方程式に現れる正規ノイズの分散を σ_N^2 、状態更新式に現れるファンダメンタルリターンの t 期の分散を σ_t^2 とすると、各期 t において観測されるファンダメンタルリターン f の条件付き相互情報量は

$$I_t(f) = \frac{1}{2} \log(1 + \sigma_N^{-2} \sigma_t^2) \quad \text{と計算できる。ここ}$$

で情報処理能力の制約によって、主体が利用できる相互情報量の上限を κ とすると

$$\kappa = \frac{1}{2} \log(1 + \sigma_N^{-2} \sigma_{t-1}^2) \quad \text{が成立し、この式を観測}$$

ノイズの分散について解くと $\sigma_N^2 = \sigma_{t-1}^2 / (\exp(2\kappa) - 1)$ となる。このモデルでは、

通常のカルマンフィルタの議論と異なり、観測方程式に現れるノイズは、主観的なものとなり、もしキャパシティ κ が ∞ であれば、観測ノイズの分散は0、 κ が0であれば、観測ノイズの分散は ∞ とされる。すなわち、主体の情報処理能力に依存して、観測シグナルの精度が異なることになる。この主観的な観測ノイズの下で、人々の収益予測に従って投資が行われるとする。

2.2 確率選択型モデル

確率選択型の RI モデルでは、主体は2段階の意思決定を行うことが前提とされる。まず初めの段階で、どのようなシグナルを利用するのか情報戦略の選択を行い、次のステップにおいて、その情報によるファンダメンタルリターンの予測に従って期待利潤を最適にする行動を選択する。ファンダメンタルリターンを特定するために、できる限り多くの、できる限り有益なシグナルを利用するのが最適であるが、シグナルから得られる相互情報量に比例して、一定の割合で認知コスト λ が必要となる。

具体的には、まず、2段階目において、シグナル s の利用を前提としたときのファンダメンタルリターン f の条件付分布 $p(f|s)$ にしたがって株

A Neural basis of information selection in human decision-makings

†Qi Wu, Graduates School of Management, Tokyo University of Science

‡Tetsuya Shimokawa, School of Management, Tokyo University of Science

式に投資するか安全資産に投資するか決定する。このとき実現される効用を $V(p(f|s))$ で表す。1段階目の情報戦略の選択では、この期待効用を所与として、どのような signal 構造 $p(f|s)$ を選ぶのが望ましいのかを決定する。ただしより詳しい情報を得るには相互情報量にしたがってコスト $\lambda\{H(f)-H(f|s)\}$ が生じる。ここで H はシャノンエントロピーであり、相互情報量はシグナルを得たことによるエントロピーの減少として定義される。また λ は相互情報量 1 単位当たりの認知コストを表すパラメータであり、合理的な主体ならば 0 となる。このような設定の下で、1段階目の問題は以下のように書け、

$$\max_{p(s|f)} \sum_f \sum_s V(p(f|s)) p(s|f) p(f) - \lambda \{H(f) - H(f|s)\}$$

解はソフトマックス型選択ルールで導出される。

3. 実証

3.1 SIT 課題

参加者は毎期、価格列リターンに関する予測を行い、1つの株式に投資するか、安全資産に投資するかを決定する。参加者の目標は期待収益率の最大化である。またシグナルとして、投資対象となる株式とリターンの相関をもつ株式が最大で8本提示される。主体は過去の価格列と関連する株式から、投資対象となる株式のファンダメンタルリターンを予測できる。

3.2 実験設備

実験では、画面中央に投資対象となる株式チャートが、また左側に関連する株式のチャートが提示された。関連する株式チャートの株価について、1本だけ提示される場合、4本だけ提示される場合、8本すべて提示される場合の3種類の treatments を準備した。

脳情報としては functional NIRS を用いて前頭前野部の血中ヘモグロビン濃度変化を測定した。Artinis 社の BriteMK II を用いた。図1は今回注目した脳部位である。コスト認知、ワーキングメモリ、推論に密接に関連する背外側前頭前野、腹外側前頭前野、吻側領域に焦点を当てる。とりわけ中背外側前頭前皮質領域（Brodmann 領域 46 と 9）はワーキングメモリ内の情報の監視に、腹外側前頭前皮質領域（領域 45）は記憶からの情報の選択的な取り出しに関与し、合理的の不注意モデルで仮定されるコスト情報処理に対応する ([3])。

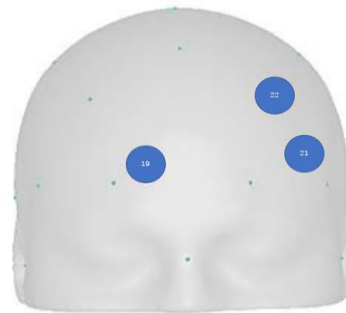


図1 NIRS 画像

同時に、視線情報を用いて、どのようなシグナルを主体は利用しているのかを明らかにした。測定機器はトビー・テクノロジー株式会社の Tobii Pro X3-120 を用いた。もし合理的な主体であるならば、全ての情報を観測しているはずである。しかしながら、利用可能なシグナルが多くなった場合、それを活用できず、情報への inattention を示す結果が得られている。カルマンフィルタ型のモデルで解釈すれば、キャパシティの制約が存在していることが視線情報から観測された。

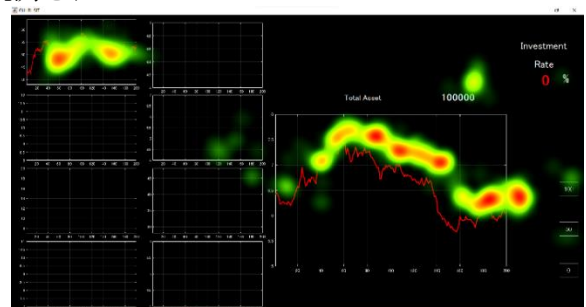


図2 情報が1つの時の視線情報の heat map

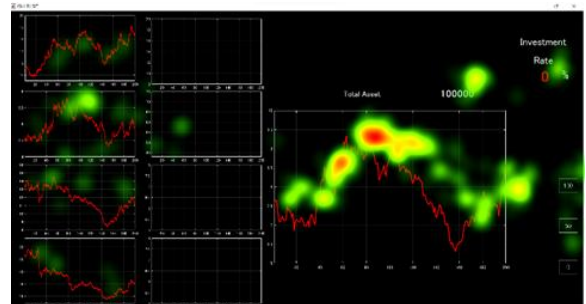


図3 情報が4つの時の視線情報の heat map
[主要参考文献]

1. Christopher A. Sims: Implications of rational inattention. *Journal of Monetary Economics* 50 (3), 665-690 (2003).
2. Filip Matejka and Alisdair McKay: Rational inattention to discrete choices: A new foundation for the multinomial logit model. *American Economic Review* 105(1), 272-298 (2015).
3. Gupta, Rashmi and Tranel, Daniel: Memory, neural substrates. *Encyclopedia of human behavior*, 593-600 (2012).