

## 論文の内容の要旨

論文題目 反応が競合する場合の反応時間分布と誤りを表現するモデルとその解釈

氏 名 三ヶ尻 陽一

本論文では、反応時間を分析することでヒューマンインタフェースからユーザビリティを低下させて誤りを増やす要因になる反応の競合を検出する方法を提案した。ストループ課題を用いた研究によって、反応の競合がある場合には平均反応時間が延びて誤りが増えることが知られており、反応の競合は自動的な処理と制御的な処理が競合するために起こると説明されている。しかし、反応時間分布は正規分布と見なせないほど歪んでいるため、平均反応時間を用いた分析や、生身の人間をコンピュータに擬えて説明することは必ずしも最適ではないと考えられる。そこで本研究では、コンピュータに代わるアナロジーを基礎において反応時間分布を表現できるモデルを構築し、反応時間分布と誤りの関係を導出した。そして、心理実験を行って得た反応時間を用いてこの関係を検証し、ヒューマンインタフェースから反応の競合を検出し得る指標を提案した。

第1章では研究の背景を記述し、目的を設定した。技術が発達した現在では、事故等の原因における人為的失敗の比率が増えている。一方、色を表す文字刺激が文字の意味する色と異なる色であった場合には反応の競合が起こり、反応時間が延びて誤りやすくなることや、反応の競合が起こる課題を行なった実験参加者の認知機能や自己抑制能力が低下することが報告されている。そこで本研究の目的を、ヒューマンインタフェースから人為的失敗や能力低下の原因になる反応の競合を検出することに設定した。また、反応時間分布を適切に表現できるモデルをコンピュータメタファーに代わるようなア

ナロジーを基にして構築することと、このモデルをヒューマンインタフェース研究における人間モデルとして提案することを小目的に設定した。

第2章では心理学研究における反応時間の取り扱いについて記述した。反応時間は心理学研究において最も頻繁に取得されている指標の一つであり、平均反応時間を求めて分析されることが多い。しかし、反応時間分布は歪んでおり、平均値を用いることの問題点が指摘されている。反応時間を詳細に分析する方法の一つに拡散過程モデルがあり、このモデルは反応時間分布と誤りを表現できると言われているが、フィッティングに要するパラメータ数が多く、課題によってはパラメータ数を増やさなければならない。一方、反応時間分布に統計モデルの ex-Gaussian 分布を当てはめ、得られたパラメータで分析する場合も増えている。

第3章では反応時間を取得する実験を行い、ex-Gaussian 分布によるフィッティングを試みた。ストループ課題とスイッチタスクを用いて取得した反応時間分布に対して ex-Gaussian 分布を当てはめたところ、実験によって得られた反応時間分布と推定されたパラメータを入力した ex-Gaussian 分布の間にしばしば有意な差が見られた。これらの結果から反応時間分布は ex-Gaussian 分布に従うわけではないことが示され、反応時間分布を適切に分析する方法は未確立であることが確認された。

第4章では適切なアナロジーとして複雑系の砂山モデルを採用し、拡張した砂山モデルの振る舞いと人の性質を対応付けた。人の脳は大多数の神経細胞から成り立っており、神経細胞は互いに影響を与え合って活動している。そして、たった一つの神経細胞の発火が、稀に大規模な神経活動を引き起こすことが知られており、この現象は神経雪崩と呼ばれている。神経雪崩のサイズと頻度の間には、自己組織化臨界現象の性質であるベキ乗則が見られるため、本研究において自己組織化臨界現象を再現できる砂山モデルの振る舞いをアナロジーとして採用した。

平方格子の砂山モデルで起こる雪崩を観測し、雪崩の間隔は指数分布、雪崩のサイズと持続時間はベキ分布に従うことを確認した。そこで、雪崩の間隔を想起に要する時間、雪崩のサイズは確信の強さ、雪崩の持続時間は想起された表象の持続時間と対応付けた。さらに、課題や個人による違いを表現するため、砂山モデルの状態を変えて振る舞いの変化を調べた。その結果、格子の数を変更しても砂山モデルの性質は変わらないが、格子の形状を変更した場合には、雪崩の間隔やサイズ等の振る舞いが変わることを確認した。具体的には、神経細胞の繋がりが疎な場合に当たる三角格子の場合、雪崩の間隔が短くなり、雪崩のサイズは大きく、持続時間が長くなる傾向がある一方で、神経細胞の繋がりが密な場合に当たる六角格子の場合、雪崩の間隔が長くなり、雪崩のサイズは小さく、持続時間が短くなることを確認した。

次に、コンピュータシミュレーションで確認されたモデルの性質が、心理学の先行研究と対応付けられるか確認した。反応時間が短かった試行の視覚誘発電位は、反応時間が長かった場合に比べて大きいことが知られているが、これは三角格子上の砂山モデル

の性質を用いて説明することができた。つまり、三角格子における雪崩のサイズと持続時間は六角格子に比べて大きく、これは視覚誘発電位に対応させられ、三角格子における雪崩の間隔は短くなるが、これは反応時間が短くなることと対応させられる。このように反応時間と視覚誘発電位の関係は砂山モデルにおける繋がり疎密によって説明できた。

神経雪崩は記憶の想起や情報の伝達に重要な役割を果たすことが示唆されているため、モデルの性質と記憶の性質の関連付けを試みた。モデルにおける雪崩の持続時間はベキ分布に従う。そのため、雪崩の持続時間が長い傾向にある三角格子の場合には、一つの格子が何度も雪崩を起こすことになる。そこで、Hebb 則を仮定することで、雪崩の持続時間を記憶の強さと関連付けた。これにより、忘却しやすい記憶と忘却しづらい記憶を説明できる。本研究では、反応時間分布と誤りを分析するモデルを構築する上でこのモデルを基礎に据えることにした。

第5章では人の心理学的な性質を表現するために砂山モデルを Dual System 化することを提案した。これは、左右の脳半球が並列に配置されていることからヒントを得ているが処理過程が二つ並列にありさえすればよい。二つの処理過程がどのように協調や競合をするのかは自明でないが、並列処理による影響が心理学的現象として観測されているだろうと考えた。もし、反応時間分布の歪みが、並列した処理過程によるものだとすると、別の心理学的な現象にも同様の性質が現れると予測し調べたところ、注意の瞬きや見落としの回避という現象が見つかった。そこで、これらの現象における認知の失敗を、Dual System における照合時間と対応付け、二つの現象を同一モデルのパラメータ違いによって表現できることを確認した。

第6章では反応時間分布を表現するモデルを、拡張した砂山モデルを二重化することで構築し、反応時間分布の特徴と誤りの数の関係について導出した。そして、第3章で ex-Gaussian 分布によるフィッティングに失敗した反応時間分布に対して提案モデルによるフィッティングを行うことで提案モデルの優位性を確認した。次に、反応の競合がある場合とない場合について心理実験によって反応時間を取得し、モデルによる分析を行うことで反応時間分布の特徴を表すパラメータと誤りの数の関係について検証したところ、反応時間分布における分布部分の期待値が大きければ誤りが多いことが確認された。さらに反応時間分布を実験参加者ごとに調べることによって、個人差はあるものの反応の競合がある場合とない場合を分離できることを確認した。反応時間分布にモデルを当てはめることで、課題の中に反応の競合があるのかについて、また、誤りを増やす要因が含まれているのかについて調べることができるようになった。反応の競合は、ストループ課題の、色と意味の不一致のような分かりやすいものばかりではなく、広く捉えるならば、慣習とそぐわない情報に対しても起こると考えられ、提案方法を用いることでヒューマンインタフェースに潜んでいるこれらの競合を検出し、改善の機会を提供できるようになった。

第7章では研究の全体を俯瞰してまとめ、提案したモデルの長所と研究の限界や今後の展望について述べ、最後の第8章では第1章で掲げた各目的に対して応えた。一つ目の小目的であるコンピュータメタファーに代わるアナロジー対しては、第4章の砂山モデルと第5章の Dual System が対応する旨を記述した。記憶の性質をコンピュータメタファーで記述した場合と、砂山モデルで解釈した場合を比較し、Dual System というメタファーを通せば、注意の瞬きと見落としの回避を同一モデルで説明できる上に、全く別の現象だと考えられている反応時間に関する先行研究が適用できることを述べた。二つ目の小目的として挙げたヒューマンインタフェース研究における人間モデルの刷新に対しては、反応時間分布のモデルとして提案したモデルが対応することを述べた。このモデルは、主に時間を扱うモデルであるが、二つの砂山の性質について更なる知見を積みめば、ヒューマンインタフェース研究に対して有益な知見が導出できるようになると考えられる。最後に、主たる目的であった反応の競合が含まれるヒューマンインタフェースを検出する指標には、反応時間分布の分布部分の期待値が対応することを述べた。反応時間を取得すれば、この指標を用いることで反応の競合を検出できるようになった。