

論文の内容の要旨

論文題目

実験作業での行動シミュレートに向けた 実験行動のモデル化と操作特性の定量的解析

氏 名 小淵 喜一

第1章

1章では、本論文の背景について記述した。まず、社会的に意義が求められている創造性と安全性の両立をいかにして達成するかを模索する場として、実験室を研究対象とする意義について述べた。続いて、実験室についての研究は、まだ始まったばかりであるものの、現在の段階では、管理側の視点において、管理手法や教育プログラムを作ることに主眼があり、それを選び、使う側の視点においての有用性の評価が今後求められていく事。また、実験台やドラフトなどといった設備や毒性のある試薬、爆発物などといった物質に比べ、研究例が少なく、知見が足りていない人間の行動について、さらに知見が必要であることを指摘し、問題提起した。続いて、人間行動について考える上で、人間側の面（ヒト）と行う対象となる実験操作の面（コト）の2つの面についての既往の研究例を紹介した。人間側についての研究では、人間の一般的な性質を追究する形で行われる研究が多く、個別性に対応しにくい点を指摘し、実験操作の面では、様々な作業が定性的で断片的な研究が行われているものの、定量的な表現手法がないことに言及した。そこで、実験操作において、人間行動のバリエーションに対応できるモデル化と実験操作についての定量的解析を行うことで、バリエーションに対応できる失敗予測への知見の獲得を目指すことを、本論文の目的として設定した。

第2章

2章では、水の秤量作業をモデル作業として、作業者の特性の数値化手法の開発を行

った。まず、被験者実験によって、水の高さ挙動についてのデータを収集した。続いて、図1のように、得られた各グラフを7つの指標を用いて指標化したのち、指標について、作業員全員の全データにおいて主成分分析を行った。その結果、“プランニング”に関する成分1と“調整”に関する成分2が抽出された。同時に、これら2つの成分に関する値（主成分得点）が各試行について得られた。続いて、これら成分値と作業者の特性を関連付ける形で数式モデルの作成を行った。

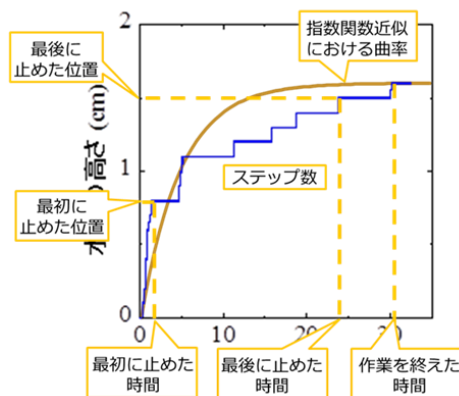


図1：グラフの指標化

その際、各作業員が固有の能力を持っており、その能力のうちのある係数が、繰り返す回数や、前の作業の結果、累積の時間といった外的な要因によって、観測可能な形で現れると仮定し、それを基にして数式モデルを作成した。その後、作成した数式モデルでのフィッティングにより、各要因に関するパラメータを算出し、得られたパラメータの結果について考察を行った。算出されたパラメータの一例として、ある作業員についてのパラメータを図2に示す。予測に関する検討では、指標とした7つ全てについて、

大まかに予測値と実測値とが一致する結果となり、本系における作業行動の予測可能性が示唆された。今後、今回モデルに組み込んだ要因以外の要因の検討を行ったり、非線形モデルへ展開したりするなど、更なるモデルの改良が期待される。

		作業員の基本ベクトルA内のパラメータ	作業員の変動ベクトルF内のパラメータ		
		v	l	m	n
作業員A	“プランニング”	-1.1×10^0	6.4×10^{-2}	-1.7×10^{-3}	-1.6×10^0
	“調整”	7.1×10^0	-1.6×10^{-1}	6.7×10^{-4}	-1.5×10^0

図2：ある作業員のパラメータ

第3章

3章では、滴下操作を対象として、回数を繰り返す際の学習行動について検討を行った。まず、被験者が行う滴下操作において、ビュレットから投入する溶液の液面についての時間挙動を得た。続いて、この時間挙動を指数関数で近似し、その曲率を各試行を表す指標とした。その上で、曲率の試行回依存性を作業員ごとに検討したところ、試行回を重ねるに従い、曲率が大きくなる傾向がある結果となった。このことから、作業の途中を表す曲率が、学習効果を表す指標であることが示唆された。続いて、学習曲線として広く知られるS字ロジスティック曲線を用いて、滴定作業における学習行動に関するパラメータの抽出と学習パターンの分類を行った。学習が始まるタイミングと学習するスピードを表す2つのパラメータを導入し、作業員ごとにフィッティングすることで、各作業員のこれらパラメータを得た。また、フィッティングした結果得られた曲線の形状から学習パターンという観点で2グループに分類した。また、2章で行った秤量操作で

の作業者の特性のパラメータを用いて、滴下操作の行い方全体を表す曲率がどの程度計算可能であるかを検討した。滴下操作を行った被験者が水の秤量作業を行った結果を、2章と全く同じ手法によって解析を行って得たパラメータを用いて、滴定作業を習得する前と後とで、それぞれの曲率の計算を行った。その結果、習得前は計算値と実測値との一致が悪い結果となった一方、習得後は、計算値と実測値との一致がある程度良い結果として得られた。この結果から、滴下操作は、習得前は、秤量作業と同じ要素で説明することはできないが、習得後は説明出来るようになるといえる。この結果は滴下操作が、始めのうちは、秤量操作と違った作業だと作業者に捉えられていたが、最終的な目標値がわかった後は、似た作業として認識されるようになったと解釈できる。今後、予測が難しかった部分について、作業者の経験や経歴、日常の癖などとの関連を見ることで、更に予測を進めていく事が期待される。

第4章

4章では、化学系の学生実験で頻繁に行われるFriedel-Crafts 実験を例として、実験テキストの情報からのコード化とマップとしての表現を行った。まず、Friedel-Crafts 実験の前半部分についての実験テキストを24つの操作に分割し、各操作を動詞のタイプやどこまで行うかという目標値、その操作の制約となる副詞について計7つの項目を設定し、評価した。その結果、A-c-a-a-c-b-bといった7つのアルファベットの文字列として、各操作が表現された。続いて、これら文字列に対してbit化を行うことで、0と1から構成されるbitを得た後、ソフトウェアを用いて自己組織化マップによる表現を行った。以上の一連の流れを図3に示す。

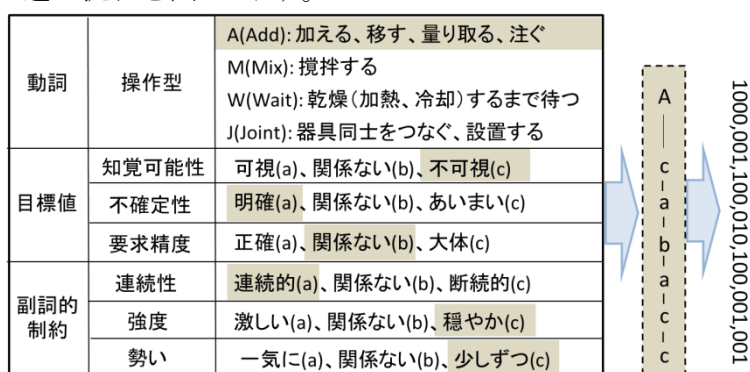


図3：文章から bit 化までの流れの一例

その結果、操作の類似性の高さという観点によって、24つの各操作が2次元上にマップとして可視化された。さらに、操作順にマップ上の操作を繋いでいくことで軌跡を作り、その形状から順番による操作間の連関（繋がり）に関する要素の抽出を目指した。得られた軌跡と同じFriedel-Crafts 実験を対象にして操作の要素抽出を行った既報の研究の結果と比較することで行った。その結果、4つの操作がマップ上で一直線上に並ぶ軌跡があった場合、4つのうちの間の2つの操作（始点でも終点でもない操作）は、既

報の研究における「予測力」と相関が高い操作と一致していた。これは、操作同士の繋がりにおいて、「予測力」が求められることがあることを示唆している。このように、自己組織化マップ上によって表現し、マップ上の軌跡を見ることは、操作間の連関についての要素を抽出する手法として活用できる可能性が示された。

今後、今回対象としたFriedel-Crafts実験以外の他の実験作業へ拡張させていき、更なる深化が期待される。

第5章

5章では、2章、3章、4章の各論の関係を論じるとともに、2章から4章が、バリエーションに対応できる失敗予測に対して、どのように寄与しうるのかについて考察した。また、本論文ではまだ届いていない部分に言及することで、今後の課題について述べた。操作側からの失敗予測という点においては、4章で行った操作の特性の定量化を失敗しやすさと結び付けていく事で、操作の難易度としての評価手法への期待が持たれる。また、4章での操作に、2章および3章で扱った水の秤量操作と滴定操作を加えて解析を行った。その結果、マップ上の比較的近い位置にプロットされた。しかしながら、作業やその状況によって、作業行動にはバリエーションが生じる。学習実験では、そのバリエーションの発現箇所が主に、立案段階と操作実施段階との2か所あること、研究室の実験操作では、これら2つの段階が連続的であり、立案と実施が相互的であることを指摘した。そこで、3章で考察された作業の捉え方の変化を例として、4章の自己組織化マップを静的な実験操作テキストとしての分析から、より動的なバリエーションを含めた形で活用する方法の提案を目指した。転移確率という概念を導入し、3章で得た学習曲率を活用した結果、認識の変化および作業者の違いというバリエーションを4章で行ったbit化や自己組織化マップに反映させて表現することができた。今後、変動などに拡張させ、作業や変動などのバリエーションを転移確率の差異として表し、bitを変化させていくという手法の確立とそれによる行動予測が期待される。

第6章

本研究では、実験作業での行動シミュレートに向けて、人間側（ヒト）と行う対象となる実験操作（コト）の両面からの解析手法の開発を行った。人間側としては、水の秤量操作と滴定操作を例として実験行動のモデル化を行った。実験行動のモデル化により、実験行動から操作の特性および作業者の特性が数値化されることが示された。一方、実験操作の側としては、実験操作向けのテキストマイニング手法の開発を行い、Friedel-Crafts反応実験のテキストを例に、実験テキスト内の操作を可視化されることが示された。今後、行動シミュレートに向けて、両面からのアプローチにより得られた数値同士から、行動予測を行っていくことが期待される。また、失敗や事故と結びつけていくことで、失敗・事故予測のツールとしての活用が期待される。