

実験作業の物理的表現に基づいた作業プロセスのモデル化と

作業条件による影響の定量的評価

2012年3月修了 環境システム学専攻 47-106659 小淵 喜一

指導教員：大島 義人 教授

Keywords: Experimental procedure, Conditions, Mathematical Analysis

1. 緒言

安全への意識・関心が高まっている昨今、事故防止に向けた事故原因の究明や背景要因の抽出が盛んに行われている。事故という事象とつながりうる要因を発見する事は一見事故の減少に直結するように見える。ただ、最終結果である事故と出発事象という要素に注視する場合、多様な人間の活動によって生じる事象同士の関係は再現性に乏しいケースが多い。実際、作業者の知覚や行為を介して実施される実験作業の場合、同じ実験作業内容であっても、経験による作業行動の変化や作業者個人による作業の行い方の差異が生じる。人間の知覚や行為について、普遍的なメカニズムや行動パターンの探究として認知学や行動学などの分野で研究が行われ⁽¹⁾⁽²⁾、同時に行行為者の経験の有無による巧拙の違いについての研究も自動車の運転やスポーツなどを用いて行われている⁽³⁾⁽⁴⁾。しかしながら、これまで実験作業における作業者の認知や行動に関する研究例は殆どない。多様な作業の行い方の差異を整理し、作業者の作業行動に関する性質を指標化することは、多様な作業を多様な作業者が扱う事の多い大学実験研究において意義がある。

そこで本研究では、実験作業における作業者の行動について、作業を物理的操作として捉え、実験行動自体を物理量で表現することによって、作業の特徴を定量的に可視化するとともに、その実験作業を行う作業者の多様性を含んだ形で作業プロセスをモデル化することを目指す。このモデル化により、作業者による作業プロセスの違いを、作業を特徴づける物理量と関係づけて解析することによって、個々の作業者の実験行動をパラメータ化して評価することを可能にする。また、このような実験作業における作業プロセスのモデル化は、実験における作業を多様な作業者が扱うという複雑な関係性を一般化する上での手がかりになるだけでなく、未知の作業に対しての実験者の実験の行い方を事前に予測するツールともなりうる。

2. 研究目的

本研究では、水の秤量をモデルケースとして、実験作業の物理的表現に基づく作業プロセスのモデル化と作業条件による影響の定量的評価を目指す。

具体的には、(1)実験行動の物理的パラメータによる表現とパラメータから作業特徴を表す指標の抽出、(2)各指標に与える作業または作業者の要因の抽出と実際の作業行動を再現するためのモデル化を行う。

3. 方法

(実験方法)

(1)実験行動の物理的パラメータによる表現と

パラメータから作業行動の特徴を表す指標の抽出

実験における基本的な作業である水の秤量を模擬作業とし、覆いにより重量値が見えない電子天秤上にある各種メスシリンダーにビーカーから水を注ぐという作業を行うよ



図1：模擬実験装置図

う 1 2 名の各被験者に対して指示した。

実験手順は事前に作業 3 種の作業内容を 4 回ずつ行うよう伝え、作業内容はその都度、断面積(S)の異なる 3 種のメスシリンダー (100ml,20ml,10ml) を用意し、全て 10ml 正確に量り取るよう指示した。

作業結果は図 1 のように電子天秤で測定した水の重量をデータロガーで計測することで作業結果の時間変動のデータを得た。

本系における作業特徴を表す指標として、高さの上がり方に関する減速の仕方： b 、最終値到達までにかかった回数： N 、水の上昇を最初に止めた時間： TS 、水の上昇を最初に止めた箇所： x の計 4 種の指標を設定した。

高さの上がり方の減速の仕方： b は(1)によって表現された時間に関する水の高さの上がり方を近似式 $h = a\{1 - \exp(-bt)\} + C$ としたときの変数であり、この近似式は式 $\frac{dh}{dt} = b(a-h)$ の一般解であり、最終目標高さまでの距離： $(a-h)$ に比例して b の大きさをブレーキをかけて、水の上がっていく速度： dh/dt を調節するという意味を持つ。 b の値を 0.3、0.5、0.7 と変化させたときの曲線 ($a=0.1$ 、 $C=1$) は図 3 のようになり、 b が大きくなるに従って、急激な曲線を描くことがわかる。 a は(最終値)-(初期値)という意味を持つ。また、単調増加し続ける事を仮定している近似式では表現できない途中で水の上昇を止めるという行動についての指標を、最終値到達までにかかった回数： N 、水の上昇を最初に止めた時間： TS 、水の上昇を最初に止めた箇所： x と導入した (図 4)。

(分析方法)

(2)各指標に与える作業または作業者の要因の抽出と

実際の作業行動を再現するためのモデル化

①作業内容と作業結果との関係性のモデル化

(1)で導入した作業行動の特徴を表す指標が、各作業内容項目とそれに関して各作業者がそれぞれ有する値(固有値とする)から構成されていると見なし、各作業者の項目ごとの固有値を求める。本系においては、3 種の作業内容について 4 回ずつ行ったので、4 回ごとの中間値をその作業の代表値とし、作業内容項目を最終的な目標高さ(H)および入れられる容器の細さ($1/S$)の 2 項目と考え、最小二乗法によって各指標の理論値および固有値($T1$ 、 $T2$)の算出を行った。

②作業が置かれている文脈(コンテキスト)と作業結果との関係性のモデル化

各作業を独立で考えると作業内容と作業者の関係性のみで成立するようだが、各作業が連続的に一連の流れとして行われる場合、作業同士が互いに作用し合っており、前の作業に影響をうけたり、それまでの蓄積が作用したりすることが考えられる。そこで、



図 2：実験手順

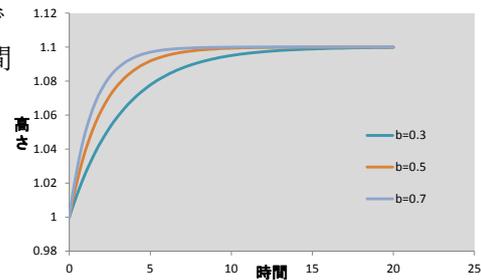


図 3：近似曲線

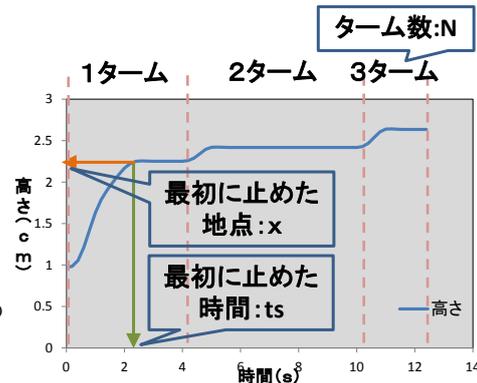


図 4：止めるという行動に関する指標

$$I_{actual} = \alpha_{context} \cdot I_{task} \quad (式1)$$

各々の指標がベースラインとなる値に対して変動する割合(変動指数)： $\alpha_{context}$ を式1のように設定し(ある指標の実測値： I_{actual} 、①によって求まるある指標の理論値： I_{task})、前の作業や積算の時間、回数といったその作業が置かれている文脈(コンテキスト)に関する項目に対して各作業者が有する値として作業者の性質を定量化した。具体的には、本系における文脈項目を9つ設定し、最小二乗法によって各指標における変動指数および各文脈項目に対する作業者の固有値($s_1 \sim s_9$)の算出を行った。

設定した文脈に関する項目は、i)最初からの積算影響：通算回数、通算時間、ii)同じ作業内容に関しての積算影響：同じ高さに関しての合計回数、合計回時間、iii)直前の作業内容、作業過程の影響：直前の作業における b や直前の作業で用いた作業内容(入れられる容器の細さ($1/S$)および最終的な目標高さ(H))、iv)直前の作業内容との変化による影響:前の作業との作業内容に関する差($\Delta 1/S = (\text{前の入れられる容器の細さ}) - (\text{現在の入れられる容器の細さ})$)、 $\Delta H = (\text{前の最終目標高さ}) - (\text{現在の最終目標高さ})$ の9つである。

4. 結果および考察

(実験結果)

(1)実験行動の物理的パラメータによる表現とパラメータから作業特徴を表す指標の抽出

水の秤量作業の時間に伴う作業過程は、どの作業者、作業内容においても図5のように、初期の高さから加減速を繰り返しながら目標高さに向かって上昇していくという結果を得た。これにより各作業者が各作業内容において行った作業行動の時系列的な表現が本系において行えることが示された。

4種の指標 b 、 N 、 TS 、 x が作業者ごとに3種の作業内容4回ずつの計12回分算出された。一例として、図6に作業者Aの各指標値を示す。

(分析結果)

(2)各指標に与える作業または作業者の要因の抽出と実際の作業行動を再現するためのモデル化

①作業内容にと作業結果との関係性のモデル化

(1)で求めた各指標について、作業1、2、3の中間値を各々の作業の代表値とし、作業内容項目を最終的な目標高さ(H)および入れられる容器の細さ($1/S$)の2項目と考え、最小二乗法によって各指標の理論値および固有値の算出を行った。

②作業が置かれている文脈(コンテキスト)と作業結果との関係性のモデル化

式1より各作業者の各指標における変動指数： $\alpha_{context}$ を求めた。一例として、図7に作業者Aの指標 b についての実測値、理論値および

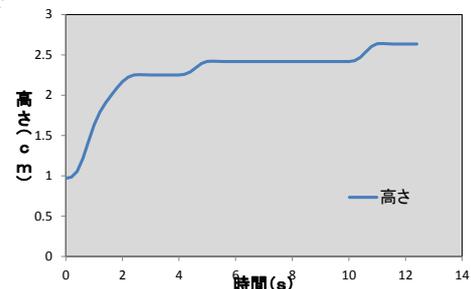


図5：作業者Aの作業内容1-1回目における水の高さの変化結果

	近似曲線における変数 b	ターム数: N	止めた時間: TS	止めた地点: x
作業内容1-1回目	0.594	3	11.6	-0.250
-2回目	0.566	2	10.8	-0.073
-3回目	0.459	2	11.6	-0.087
-4回目	0.423	4	11.4	-0.138
作業内容2-1回目	0.000	1	13.8	0.144
-2回目	0.133	1	14.2	-0.063
-3回目	0.199	2	20.6	-0.118
-4回目	0.181	4	19.6	-0.210
作業内容3-1回目	0.041	1	20.6	-0.069
-2回目	0.161	2	19.0	-0.448
-3回目	0.151	1	19.0	-0.133
-4回目	0.126	1	17.2	-0.132

図6：作業者Aの計12回の作業における各指標値

	b_{actual}	b_{Task}	$\alpha_{context}$
作業内容1-1回目	0.594	0.441	1.348
-2回目	0.566	0.441	1.283
-3回目	0.459	0.441	1.041
-4回目	0.423	0.441	0.961
作業内容2-1回目	0.000	0.283	0.001
-2回目	0.133	0.283	0.471
-3回目	0.199	0.283	0.705
-4回目	0.181	0.283	0.640
作業内容3-1回目	0.041	0.071	0.580
-2回目	0.161	0.071	2.259
-3回目	0.151	0.071	2.112
-4回目	0.126	0.071	1.762

図7：作業者Aの b に関する実測値、理論値、変動係数

び変動指数を示す。続いて、各作業員、各指標において、この α_{context} と設定した 9 つの文脈項目から各作業員の固有値(s1~s9)を求めた。図 8 は作業員 A の指標 b に関する文脈項目についての固有値である。この場合、s3、s6 は除去され、それ以外の s の値をモデルに組み込み、理論値を求めプロットすると、図 9 のようになった。実測値との差はあまり大きくなく、本研究における手法は実際に作業行動を再現するモデルに成り得ると考えられる。

・標準化係数 β を用いた検討

各項目は単位が異なり数値の大きさにも開きがあり、s1~s9 同士をそのまま比較することは出来ないため、扱う項目の値を標準化して重回帰分析を行ったときの回帰係数である標準化係数 β を、作業員ごとに各指標について求めた。作業員 A における指標 b、N、TS、x についての標準化係数 β を図 10 に示す。標準化係数の絶対値が大きい文脈項目がその指標に与える影響が大きいという事を考慮して、指標 b、N、TS、x について考察すると、b は iv) 直前の作業内容との変化による影響：前の作業との作業内容に関する差(1/S の差、H の差) から、N、x は i) 最初からの積算影響：通算回数、通算時間、TS は iii) 直前の作業内容、作業過程の影響：直前の作業過程 b や直前の作業で用いた作業内容(入れられる容器の細さ(1/S)および最終的な目標高さ(H))から、強く影響を受けていると見ることが出来る。この手法により作業員ごとの各指標と文脈項目との関係性を見ることが出来る。

(定数)	1.964	s5	2.211
s1	0.78	s7	-0.462
s2	-1.366	s8	-33.27
s4	0.024	s9	2.449

図 8：作業員 A の各文脈項目に対する固有値

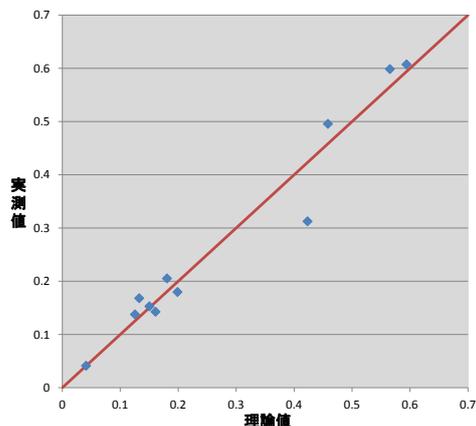


図 9：作業員 A の本モデルによる理論値および実測値

	N についての β	ts についての β	b についての β	x についての β
通算回数	6.421	9.631	4.105	-6.413
通算時間	-7.619	-8.538	0.000	5.766
同じ高さに関する回数	-3.474	3.522	-2.327	1.267
同じ高さに関する時間	4.427	-3.820	0.699	-0.734
直前の b	-0.291	0.207	0.687	-0.431
直前の 1/S	3.929	12.419	0.000	3.423
直前の h	-3.073	-12.649	-2.902	-3.025
1/S の差	0.000	0.000	-8.966	0.000
h の差	0.550	-0.036	6.662	-0.228

図 10：作業員 A の各指標についての標準化係数

5. 結言

水の秤量を模擬作業として、実験作業を物理量で表現することによって、作業プロセスのモデル化と作業条件による影響の定量的評価を行った。この手法は各作業員の未知の作業に対する作業員の行動予測や別の作業系における応用など新たな系での活用が期待される。

6. 参考文献

- (1) J. J. Gibson, et al, Psychological Review, 62, 158-174(1955)
- (2) 諏訪正樹., 人工知能学誌., 20, 523-525 (2005)
- (3) S. L. Beilock and T .H. Carr., J .Experimental Psycholigy, 130, 701-725 (2001)
- (4) T. Miura, et al., Scandinavian Journal of Psychology, 50, 293-300 (2009)