

縦断的ビッグデータによる行動予測の本質的問題の解決 —時間次元の要因を統制するスケジューリング原理の教育活用—

寺澤孝文^{†1} 吉田哲也^{†2} 太田信夫^{†3}

膨大な縦断的行動データ（縦断的ビッグデータ）が収集できる状況が生まれているが、いわゆる履歴情報の「いつ」という条件はこれまで社会科学が扱ってこなかったデータの属性であり、それを人間の行動予測に利用する場合には新たに解決の必要な問題が出てくる。すなわち、日常生活の中で起きる様々なイベント（購買行動、学習など）の生起タイミングは無数想定されるが、その生起タイミング自体や測定イベントまでのインターバルなど、時間次元に想定される要因が個人の行動に大きな影響力を持ち、さらに、イベントの生起タイミングは個人によって様々異なる。そのため、行動予測を行うために多くの人の縦断データを集約した場合、それらの要因が大きな誤差を生み出し、本来は存在する個々のイベントの微細な効果の検出が困難になる点である。いくらデータを集めても意味ある知見は得られにくいという問題がある。これは縦断的研究が包含している本質的な問題である。本研究は、この問題を解決する一つの方法として、無数のイベントの生起タイミングをあらかじめ全て緩やかに制御（スケジューリング）し、その上で反応データを収集する新しい測定法（マイクロステップ計測法）を開発した。この方法を教育分野に適用し、さらに時間次元の要因を統制する新たな実験計画法を適用することで、例えば、自覚できない日々の英単語学習の効果の積み重ねを“個別”に可視化することが可能になった。

Solving the essential problem for behavioral predictions with longitudinal big data: Application of the scheduling principle controlling temporal dimension factors to education

TAKAFUMI TERASAWA^{†1} TETSUYA YOSHIDA^{†2}
NOBUO OHTA^{†3}

It is now possible to acquire extensive longitudinal behavioral data (“longitudinal big data”). However, a condition known as “when” in the historical information is a data attribute that the social sciences have not explored thus far. If such data are used for predicting the gamut of human behavior, new problems may crop up that would need to be resolved, as otherwise, the timing of various activities in our daily life (purchase behavior, study habits, etc.) will have an endless number of predictions. However, a sequential prediction of daily activities, for example the timing of an activity and the intervals with which it is repeated, can have a major influence on an individual’s actions and behavior. Moreover, as the timing of the activities vary, depending on the individual, the longitudinal data for a large number of people need to be aggregated for making behavioral predictions. This prediction method, however, produced large errors, making it difficult to detect the minute inherent effects of individual events. The problem intrinsic to longitudinal research is that irrespective of the amount of data gathered, obtaining meaningful findings can be difficult. To overcome the problem, we developed a new measuring technique (micro-step measuring) for our study. This technique loosely predicts, in advance, the time of occurrence of an infinite number of events (“scheduling”), before gathering reaction data. When this technique, coupled with a new experimental planning technique involving temporal dimension factors, was applied to the field of education, it was possible to predict the results achieved by individual study of memorizing English words on a daily basis that would otherwise not be apparent.

1. はじめに *

近年、ICTの進歩により、膨大な行動データが比較的容易に収集できるようになっている。この状況は、人間の行動予測を行う上で、従来にない状況を生み出している。特に注目すべき点は、個人の縦断的な行動データ（いわゆる履歴情報）を長期にわたり大規模に収集することが可能になった点である。例えば、TSUTAYAのポイントカードは、特定の個人が「いつ」何を購入したのかといった購買行動などを長期にわたり縦断的に把握することを原理的に可能にしている。このような膨大な縦断的なデータが手に入る状況は、社会科学の分野でもこれまでなかったものである。社会科学の分野では現在でも、アンケートなどにより、あ

る時点における特定の集団の状態を把握する横断的調査研究が広く行われている。横断的調査研究に対して、特定の個人を対象に、連続してその行動履歴を記録していく縦断的調査研究は、その重要性は指摘されても、データの収集にかかるコスト等が障壁となり、大規模な研究はこれまで困難であった。

多数の個人の縦断的行動データ（以下、縦断的ビッグデータと呼ぶ）を容易に収集できる状況は、社会科学の領域にも、これまででない大きなインパクトを与える。以下では、これまでの社会科学の研究法における、縦断的研究の意義に説明を加えた後、縦断的ビッグデータにより行動予測を行う場合に、新たに生まれてくる本質的な問題に説明を加える。縦断的ビッグデータを有効活用するためには、従来社会科学の分野でも議論されたことのない、解決の難しい問題に対処する必要がある。

(1) 行動予測における縦断的データの意義

人間の行動予測を目的にする場合には、当然のことであ

*†1 岡山大学
Okayama University
†2 常葉大学
Tokoha University

†3 東京福祉大学
Tokyo University and Graduate School of Social Welfare.

るが、因果関係が重要な意味を持つ。つまり、原因と結果の対応を厳密に特定していけば、人間の行動予測の精度は高くなる。ところが、現在行われている社会科学の研究の多くは、ある時点における集団の状態を把握する横断的調査研究がほとんどであり、それらの研究では、様々な指標に対する反応をある時点で大規模に測定し、指標間の相関関係から、それら関係性を推定する研究がなされている。横断的研究では、ある時点の状態に関する情報は手に入るが、因果関係の特定に必須な、時間軸上で区別される原因と結果の関係を吟味することは原理的に難しい。

一方、因果関係を厳密に検討する研究方法として実験法がある。実験法は、特定の指標に影響を与えると予想される操作イベントを実験的に引き起こし、それから特定のインターバルを挟んで、その指標に対する反応を測定し、実験操作の影響を検討できる。しかし、特定のイベントの影響は、測定を行うテストまでのインターバルの長さによって大きく変わってくる。ほとんどの実験研究では、単一のインターバルを設定した単発的な実験により操作イベントの影響が議論されている。ところが、インターバルが変わることで結果が変わってくることも当然あり、結果の普遍性は常に問題となる。例えば、A、B 2つの条件で英単語の学習をし、1週間後にテストをした場合にはA条件の方が成績が高くても、3週間後に同じような結果になる保証はない。現在心理学の領域で行われている実験研究のほとんどすべては、このように単一のインターバルを設定した、単発的な実験で実験操作の影響を評価している。

このように、横断的調査研究と実験法は、それぞれある時点やある期間に限定された条件下で人間の行動データを収集する方法であり、本来、長期にわたり、連続する人間の生活や経験を研究対象にすることは難しい。例えば、大学入試の3か月前に模擬試験を受けて合格の可能性が60%であった高校生が、大学に合格できるかどうかを予測する場合、さらに過去の模擬試験で成績が確実に上昇してきている個人と、低下している個人では、合否の可能性は違ってきて当然である。個人の行動を予測する場合には、このような履歴情報は大きな意味を持つが、それは横断的調査法や実験法では把握できなかった情報である。

また、横断的調査法と実験法により得られる知見は、あくまで集団の行動特性であり、それが特定の個人の行動にあてはまるわけではない。先の大学入試の例でいえば、個人レベルでは成績が低下している生徒と上昇している生徒が様々あっても、平均値をとってしまうとほとんど変動は出てこないように、平均値から個人の行動を予測することは困難なことである。たとえ横断的調査を反復したとしても、得られる平均データから特定の個人の行動を予測することは難しい。

これまでの社会科学の研究のほとんどは、横断的調査法と実験法に基づいており、そこでは個人の縦断的履歴情報

は扱われて来なかったといえる。それに対して、特定の個人に対応付けられる行動データを長期にわたり収集する縦断的研究法は、その重要性は明らかであるにも関わらず、大きく発展してこなかった。その理由としては、データ収集にかかるコストが大きくなるなどが指摘できるが、実は、より本質的な問題がある。これまで通信教育の企業では個人の膨大な学習履歴が収集されており、コールセンターには膨大な個人の情報が蓄積されてきたが、その成果は形になって出てきていない。その理由は、縦断的ビッグデータを人間の行動予測に活用する場合に避けて通れない困難な問題が存在することによる。

(2) 縦断的ビッグデータで行動予測は可能か？

縦断的ビッグデータから特定の個人の行動を予測する上での問題を取り上げる前に、そもそも、縦断的ビッグデータで個人の行動を予測できるのか、その見通しを論じておく必要がある。言い換えれば、個人の履歴データからその個人の行動はどの程度正確に予測できるかを、最新の心理学の知見に基づいて説明する。

人の行動はその個人の経験や学習により形作られていることは明らかであるが、近年、潜在記憶の研究において、ごくわずかな経験の影響が想像を超えるほど長期に持続し、その影響が行動指標に検出される事実が明らかになってきている(西山・寺澤,2013¹; 寺澤,1997²,2001³; 寺澤・太田(1993)⁴; 上田・寺澤,2008⁵,2010⁶; 潜在記憶に関しては、太田,2010⁷を参照)。

例えば、寺澤(1997)は、日本語二字熟語の学習回数の影響が数か月後にシステマティックな効果として潜在記憶課題の成績に検出できることを明らかにしている。この事実は子どもたちが日々行っている漢字や英単語の学習の影響が、自覚できないレベルで長期に保持されていることを示唆している。それを受け寺澤(1997b)⁸は、日常生活の中で個々のコンテンツごとに厳密に学習回数やインターバルを統制することができれば、自覚できない学習段階を可視化し、それを子どもたちにフィードバックすることが原理的に可能であると予想し、予想される自覚できない学習段階をマイクロステップと呼んでいる。

記憶の長期持続性に関しては、近年さらに興味深い事実が明らかになり始めている。すなわち、これまで記憶として長期に残らないと考えられてきた感覚的情報を、人間が非常に正確に、驚くほど長期に保持している事実である。例えば、上田・寺澤(2010)⁶は、無作為に作成された音列を聴き流す程度の学習の影響が、10週間後に非常に大きな効果として、潜在記憶課題の指標に検出されることを明らかにしている。また、西山・寺澤(2013)¹では、顔の線画を見た回数の影響が、7週間後の同様の課題の成績に比較的大きな効果として検出される事実が報告されている。これらの研究では、非常に詳細な感覚的な情報を、人が注意を向けた瞬間に体内に固定していると考えざるを得ない実

験結果が明示されており、記憶研究などにインパクトを与え始めている。

さらに、わずかな経験の影響は記憶課題の成績に限らず、その他の認知判断にも影響を与えていることが明らかになっている。すなわち、ごく普通の線画刺激に対するわずかな遭遇回数の影響が、数か月後に、その刺激に対する好意度に影響を与える事実なども報告されている (e.g., 原・寺澤,2000⁹,2001¹⁰;寺澤・秋山・原,2001¹¹)。この事実は、社会心理学の領域で研究されている単純接触効果が、非常に長期に持続することを意味しているが、その影響のパターンは、従来の単純接触効果のパターンとは異なっている。

いずれにしても、これらの研究は、人間が非常に微細な経験の影響を長期に保持し、その影響を驚くほど正確に行動に表すことを明示している。それは逆に、厳密な実験手続きを日常生活の中に導入することができれば、これまで関心を向けてこなかった微細な経験の影響を行動指標の中に検出し、可視化できる可能性を示している。

(3) 縦断的履歴データの活用には内在する本質的な問題

上記事実は、例えば、ある対象に関する接触履歴などを詳細に、そして厳密に把握することができれば、人間の購買行動など反応予測が可能になることを示唆している。ただし、たった一人の履歴データのみからその個人の行動予測を導くことは難しく、同様の行動データを多数の個人を対象に収集し、その行動傾向から特定の個人の行動を予測する必要が出てくる。そこに縦断的ビッグデータの活用の意義がある。古くからなされている縦断的研究では、一個人の履歴を詳細に記録する研究が多いが、少数の個人の行動履歴から、別の特定の個人の行動予測を導くことは難しいことはいうまでもない。

個人の行動を予測する上で、多数の人の行動データを集約したデータベースは必要な情報源となる。しかし、多数の個人の縦断的行動データを集約する場合には、これまでの社会科学が考慮してこなかった新しい要因の影響に対処する必要が出てくる。すなわち、日常の中では、様々なイベント（購買行動、学習など）が生起するが、その生起タイミングは無数想定でき、その生起タイミングは人によってばらばらで、それを厳密に統制することはできない。そして特に問題となるのは、「いつ」というタイミング条件自体が、その後の行動に大きな影響力を持つ点である。例えば、学習心理学の領域では、単語を同じ回数学習しても、まとめて学習するか分散させて学習するのにかよって学習の効果が違ってくることは、分散/集中学習の研究で多数報告されている (北尾 2002¹² 参照)。また、パチンコのように、たまに勝ったりするとやめられないような例などは、間欠強化の事例として、強化スケジュールの研究ではよく引き合いに出され、影響が検討されている (e.g., レイノルズ,1978¹³)。

さらに、何らかの経験からその影響を測定するまでのイ

ンターバルも、無数想定でき、かつ行動に大きな影響を与える。例えば、天婦羅定食を食べた次の日には天婦羅定食は食べようと思わないが、1か月後にはまた食べたくなったり、学習の効果も直後と1か月後では大きく異なる。

このようなイベントの生起タイミングやインターバルなど、時間次元に想定される要因は相応の影響力を持つ。そのため、日常生活のように、各種イベントの生起タイミングが人によってまちまちな条件下で得られる縦断データを、多くの個人について集約すると、時間次元に想定される要因の影響が大きな誤差となり、本来は存在する個々のイベントの微細な効果の検出が困難になる (そのイメージを図1に示した)。時間次元の要因は、従来の社会科学の分野でこれまでほとんど扱われてこなかった要因であり、時間次元の要因を考慮せずに縦断データを集約しても、個人の行動を予測するうえで有益な情報は得られない可能性が高い。これは縦断的ビッグデータを行動予測に活用する場合に生まれてくる本質的な問題である。

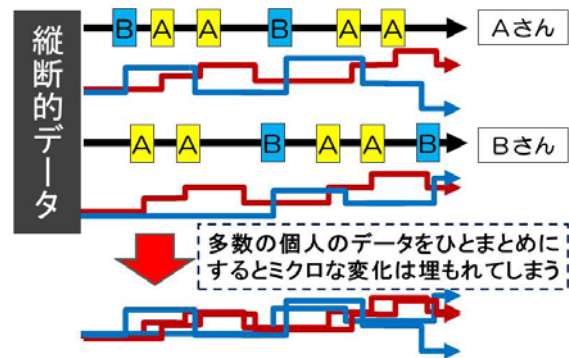


図1 タイミング条件は大きな誤差を生む

2. 経験を科学するための新たな方法

本論文は、上記問題を解決し、膨大な個人の縦断データを大規模に集約し、有益な情報を得るための一つの方法を提案する。すなわち、単にビッグデータを収集するのではなく、ビッグデータを構成する個々の反応データに対応する、全てのイベントの生起タイミングやインターバル等のスケジュールをあらかじめ緩やかに統制した上でイベント生起させ、対応する反応データを収集し、解析時に収集されたデータをスケジュールに対応させて集約する方法である。我々はこの新しい測定法をマイクロステップ計測法と呼んでいる。本論文では、この方法を教育分野に適用し、さらに時間次元の要因を統制する新たな実験計画法を適用することで、実用レベルになった研究の初期の成果を紹介する。ビッグデータを解析するだけでなく、時系列条件がそろったビッグデータを作り出すことが可能になることで、高い精度で個人の詳細な情報が手に入るようになっている。

マイクロステップ計測法は、これまで一口に「経験」といわれてきたものの影響を、詳細にまた、客観的に評価するためのスケジューリング原理とそれを実現する技術、す

なわち「経験」を科学するための基盤技術である。なお、スケジュールというとなじみのある概念であるが、従来のスケジュールの定義は冗長で、コンピュータの処理には馴染まない。スケジュールという概念は科学の対象になってこなかったといえる。そのため、スケジュールの定義などかなり基本的なところから方法論の理解が必要であるが、本論文では、スケジューリングの原理や処理の流れについては詳細は説明できない。原理的な部分については寺澤・吉田・太田(2007)⁽¹⁴⁾を、その原理をコンピュータシステムで実現する処理の流れについては、寺澤(2006⁽¹⁵⁾, 2009a⁽¹⁶⁾, 2009b⁽¹⁷⁾)を参照いただきたい。以下では、大きな処理の流れとスケジューリングのポイントを3つ、本方法を英単語の学習場面に適用したものを例として説明する。

(1) 連続して生起する多様なイベントの分離

一般的な学習・記憶実験では、検討する学習イベントの影響をその後のテストイベントで評価する手続きをとっている。例えば、実験参加者に英単語100個を学習してもらい、その効果が1週間後のテストで測定される。この場合、学習イベントを“100個の英単語の学習”とまとめてしまうと、英単語の構成などを変えると異なるイベントとなってしまう、個々の英単語の学習効果を推定することは難しくなる。それに対して本方法は、イベントの影響が独立して蓄積されると考えられるコンテンツ(例えば、英単語)を最小単位とし、それぞれについてイベントが生起するスケジュールを定義する。独立したそれぞれのコンテンツごとに「いつ」「どのように」提示されるのが規定されたイベントの集合が、多数のコンテンツ(対象)について並列して生起しているものとして経験をとらえる。これにより、学習やテストといった区切りというものを想定する必要がなくなり、個々のコンテンツがいつ、そしてどのように提示されたのかという、タイミングと生起条件のみを実験的に制御することで連続するイベントを研究対象とすることができる。学習などの効果が独立して蓄えられると考えられるコンテンツごとに、イベントの生起スケジュールを緩やかに制御した上で各イベントを生起させる。

(2) イベントの生起タイミングの統制

日常で繰り返し生起する各種イベントで統制することが最も必要となるのは、生起タイミングの条件である。例えば、10日で10回学習するといった場合でも、そのタイミングは無数想定できる。さらに、タイミングが偏って生起するスケジュールを設定すると、繰り返し回数とタイミングの条件の影響を分離できなくなるため、タイミングは可能な限り一定になるようなスケジュールに限定する必要がある。マイクロステップ法では、10日に4回学習をするといった場合は、10日間のうちのある1日に4回の学習を行うと定義されている。

(3) スケジュール条件に対応した反応データの集約

様々なスケジュールに応じてコンテンツの生起を制御し、

各イベントごとに反応データを収集した後に、生起スケジュールが等しいコンテンツをまとめて反応データを集約することで、時間軸上に想定される条件がそろったイベントに対する時系列反応データが収集できる。多数のコンテンツについてこの操作を適用し、反応の代表値を出すことができれば、個人内でも、特定のスケジュールに対応した時系列反応データが収集できる。さらに、同様のスケジュールを多数の個人に適用することで、時間軸上の条件がそろった集団の行動傾向が描き出せる。

3. 客観的絶対評価を目指して

我々は、新たなスケジューリング法を、習得に長期間を要す多数の英単語の学習に適用し、長期にわたり膨大な学習データを収集し、わずかな日々の学習の効果の積み重ねを個人の反応データを使って可視化することを目指した。それにより、以下の目的を持った「客観的絶対評価」の実現をめざし研究を続けてきた(例えば、寺澤1998⁽⁸⁾, 2000⁽¹⁸⁾, 寺澤・吉田・太田2003⁽¹⁹⁾, 寺澤2003⁽²⁰⁾, 吉田・寺澤・太田2003⁽²¹⁾)。言い換えれば、形成的評価を、高い精度で、また長期に継続して実施していくことを目指した。

- (a) 全ての学習内容を対象とした評価: 現在のテストのように、多数の学習内容の一部からテストを作成するのではなく、学習内容(英単語)を網羅し、その一つ一つについて到達度を推定する。
- (b) 完全な客観的個別評価の実現: 集団の中の位置によって個人の到達度を推定するのではなく、完全に個人の反応のみから詳細な到達度を客観的に推定する。
- (c) 従来のように1度のテストで到達度を推定せず、連続してテストを実施し、成績の変動から到達度を推定する。
- (d) 学習とテストの融合: テストだけでなく、それ以前にどのような学習がなされていたのかも考慮し、個々の学習内容ごとに成績の推定精度を上げる。
- (e) インターバル要因の制御: 学習とテストイベントのインターバルを、全ての学習内容について制御する。
- (f) タイミング要因の制御: 学習・テストイベントがいつ生起するのかを長期にわたって計画的に制御する。

4. 時間次元の要因を制御する実験計画法

客観的絶対評価を実現するための大きな障害の一つは、インターバルの要因やタイミングの要因に代表される時間次元の要因を制御し、連続して生起する学習イベントの効果を測定する方法論の確立である。単純にテストを繰り返し、反応(成績)を収集しているだけでは、先に述べたインターバルと学習のタイミングの影響は排除できない。

一口にイベントの生起を制御するといっても、対象として考えているイベントは膨大なイベントである。例えば、1000を超える英単語に関する繰り返しなされる学習とテストイベントの生起を半年以上にわたって制御し、さらに、

一つひとつの英単語に関する1回1回の学習の効果を、全単語について、一定のインターバルをあけて測定するための方法が必要となる。さらにまた、自宅学習など、日常的なイベントの生起を完全に制御することは不可能である。つまり、自由度の高い日常的な場面であっても、最大限、時間次元の要因を制御できる方法も必要となる。

このように、時間次元の要因に関する障害の克服にあたっては、新しいアイデアが必要となる。その典型的な問題を一つ紹介する。すなわち、1000個の英単語をそれぞれ10回学習し、その学習から、どの単語も一律1ヶ月のインターバルをあけてテストを実施し学習の効果を測定する方法を考えてみる。この例では、のべ1万回(1000個×10)の単語学習を行い、さらにその1ヶ月後に各単語についてテストを実施する必要がある。従来の学習実験でなされているように、学習を一度に実施し、テストを1ヶ月後に実施することは、不可能である。当然、学習を何日かにばらさなければならないが、その場合は、各学習からテストまでのインターバルの制御ができなくなる。

多数の学習内容について学習イベントを生起させるためには、何日かに学習イベントを分散させる必要があるが、分散させた場合、テストまでのインターバルの統制が難しくなる問題を解決するため、我々は、種まき方とインターバル相殺法という、時間軸上に想定される各種条件を統制する2つの実験計画法を考案した。これらは実験心理学の方法論を時間次元の要因に適用したものである(寺澤・吉田・太田 2007⁽¹⁴⁾)。さらに、我々はこの実験計画法を実際に実現できるスケジュールを自動生成できる、スケジュールの定式化と、コンピュータシステムの開発を経て、時間次元の要因を制御できるスケジュールを自由に生成できる方法論を確立した⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。

時間次元の要因を制御する方法論は、学習心理学の領域においては、強化スケジュール、分散・集中学習といった研究領域でいくつか方法が提案されているが、どれも膨大な学習イベントの制御を念頭に置いたものではない。従来の学習研究では、ごく少数の学習項目(刺激)を用いて学習効果を測定してきたため、インターバルなどの要因の制御は問題とならなかった。それに対して、実際の教育場で用いられている膨大な学習コンテンツを対象として時間次元の要因を厳密に制御する方法がなければ形成的評価は実現できない。それを実現するためには、新しい実験計画法(スケジューリング法)を考案し、そのスケジュールを実際に生成するコンピュータシステムを開発することが必要であった。

5. 動的な個別データベースシステムの開発

もう一つの大きな障害は、膨大な学習内容に関して、何度も生起する学習イベントとテストイベントにおける様々な反応データを、個別にまた詳細に確実に記録し、さらに

必要に応じてその膨大なデータから到達度情報を抽出し、学習者にフィードバックするための技術的な問題である。それはまさに、近年のITの発展と普及により確実に解決され始めた。

一般に私たちは、小学校から高校、大学、さらに生涯にわたって、何万、何十万という学習内容(コンテンツ)を、一つ当たり何度も繰り返して学習を行っている。それらの繰り返し学習のノベ数は、想像もつかないほど莫大な数にのぼる。客観的絶対評価は、これらの全てのコンテンツに関する、個々の学習イベントに起因する到達度の変化を詳細に推定することを目指すものである。1000語の英単語のそれぞれに関して、単語カードの学習を50回繰り返したとする。この場合、学習イベントはのべ5万にのぼる。我々は、これらのイベントにおける学習者の反応データを全て収集することを当初より目指して研究を進めてきたが、近年の情報端末とインターネットの普及は、まさに、学習者の学習場面で起きる様々な反応を詳細に、また一元的に収集、蓄積することを可能にしている。

前節で述べた客観的絶対評価を実現するため、我々は以下のモジュールを開発し、各システムを一元化した大規模なコンピュータシステムを構築してきた。そこにおける処理の流れを図2に示した。

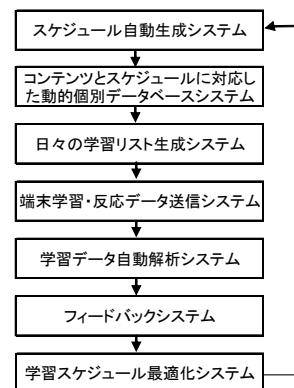


図2 動的個別データベースシステムの処理

- (a)スケジュール自動生成システム：新しい実験計画法に基づき、膨大なまた詳細な学習・テストイベントを計画的に生起させるスケジュールテーブルを年単位で自動で生成するシステム。
- (b)動的個別データベースシステム：コンテンツとスケジュールを組み合わせ、スケジュールに対応して生起する学習者の反応データを蓄積し、さらに学習者等の要請に応じて動的にデータベースの再構築を可能とするシステム(現在開発されているシステムの例を図3に示した)。
- (c)日々の学習リスト生成システム：スケジュールテーブルとコンテンツデータベースを基に、対応する日にどのコンテンツをどのような形式で呈示し、どのような反応データを収集するのかを指定するリスト(呈示リストと呼ぶ)を自動生成するシステム。
- (d)端末学習・反応データ送信システム：呈示リストに従っ

て、学習コンテンツを呈示し、それに対応する反応データを収集し、記録、データセンターへ送信する端末システム（スマートフォン用システムも開発済み）。

(e)個別学習データ解析システム：スケジュールに対応して、収集された学習者の反応データから、時系列的な学習者の到達度を描き出す、解析システム。

(f)フィードバックシステム：解析結果を描き出したグラフなどを、Web や印刷物として出力するシステム。

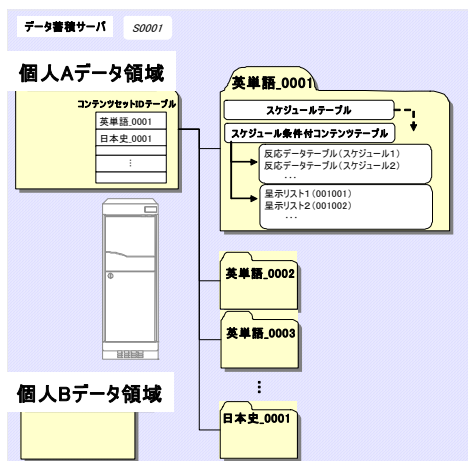


図3 動的個別データベースシステムの領域図

6. 縦断的ビッグデータの活用事例

(1) 目的

新しい実験計画法の有効性の確認、および到達度の変化が高精度で描き出せるか否かの検討を目的とした。

(2) 方法

システム：1人の学習者に生起する約10万の学習とテストイベントを想定し、そこで収集される約20万件の反応データを記録するよう設計したデータベースシステムを個別に構築した。高校生の各家庭にノートパソコンを配布し、データの収集は高等学校の協力を得て、フロッピーで回収する方法がとられた（実験実施は1997-1999年）。

実験参加者：自発的に実験参加を希望した、公立高校に通う高校2年生24名。参加者の保護者には、研究の趣旨と概要、および生徒から収集される反応データの扱いなどを説明する文書を配布し、得られたデータは個人が特定できない形で学術利用することに同意の上、生徒が実験に参加することを了承する旨の同意書を提出してもらった。

学習コンテンツ：大学受験に必要とされる英単語約1200語。

学習方法：参加者は単語カード的な学習をコンピュータで行う単純な評定学習を行った（図4参照）。まず、呈示される英単語を見てその単語の日本語の意味を思い出し、続いてキーを押すと日本語訳が現れる。そこで、「自分が後どのくらいこの英単語を学習しなければならないか」を、4段階（A：良い、B：もう少し、C：だめ、D：全くだめ）で評定した。本実験では学習イベントがテストイベントを

兼ねた。

学習スケジュール（図5参照）：約1か月（24日+予備日）を1サイクルとして、ある単語がある日に呈示された場合、同じ単語はその1か月後に現れ（インターバル1か月）、それが同様に連続してスケジュールが組み込まれた。つまり、一夜漬けではなく、実力の変化を連続して測定することを目指した。さらにまた、ある日に1回呈示される学習条件から8回呈示される8回繰り返し条件まで、8つの条件が設けられ、学習の繰り返しの効果を比較できるようにスケジュールリングがなされた。なお、各繰り返し条件には48語（計384語）の英単語が割り振られた（本論文ではとりあげないが、本実験では複数のスケジュール条件が設定されたため、実際に1人の学習者が学習した総単語数は約1000語にのぼる）。

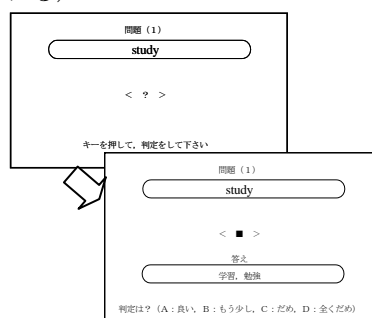


図4 ドリル学習のインターフェイスの例

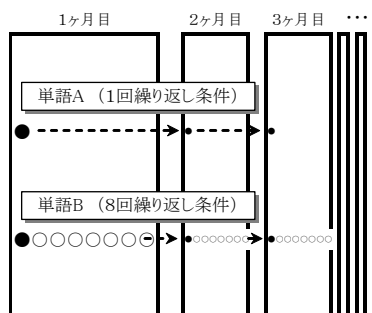


図5 スケジュール（繰り返し1回と8回条件のみ例示）

ある日の各単語に対してなされた一番最初の評定値（●の評定得点）を各条件ごとにまとめて平均を算出すると、その平均値に現れる月変化の違いは、1ヵ月前になされた学習の繰り返しの効果の積み重ねを表す。

(3) 結果および考察

実験者が指定したスケジュールから遅れが少なく、8ヶ月以上学習実験に参加した学習者15名について、約半年間の学習データの解析を行った。本論文では、到達度の変化を個別にフィードバックする流れの説明を主な目的とし、一般的な傾向の検討は行わない（全学習者の平均データは、寺澤・吉田・太田[2008]⁽²²⁾を、客観テストとの関係については寺澤[2003]⁽²⁰⁾参照）。

自己評定の評定（A～D）を評定得点（3～0点）に換算し、その値を各繰り返し条件の単語群ごと、さらに全繰り返し条件について平均したものを自己評定値として参加

者ごとに算出した。その結果、全ての参加者の自己評定値は右上がりですり昇していくことが明らかとなった。ただし、上昇率には大きな個人差が認められた。参加者のうち、典型的な4名の高校生について、自己評定値に表れる到達度の変化を、学習サイクル(月)と繰り返し回数(1-8回)に対してプロットしたものを図6に示した。回帰式をもとに学習者の到達度が3点に到達するのに要する月数を推定することも可能になった。

実験に参加した高校生は、実験参加の募集に応募し、抽選で選ばれた者であり、比較的学習意欲の高い生徒といえる。我々研究者はもちろん、協力を得た高校の教諭も、これほどの個人差が存在することは予想していなかった。一般的に子どもの個人差は大きいといわれるが、その違いを明示する客観的データはどこにも存在せず、その意味で重要な知見が得られたといえる。なお、この個人差の原因については、学習に実質的に費やした学習時間との関係が明らかにされている(寺澤 2003⁽²⁰⁾)。なお、実験では各参加者に対して、図6のような到達度の変化グラフをはじめ、より詳細な到達度データを、印刷物として、可能な限りフィードバックした。

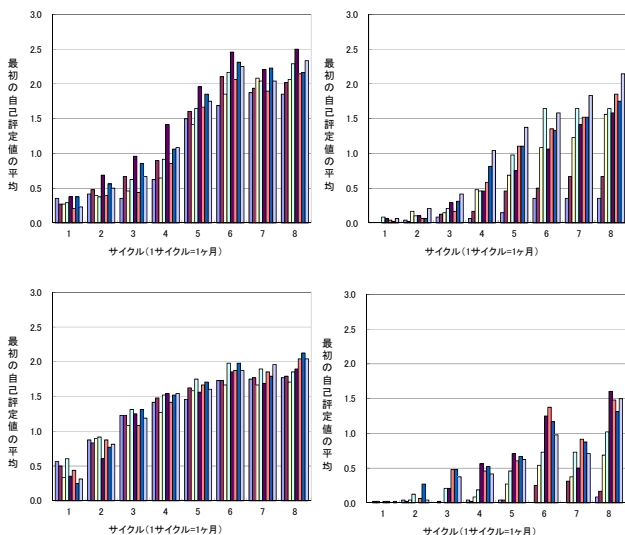


図6 4名の高校生の到達度の変化(個別データ)

上記の結果は、収集されたデータのうち限られたデータから導き出されたものであり、今回の実験では、一人当たり10万件を超える反応データが収集され、分析されている。

本実験で特に重要な結果は、日々の学習に対応して、到達度が上昇していく様子が個別に描き出された点である。現在学校現場で行われている、漢字ドリルや英単語ドリルにおいて、日々のテストの成績を記録しても、このように学習に対応して成績が上昇していく結果は手に入らない。さらにいえば、現在の社会科学の領域でも、個人の学習成績のシステムティックな縦断的变化を詳細に描き出している研究は皆無である。これは、冒頭で述べたように、多数の学習コンテンツについて学習/テストイベントの生起タイミングや、インターバルといった、時間次元に想定され

る各種条件の影響を厳密に制御したことにより、測定誤差が小さくなり、測定精度が飛躍的に向上したことが原因といえよう。

さらに、個人の成績の変化データを、同じスケジュールについて分析対象となった参加者についてまとめ、平均すると、学習の積み重ねと学習回数の影響が検出されている(詳細は、寺澤・吉田・太田 2007⁽¹⁴⁾, 2008⁽²²⁾)。つまり、時間次元に想定される要因を制御することで、これまで描き出せなかった学習の積み重ねの一般傾向を明らかにすることが可能になったといえる。

7. 今後の展開と課題

(1) 客観的絶対評価を伴った e-learning の実現

今回の実験結果は、学習効果の変化を想像を超える精度で検出すること、および収集されるデータを自動解析し、到達度評価を学習者に自動でフィードバックすることが原理的に可能になったことを意味している。それは、評価を伴う e-learning を実現できることを意味している。

従来の e-learning では、学習状況を設け、学習コンテンツの呈示法に関して主に IT が活用されてきた。本研究により、非常に高い精度で到達度を客観的に推定し、その結果を学習者にフィードバックする教育サービスの実現の道が開かれたといえる。現在、教師が日々行っている宿題のチェックはもちろん、宿題で課された問題集の一つ一つの問題に対する成績の把握などを、何年にもわたって個別に把握し続けることが、原理的に実現できるようになったといえる。IT の活用により、教育の「指導」と「評価」の両輪を連続して動かし、子どもの学習をサポートすることが可能になったといえる。

筆者らが客観的絶対評価を目指す理由は、単に個別学習を促進するためではない。たとえ図6のような精度の高い到達度の変化が描き出されたとしても、その意味や、到達度をより高める方法など、子どもが必要とするアドバイスはさらに細分化するはずである。成績の上昇率が小さな学習者に対しては、到達度を単にフィードバックするだけでは意味のある教育には結びつかない。学習者の情報を理解し、有益なアドバイスを行う教師の役割はさらに高まると考えている。客観的絶対評価は、子どもの学習状況を教師が指導に活かしてはじめてその意義が出てくると考える。

また、客観的絶対評価は、これまで子どもに任されていた家庭学習の状況を、教師や保護者が把握することを可能にするといえる。現在行われている宿題のチェックをはじめ、教師が膨大な労力をかけている評価業務を、効率的にまたより正確に行うための支援ツールになると考える。

(2) 個人の詳細な学習情報の利用

さらにいえば、基礎学力の向上には、家庭学習の充実が欠かせず、そのために家庭の教育力の向上は重要な課題となっている。ところが、現在の状況を見ると、保護者が手

にできる子どもの学習情報は、偏差値的な情報に限られており、励ましや支援をするための情報が足りないことは明白である。子ども個人の到達度が学習に対応して上昇していく様子を保護者にフィードバックすることも実際に実現されており、その結果を見ることで、保護者から新たな支援が生まれてくる可能性もある。

さらに、マイクロステップ計測法は個々の学習内容ごとに学習成績を連続測定することを可能にしている。つまり、全ての英単語を対象に、それぞれの成績の変化情報から、英単語の難易度ランキングを個別に生成することも可能である。その情報を保護者や教師が把握することで、きめ細かい学習支援が可能になると考えられる。

(3) 多様な学習形態への応用

今回採用した学習方法は、単純なドリル学習形式の学習であるが、スケジュールの生成から反応データの収集に関してはコンテンツの内容に依存せず、様々な形態の学習方法に付加的に利用することが可能である。つまり、現在提供されている多様な有効な学習システムを、評価が伴う e-learning システムへと発展させることは十分可能である。また、新たなインターフェイスや学習方法が開発されれば、収集される反応の多様性も増すことになり、より多様な視点から学習者の到達度を把握することが可能になる。

(4) 学習を継続する意欲の向上

本システムを利用し、学習の到達度の変化をフィードバックすることが学習に対する動機付けを高めるという結果も得られている¹⁴。特に、英単語学習のように、いくら勉強をしてもその影響をなかなか感じ取れない学習に対しては、自覚できない学習段階を描き出すことで、学習を継続する意欲を高めることが期待できる。

8. 結論

縦断的ビッグデータを人間の行動予測に利用する場合には、タイミングやインターバルといった社会科学の分野で扱われてこなかった、時間次元に想定される要因を考慮する必要が出てくる。本論文では、その一つの方法として、膨大なイベントの生起スケジュールを緩やかに制御した上で各種反応データを収集し、事後的にスケジュールに対応させて反応データを集約する新しいデータ収集の方法を提案した。習得に時間を要す多数の英単語学習に本方法を適用した検証実験を実施し、従来とは比較にならないほど高精度の個人反応データを収集できることが明らかになった。すなわち、個人の成績のシステムティックな縦断的变化を詳細に描き出すことが可能となった。日常的な学習状況で、わずかな学習の影響を個人レベルで描き出すことは、従来の社会科学では難しかったことである。時間軸上に想定される条件がそろった縦断的ビッグデータを収集することが可能になり、それにより従来把握できなかった人間の微細な行動傾向を可視化することが可能になったといえる。

謝辞 実験の実施にあたって、茨城県立並木高等学校の皆様にご協力を得ましたことに心から感謝の意を表します。また、本研究は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(A)；課題番号：14209010, 17653088；代表者はともに寺澤孝文）の助成を受けた。

参考文献

- (1) 西山めぐみ, 寺澤孝文: 偶発学習事態における未知顔の潜在記憶, 心理学研究, 83, pp.526-535(2013).
- (2) 寺澤孝文: 再認メカニズムと記憶の永続性 風間書房(1997).
- (3) 寺澤孝文: 記憶と意識—どんな経験も影響はずっと残る—森敏昭(編著) 認知心理学を語る①: おもしろ記憶のラボラトリー 北大路書房, pp.101-124(2001).
- (4) 寺澤孝文, 太田信夫; 単語の再認記憶にみられる先行経験の長期的効果, 心理学研究, 64, pp.343-350(1993).
- (5) 上田紋佳, 寺澤孝文: 聴覚刺激の偶発学習が長期インターバル後の再認実験の成績に及ぼす影響, 認知心理学研究, 6, pp.35-45(2008).
- (6) 上田紋佳, 寺澤孝文: 間接再認手続きによる言語的符号化困難な音列の潜在記憶の検出 心理学研究, 81, pp.413-419(2010).
- (7) 太田信夫: 記憶の分類 電子情報通信学会「知識ベース」S3群-2編-14章 電子情報通信学会(2010).
- (8) 寺澤孝文; 学習効果のマイクロステップ計測の基礎—自覚できない学習段階の計測と学習内容の体系化にむけて— 筑波大学心理学研究, 20, 91-98(1998).
- (9) 原 奈津子, 寺澤孝文: 4ヶ月前の刺激との接触頻度が好悪判断に与える影響, 日本心理学会第64回大会発表論文集, p.200(2000).
- (10) 原 奈津子, 寺澤孝文: 長期インターバル後にみられる単純接触効果, 日本心理学会第65回大会発表論文集, p.890(2001).
- (11) 寺澤孝文, 秋山純子, 原奈津子: 長期インターバル後にみられる単純接触効果, 日本認知科学会第18回大会発表論文集, pp.80-81(2001).
- (12) 北尾倫彦: 記憶の分散効果に関する研究の展望 心理学評論, 45, pp.164-179(2002).
- (13) Reynolds, G. S. (1975). A Primer of Operant Conditioning. England: Scott, Foresman and Company.
- (レイノルズ, G. S. 浅野俊夫(訳) (1978). オペラント心理学入門—行動分析への道—サイエンス社)
- (14) 寺澤孝文, 吉田哲也, 太田信夫(編): マイクロステップ計測法による英単語学習の個人差の測定, 風間書房(2007).
- (15) 寺澤孝文: スケジュールの作成方法及びそのプログラム並びにスケジュールの作成方法のプログラムを記憶した記憶媒体, 特許 3764456号(2006).
- (16) 寺澤孝文: イベント効果評価方法, 特許 4291790号(2006).
- (17) 寺澤孝文: スケジュールの作成方法及びスケジュール作成装置, 特許 4391474号(2009).
- (18) 寺澤孝文: 学習データの新しい蓄積・解析法—データ蓄積型C A Iおよびフリーアキュムレーション法の提案— 教育工学関連学協会連合第6回全国大会講演論文集第二分冊, pp.299-302(2000).
- (19) 寺澤孝文, 吉田哲也, 太田信夫: マイクロステップ計測法の方法論(1) 一種まき法— 日本認知心理学会第1回大会発表論文集, pp.218-219(2003).
- (20) 寺澤孝文(編): 生涯個別学習を可能にするデータ蓄積型C A Iシステム—長期学習実験と記憶理論に基づく学習効果予測モジュールの開発—, 平成11~13年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書(課題番号: 1159013, 研究代表者: 寺澤孝文) (2003).
- (21) 吉田哲也・寺澤孝文・太田信夫: マイクロステップ計測法の方法論(2)—タイミング相殺法— 日本認知心理学会第1回大会発表論文集, pp.220-221(2003).
- (22) 寺澤孝文, 吉田哲也, 太田信夫: 英単語学習における自覚できない学習段階の検出—長期に連続する日常の場へ実験法を展開する, 教育心理学研究, 56, 510-522(2008).
- (23) 寺澤孝文: 記憶と学習, 太田信夫(編) 記憶の心理学 放送大学教育振興会, pp.120-133(2008).