

ラーニングアナリティクス： フォローアップ演習 (CWT) の場合

廣瀬 英雄*

(平成28年10月24日受付)

Learning Analytics: in the Case of Collaborative Work Testing, CWT

Hideo HIROSE

(Received Oct. 24, 2016)

Abstract

Nowadays, students are to be enrolled in universities easier than before because of the shrinkage of the number of the graduate students from high schools. To accept a variety of students, universities have prepared various pre-schools before entering universities. This is called “high school / university connection”, and various teaching methods are adopted. One interesting method recently developed is to use the adaptive online testing system that uses the item response theory. We have recently established the follow-up program system (FP system) aimed at helping students who need basic learning and aimed at assisting teachers who have to engage in teaching a variety of educational students. The follow-up system consists of the learning check testing (LCT), follow-up program testing (FPT), and collaborative work testing (CWT); FPT and CWT are related to adaptive online testing system. Since the FP system was first introduced, four months have passed, and we have accumulated the large scale of testing results. In this paper, we show the results of learning analytics focused on the CWT results. From the analytics, we have found that 1) we had about 50000 access cases to CWT problem items from April to July, which means that students tried 10,000 series to testing, 2) mean of the number of times that a problem was tackled was 38, and mean of the number of times that a student tackled to problems was 46, 3) many problem items provided were rather easily solved by students; mean value of the ratios of correct answers to total answers was 0.7, 4) the dates of accessing to CWT is corresponding to the dates and the number of participants to follow-up classes; however, at the end of July, the number of access times was increased because of the final examination, 5) there are problem items that were frequently tackled and items that were not tackled.

Key Words: Learning analytics, Online testing, Follow-up program system, Collaborative work testing, Item response theory, Coefficient of correlation.

1 はじめに

今日では、推薦入試合格者に対して不足になりがちな高

校での数学の知識を補うために、高大接続の一環として入学前教育を行うことはもはや普通になってきた。この入学前教育には、大学や塾の授業に出席する方法、演習問題を

* 広島工業大学環境学部建築デザイン学科，データサイエンスリサーチセンター

自宅で行なってその結果を報告する方法などさまざまである。例えば、九州工大ではアダプティブオンライン演習方式を採用し高大接続教育を実施している。

特徴的なのは、普通のオンライン演習と異なり、問題を解いていくうちに受験生の習熟度に合った問題が出題されるようになっているので、受験生の能力を効率的に引き出せるような仕組みになっていることである。これには項目反応理論（IRT）が用いられている。自宅での演習はつらいものであるが、このオンライン演習は、アンケートの結果を見ると、受験生にとっても楽しみながら進められるようである。広島工大では、入学してきた多様な学生にも十分対応ができるように特別のケアができる仕組みを2016年度から作っている。これをフォローアッププログラム（follow-up program, FP）と言う。広島工大では、九州工大でのアダプティブオンライン演習の経験を活かして、数学科目で行なっているFPの中でのFPクラス（FPC）で取り組んでいる演習形式の個別指導法にも、このアダプティブオンラインテストを採用することとした。ここでは、学生とピアサポーターと教員とが一体となって学習できるテストについて紹介するとともに、テストの結果得られた分析結果を紹介する。

数学のFPは、授業時間でのオンラインテスト（LCT, learning check testing）、フォローアップクラス（FPC）でのCWT（collaborative work testing）、FPT（follow-up program testing）から構成されている。ここでは特に、CWTのラーニングアナリティクスについて述べることにする。

2 数学のフォローアッププログラム

図1に広島工大で取り組んでいる数学グループのFPの全体図を示す。図には、大きくLCT, CWT, FPTによって運用されていることが示されている。ここでLCT, CWT, FPTのそれぞれについて簡単に述べておく。

LCT：LCTは、当該授業の内容の理解度を確認するために授業後10分程度で行なう小テストである。全学生同一問題にオンラインで解答する。評価は項目反応理論（IRT, item response theory）によって行なう。成績が一定水準に達しない場合には授業を補う意味でFPC出席の対象となる。LCT実施後直ちにFPCメンバーが確定する。

CWT：CWTは、FPCで行なうオンライン演習のことである。アダプティブオンラインIRTシステムを用いて学生が自ら演習を行う。この際、1テーブルあたり10人程度のFP対象学生が集まっているところに1人のピアサポーターが配置されている。FPCの担当教員は全体としてはこのピアサポーターを監督しながら授業を進行させる。つまり、上級生が1年生を指導するような形態である。このため、ピアサポーター自身の成長も促すように配慮さ

れたシステムになっている。

FPT：FPTは、FPCの成果を確認するテストであり、アダプティブオンラインIRTシステムを用いている。確認の範囲は、それまでの授業のすべてに渡っている。FPTに失敗した学生は翌週もFPCを受講することになる。

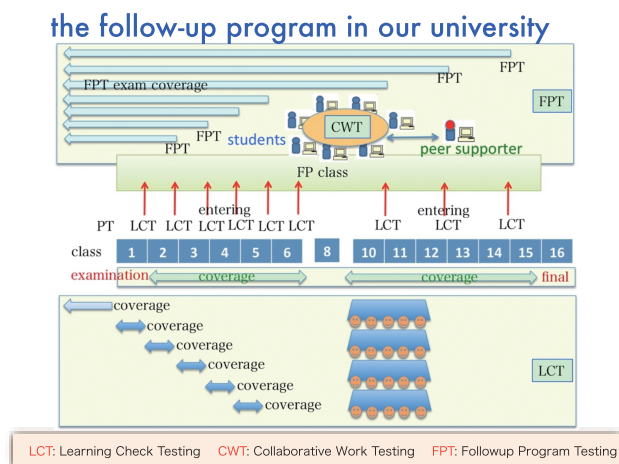


図1 フォローアッププログラムのテストシステム

図2にFPシステムをハード的に支えているシステム構成を示す。このシステムは学内のポートフォリオシステムと一体になっているので、LCT, CWT, FPTの評価結果は、学生本人のみならず、科目担当教員、学科の学生アドバイザー、学科内で割り振られたチューター教員、学生支援センターに迅速に連絡できるように連携がはかられている。

the follow-up system in our university

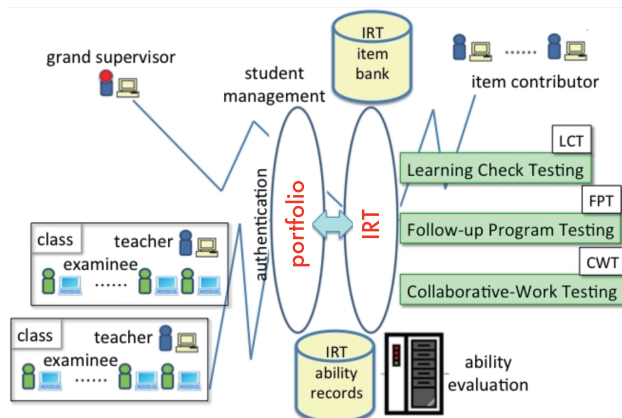


図2 フォローアッププログラムのシステム構成

3 CWTを使った演習について

CWTはFPCにおいてピアサポーターと教員の支援のもとに学生がコンピュータを用いて自ら演習問題を解いていくものである。問題は興味の対象となるセクションを選ぶことによってコンピュータから自動的に出題される。初回には標準的な問題がまず出題され、それに正答すれば

もっと難しい問題が出題され、正答できなければもっと易しい問題が出題されるようにアダプティブな出題形式をとっている。このため、問題の困難度を計算しながら出題できる項目反応理論（IRT）を用いている。問題のセットを5問としたテストを1回のテストと考えている。数学の問題の場合、記憶だけでなく推論を伴うので5問でも10分程度はかかるのが普通である。従ってあまり多くの問題を一度には出さないようにしている。2回目に受験する際には先の受験生の習熟度がコンピュータに記憶されているのでそのレベルから出題される。

5問回答すると、正解できなかった問題の解説を見て復習することができる。この際、解説を見ても理解できないような場合にピアサポーターが支援することになる。ピアサポーターでも説明が難しいようなら教員がその場に出向いて解説を行う。

ピアサポーター1人には多くても5-10人の学生がつけられるように配置している。議論が自由にできる大部屋の中でこれらのグループが一つ一つの島を作りながら動的に着席位置を決められる。ピアサポーターは1科目20人程度を想定して準備した。従って、FPCでは1科目で100-200人を対象にすることが可能であるが、通常は100人程度を想定している。

4 CWTの分析結果について

CWTではFPCのクラスメンバー（受験対象者）が毎週変わるため、LCTのように学生個別に対応する詳細なアナリティクスは難しい。そこで、2点に絞って分析を試みた。一つはアクセス回数である。ある問題にはどの程度の回数アクセスされているのか（出題されているのか）というものと、ある学生はどの程度問題を解こうとしているのかというものである。更に、これらを同時に見る、ある問題にある学生はどの程度挑戦しているのかというものである。もう一つは正答率に対する分析である。最後に参考として、アクセスした時期（日付）について述べる。

FPで登録された問題数は、LCT、FPT、CWT併せて1393問になる。受験生の数は1年生のすべてを対象にして1160人とした。CWTでは、idを与えることによって1年生に限らず受験が可能であるが、今回の分析ではそれを除外した。4月初めから7月末までのCWTへのアクセス数は53150回であった。1年生以外のアクセス数も含めるとそれは53758回であった。1回の受験で5問出題されることから、5問1セットの受験の回数はおよそ5300回ということになる。学生数は1160人なので一人当たり平均して4-5回受験していることになる。実際には全く受験していない学生も400人以上いるので、一人当たり平均して7-8回にはなると思われる。

4.1 アクセス回数

図3に、ある問題にはどの程度の回数アクセスされているのか（出題されているのか）を表したものを示す。横軸は問題のidを、縦軸はアクセス回数を表す。1度もアクセスされていない問題もあるが、ここではすべてのFP関連の登録問題を対象にしており、それにはLCTの問題も含まれており、LCT問題はCWTには出題されないのでも全くアクセスされない問題も出てくる。LCTの問題数は、1回あたり6問が6回と1回あたり10問が3回で、合計66問が除外の対象になる。問題idは連番として左から若い順になっているがidそのものにはあまり意味はない。図から、1000回以上も受験対象になった問題もあるが、通常は100回程度が多いことを示している。

同じ内容をヒストグラムにしたものが図4である。図には、最大、最小、中央値、平均値と第1、3四分位点の値も示した。20-30回あたりのアクセス回数が多く見られる。中央値は19、平均値は38である。第1四分位点の値が0なのは25%以上の問題にはアクセスされていないことを示している。

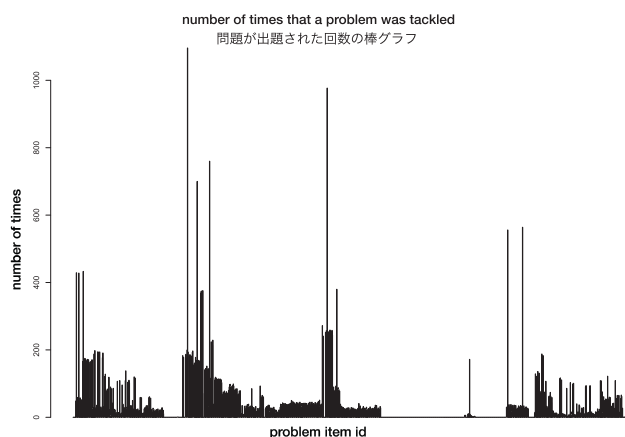


図3 問題に対して出題された回数の棒グラフ

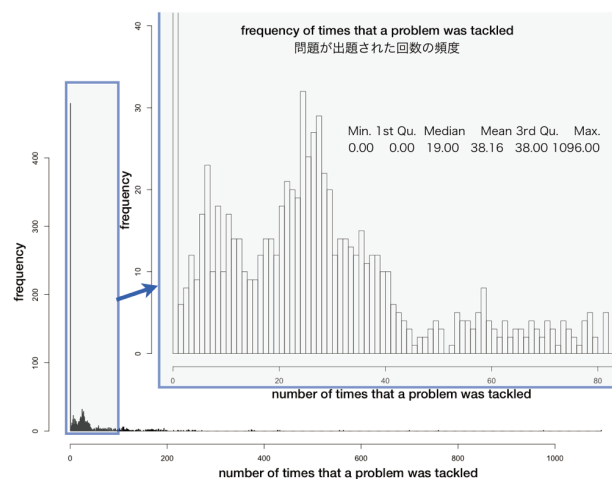


図4 問題に対して出題された回数回数の頻度

次に、ある学生はどの程度問題を解こうとしているのかということについて述べる。図5は、横軸は学生のidを、縦軸はアクセス回数を表す。多くの学生がアクセスしているように見えるが、何人かは一度もアクセスしていない。大雑把に見ると100問程度挑戦しているようである。中には800問解こうとしている学生がいる。500回以上の挑戦者も10人以上いる。

同じ内容について、ヒストグラムを見たものが図6である。40問以下の挑戦者が多いように見える。中央値は20、平均値は46である。これも、第1四分位点の値は0である。

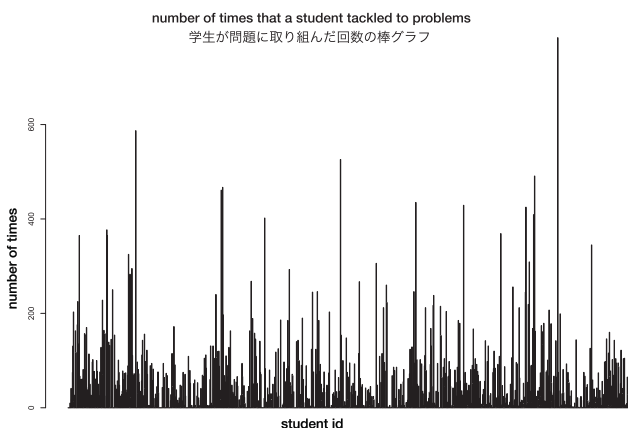


図5 学生が問題に取り組んだ回数の棒グラフ

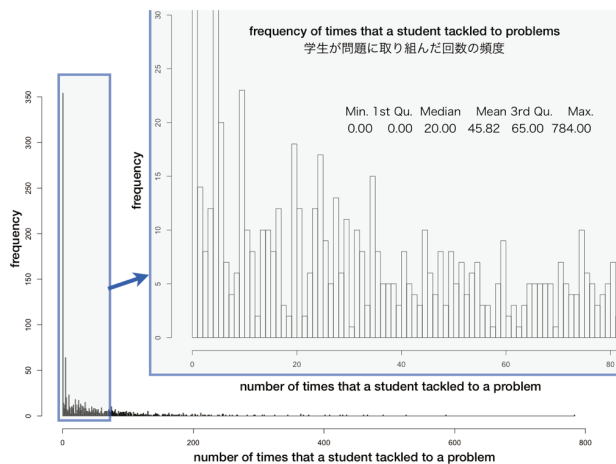


図6 学生が問題に取り組んだ回数の頻度

ある学生がある問題にどの程度アクセスしたかという統計値は上の2つの図だけでは判断できない。そこで、これを表すような user-item マトリクスにアクセス数を入れた図を描いてみた。それが図7である。図では、行に学生id、列に問題idとし、各要素には色を付けたアクセス回数を示している。図の中の右下に左上の拡大図を示し、要素毎の変化を分かりやすくした。このマトリクスは全体のおよそ1/30程度の大きさを示している。全部を表すことはできないが、アクセスの集中している問題と学生を左隅

にソーティングして置き換えてみたものを図8に示す。図8を見ると全体的なアクセスの分布の様子が把握できる。つまり、一部の問題と一部の学生に集中していることが分かる。

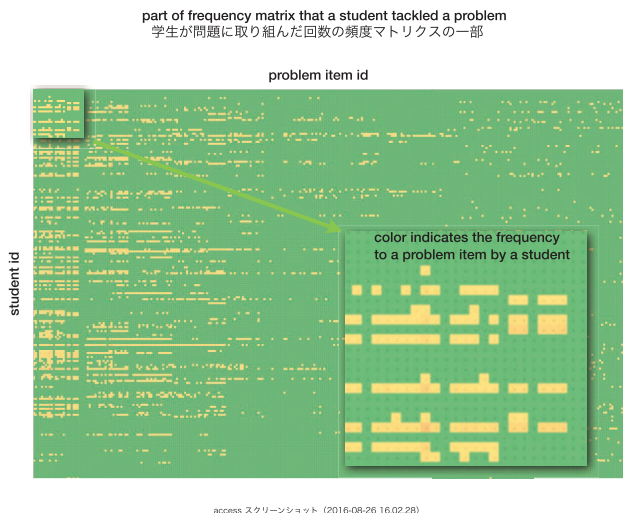


図7 学生が問題に取り組んだ回数の頻度マトリクスの一部

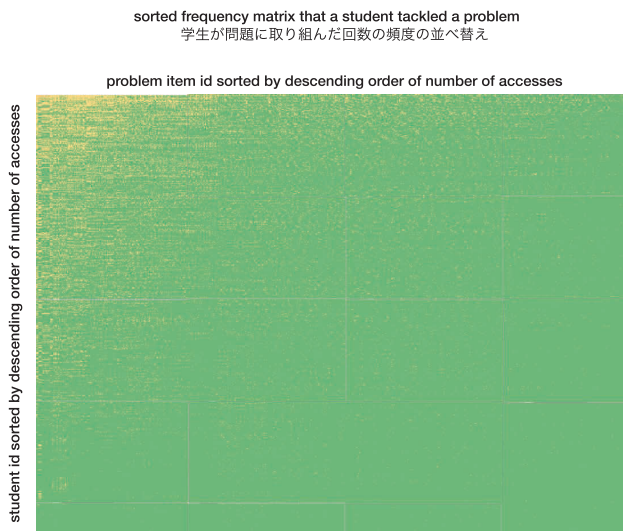


図8 学生が問題に取り組んだ回数の頻度マトリクスの一部

4.2 正答率

CWTの問題のレベルは学生に合っていたのだろうか。それに答えるのが正答率である。ある学生がある問題に挑戦すると、正答、誤答の2値の値が返される。学生は同じ問題に何回か挑戦する場合がある。CWTでは1セット5問の問題では同じ問題は出題されないが、別のセットの問題では過去に出題された問題が再度出題されることを許している。その場合、何回かチャレンジしたときの正答率の平均値をその問題への(平均)正答率として表した。

図9に、学生が問題に正答した比率の頻度分布を表す。正答率0.7付近に大きな山が見える。実際、中央値と平均

は0.7程度である。また、すべて正解した正答率の平均値場合の回数もかなり多い。分布はパラメータ $(a, \beta) = (4, 2)$ のベータ分布によく似ている。CWT への正答率はかなり良いことが分かる。適切な問題配置であったと言える。もう少し困難度を高めてもよいかもしれない。

先程と同じように、user-item マトリクスに正答率の平均値を入れた図（学生が問題に正答した比率を表すマトリクスの一部）を描いてみた。これもマトリクスが大きいため全体図を示すことができないので一部を抜き取って示すこととした。また、図の中の右下に左上の拡大図を示し、要素毎の変化を分かりやすくした。緑の部分が多いのは、特定の問題と特定の学生に集中し、全般的にまんべんなく解答されているようにはなっていない。CWT のアルゴリズムでは、困難度が適切に与えられていればこのように特定の問題に集中するようなことはないと考えられるが、まだ運用して間もないために、問題の困難度の自動チューニングが適切に働いていないためと思われる。何度もアクセスを繰り返すうちに機械学習の性格からチューニングはうまくいくものと期待される。

4.3 アクセス時期

CWT へのアクセスはどの時期に集中しているかは、FPC のクラスの日程に依存するのではないかと考えてアクセス時期を調べてみた。それを図 11 に示す。毎月4-5回ほど2日間連続で多く使われている日がある。これがFPC の開催日にあたる。4-5月には多いときで3000回のアクセス数に登っているが、6月に少なくなり、7月には更に少なくなっている。しかし、7月にはFPC の開催日とは無関係に期末試験に向けて段々多くなっているのが分かる。8月に入ると期末試験時期になっているのでぱったりと止んでいる。このアクセス数の推移はFPC 参加者の推移と呼応していると考えられる。

4.3 複数回解答による正答率の変化

図9では、同じ学生が同じ問題を複数回解いたとき、正答率は平均を用いている。つまり、正答率 = 正解数 / 解答回数、である。このため、少ない回数同じ問題を解いた場合と沢山の回数問題を解いた場合とでは比較の規準が異なっているので、図9は注意してみなければならない。例えば、何度も同じ問題に取り組んだ学生は問題に習熟して（あるいは単に解答を暗記して）正答を返す可能性が高いと考えられる。

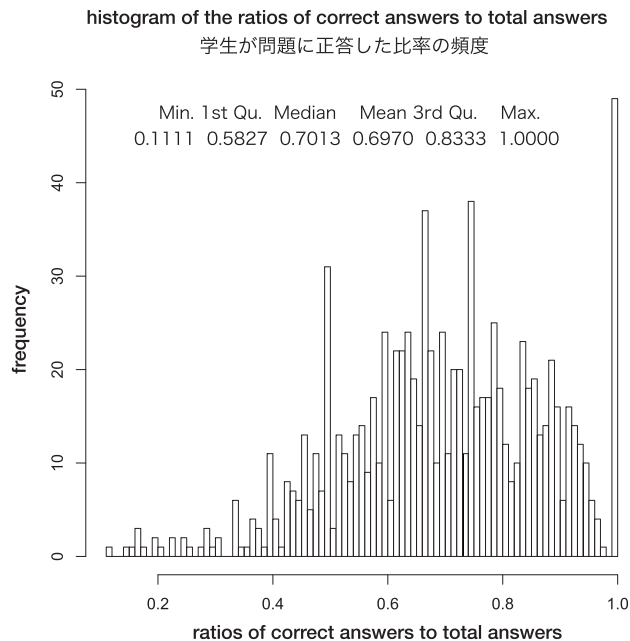


図9 学生が問題に正答した比率のヒストグラム

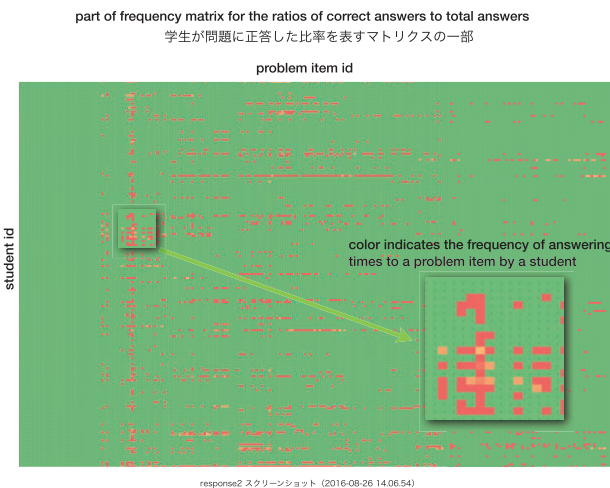


図10 学生が問題に正答した比率を表すマトリクスの一部

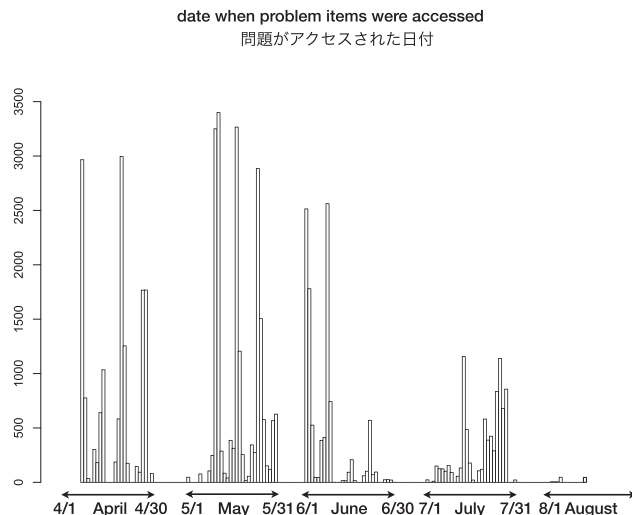


図11 CWT へのアクセス日時

そこで、ここでは、同一問題への回答数によって正答率がどのように変化していくかを見てみた。図 12 は、横軸に何回目の解答にあたるかを示し、縦軸は正答率を示す。例えば、1 回目に挑戦した場合の正答率は 0.73 程度である。この際、1 問挑戦した解答総数を調べておく必要があるため、それを図 13 に示した。1 回の回答ケースは（1 回だけ解答しただけでなく 2 回以上解答した場合の学生も含む）、約 42600 ケースある（53758 件のうち大半がこれにあたる）。このときの正答率が 0.73 であることは、全体としても同様な正答率になっていることを示している。図 9 はほぼそのまま解釈してよいものと思われる。

図 12 を見ると、同じ問題への解答を重ねるごとに正答率が上がっていき、10 回目まで 0.91 程度に上がっている。先に述べたように、この結果は習熟度が上がったのか、解答を暗記していたのかは分からない。別に調査する必要がある。

同じ学生が同じ問題に複数解答するケースは想定しているが、最大で 38 回も解答している場合がある。この他にも調べてみると、11 回以上同じ学生が同じ問題にアクセスしたケース数は 31 ケースにも昇る。同一問題のケースは 20 ケースである。かなり少ない問題にアクセスが集中している原因はまだ分からない。

5 まとめ

広島工大では、入学してきた多様な学生にも十分対応ができるように特別のケアができる仕組みを 2016 年度から作っている。これをフォローアッププログラム (follow-up program, FP) と言う。広島工大では、九州工大でのアダプティブオンライン演習の経験を活かして、数学科目で行なっている FP 中での FP クラス (FPC) で取り組んでいる演習形式の個別指導法にも、このアダプティブオンラインテストを採用することとした。ここでは、学生とピアサポーターと教員とが一体となって学習できるテストについて紹介するとともに、テストの結果得られた分析結果を紹介した。

今回、CWT 結果の分析を行うことによって分かってきたことを列挙すると：

1) 4 月初めから 7 月末までの CWT へのアクセス数は 53000 を超えた。1 回の受験で 5 問出題されることから、5 問 1 セットの受験の回数はおよそ 5300 回ということになる。学生数は 1160 人なので一人当たり平均して 4-5 回受験していることになる。全く受験していない 400 人以上いる学生を考慮すると、一人当たり平均して 7-8 回は CWT 挑戦していると思われる。

correctly answered ratio vs the number of tackled times to the same problems
同一問題への解答回数による正答率の変化

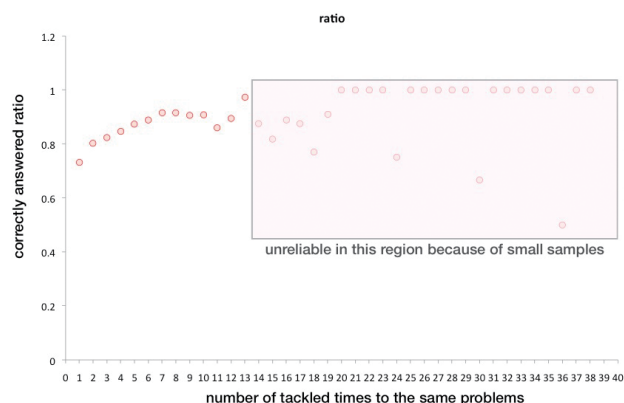


図 12 同一問題への解答回数による正答率の変化

total number of tackled times vs the number of tackled times to the same problems
同一問題解答回数に対する総解答数

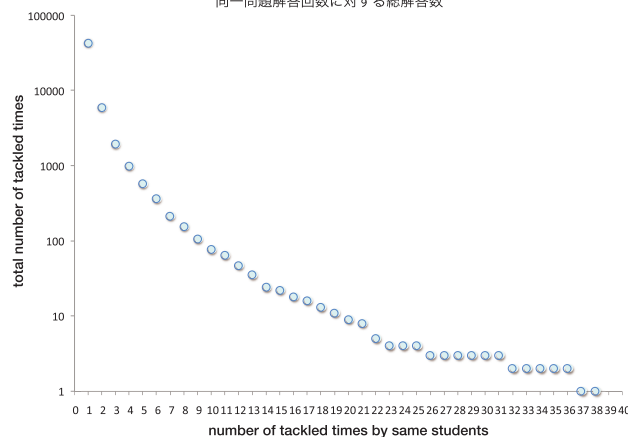


図 13 同一問題解答回数に対する解答ケース数

2) ある問題にはどの程度の回数アクセスされているのかを見た場合、20 - 30 回あたりのアクセス回数が多く見られた。中央値は 19, 平均値は 38, 第 1 四分位点の値は 0 であった。ある学生はどの程度の回数問題に挑戦しているのかを見た場合、40 問以下の挑戦者が多いように見えた。中央値は 20, 平均値は 46, 第 1 四分位点の値は 0 であった。

3) CWT の問題の正答率の平均は、中央値と平均値は 0.7 程度とかなり良い。これは CWT の問題のレベルが学生の習熟度に合致していると考えられる。もう少し問題の困難度上げてほしいかもしれない。分布はパラメータ $(\alpha, \beta) = (4, 2)$ のベータ分布によく似ていた。

4) CWT へのアクセス日程を調べると、CWT アクセス数の頻度は FPC のクラスの日程と参加率に呼応していることが分かった。4 - 5 月の多いときには 3000 回のアクセス数になるが、6 - 7 月では少なくなってきた。しかし、7 月後半には期末試験に向けて段々多くなっている。

5) 大半のケースで 1 問だけアクセスしているケースであったが、複数回同じ問題にアクセスしているケースも見

られた。その場合、回数を重ねる毎に正答率は段々上昇している。初回 0.73 程度だったものが 5 回目で 0.87 に、10 回目で 0.91 程度に上がっている。

5) 今年度は開始年度ということもあり、問題によっては全くアクセスされていないものがあったり、逆に頻繁にアクセスされている問題もあった。来年度には、今年度のアクセス記録を踏襲した困難度が自動的にチューニングされるので、すべての問題にまんべんなくアクセスされることが期待される。

文 献

- 1) Hideo Hirose, Meticulous Learning Follow-up Systems for Undergraduate Students Using the Online Item Response Theory, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2016), pp.427-432, July 10-14, 2016.
- 2) H. Hirose, M. Takatou, Y. Yamauchi, T. Taniguchi, T. Honda, F. Kubo, M. Imaoka, T. Koyama, Questions and Answers Database Construction for Adaptive Online IRT Testing Systems: Analysis Course and Linear Algebra Course, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2016), pp.433-438, July 10-14, 2016.
- 3) Y. Tokusada, H. Hirose, Evaluation of Abilities by Grouping for Small IRT Testing Systems, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2016), pp.445-449, July 10-14, 2016.
- 4) Hirose, Hideo; Aizawa, Yu, Automatically Growing Dually Adaptive Online IRT Testing System, IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering 2014 (TALE 2014), 5C_5, pp.528-533, December 8-10, 2014.
- 5) Hirose, Hideo; Tokusada, Yoshiko; Noguchi, Kazuhisa, Dually Adaptive Online IRT Testing System with Application to High-School Mathematics Testing Case, IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering 2014 (TALE 2014), 6B_1, pp.447-452, December 8-10, 2014.
- 6) Hideo Hirose and Yoshiko Tokusada, A Simulation Study to the Dually Adaptive Online IRT Testing System, IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering 2014 (TALE 2014), 8E_3, pp.97-102, 2014.
- 7) H. Hirose, T. Sakumura, Item Response Prediction for Incomplete Response Matrix Using the EM-type Item Response Theory with Application to Adaptive Online Ability Evaluation System, IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering 2012 (TALE 2012), pp.8-12, August 20-23, 2012.
- 8) T. Sakumura, T. Kuwahata and H. Hirose, An Adaptive Online Ability Evaluation System Using the Item Response Theory, Education & e-Learning (EeL2011), pp.51-54, November 7-8, 2011.
- 9) H. Hirose and T. Sakumura, An Accurate Ability Evaluation Method for Every Student with Small Problem Items Using The Item Response Theory, Proceedings of the International Conference on Computer and Advanced TEchnology in Education (CATE 2010), pp.152-158, August 23-25 2010.

