

## シミュレーションを用いた 学習カリキュラムが生徒に与える 影響の分析

早稲田大学 創造理工学研究科  
経営システム工学専攻  
高橋 空悟

### 背景 ～学習カリキュラム～

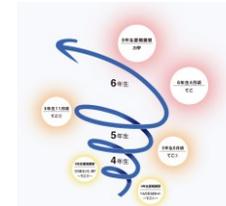
#### 集中型カリキュラム

各回で1テーマについて深掘をしていく



#### スパイラル型カリキュラム

発達や学年の段階に応じて反復学習



2

### 背景 ～学習カリキュラム～

#### スパイラル型カリキュラム

発達や学年の段階に応じて反復して学習

- 「ゆとり教育」が行われていた期間は廃止されたが、現在は学習指導要領に取り込まれている[1]
- 学習塾等のカリキュラムで採用されている
- 参考書等では集中型カリキュラムで学習内容が掲載されていることが多い

平成20年度学習指導要領  
「数と計算」[2]

学年	学習内容
第1学年	簡単な3位数の表し方 簡単な2位数の加法・減法
第2学年	簡単な3位数の加法・減法 簡単な2位数と1位数の乗法
第3学年	商が2位数になる簡単な除法
第4学年	整数の計算の能力の定着

[1]文部科学省「小学校学習指導要領(平成29年告示)」2017  
[2]文部科学省「小学校学習指導要領解説 算数編」2008

3

### 背景 ～スパイラル学習の効果～

スパイラル方式の算数・数学  
カリキュラムに関する1考察[3]

	進んだ子ども	遅れがちな子ども
スパイラルカリキュラム	能力があるのに、同じ指導内容が繰り返されるので意欲がなくなる。	繰り返し学習により、基礎・基本の徹底を回りやすくなる。
集中型カリキュラム	能力を発揮して数学的な考えを伸ばすことが出来る	一度つまずくと学び直しができず、基礎・基本が習得できない

スパイラル学習のデメリット[4]

適当な学習法だと、分からないまま・放置してしまったままのテーマに行ってしまう

放置したテーマが後に出てきた時にも分からないまま

#### スパイラル学習の効果・影響が分かっていない

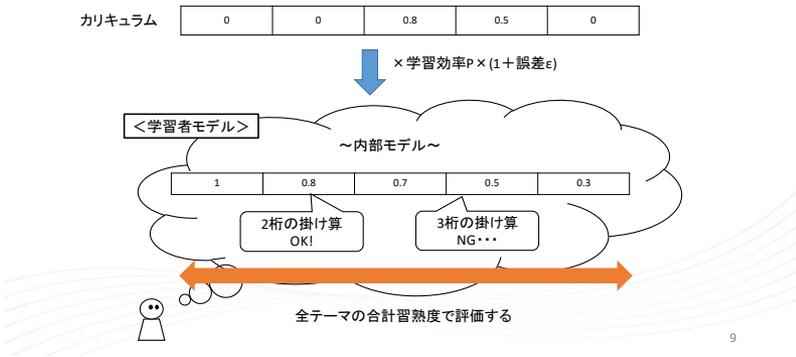
[3]黒崎東洋郎、高橋敏雄「スパイラル方式の算数・数学カリキュラムに関する一考察 分数概念形成におけるスパイラル方式の課題」岡山大学算数・数学教育学会誌「ピュリス」第18号、2011

[4]「スパイラル学習のデメリット？」なるべお金をかけない中学受験！中堅以下でも万々歳(“▽”) (2019年終了&2025予定)  
<http://shou2.hatenadiary.jp/entry/2018/04/02/150000> (2020/01/17 参照)

4



## 学習者モデル



9

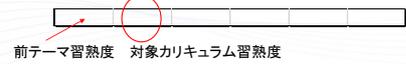
## 定式化

- カリキュラム
  - 1テーマの合計値は到達度1
- 各エージェント100人とする
  - 学習効率3種(0.1, 0.5, 1.0) × 100エージェント
- 各テーマの習熟度

図1.カリキュラム例

$$\text{対象カリキュラム} \times \text{前テーマ習熟度} \times (1 + \text{誤差}) + \text{既習熟度}$$

※一回の限界習熟度を設定



10

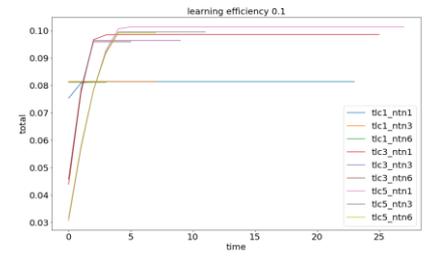
## シミュレーション結果(学習効率0.1 —最終結果—)



- 平均値を見るとtlcが多い (1テーマを繰り返し学習する) カリキュラムの学習結果が高い
- tlcが多いカリキュラムの方が生徒間のばらつきも小さい
- ntnの大きさ(新テーマ数の数)は小さいほうが学習結果が良いが影響は小さい

11

## シミュレーション結果(学習効率0.1 —時系列—)

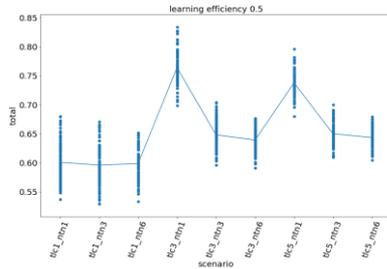


- tlcの多いカリキュラムでは初期に学ぶ量が少ない
- 繰り返し学習を行うことによって最終結果では他カリキュラムを超える

		新テーマ数	
		多	少
学習機会	多	○	◎
	少	×	×

12

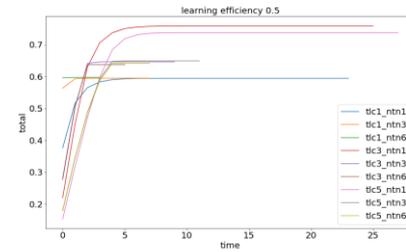
## シミュレーション結果(学習効率0.5 —最終結果—)



- ✓ tlcは3, 5, 1の順に学習結果が良い
- ✓ 生徒間の差はtlcが大きい方が少ない
- ✓ 新テーマ数は少ないほうが生徒間の差も小さく学習結果が良い
- ✓ 新テーマ数の影響が学習効率0.1の時よりも大きい

13

## シミュレーション結果(学習効率0.5 —時系列—)



- ✓ tlc3\_ntn1とtlc5\_ntn1の最終結果に対する違いは初期に学んだ量に影響されている
- ✓ tlc1\_ntn1においても学習が繰り返されることによって学習量が向上していく

		新テーマ数		
		多	中	少
学習機会	多	×	◎	○
	中	×	△	△
	少	×	△	△

14

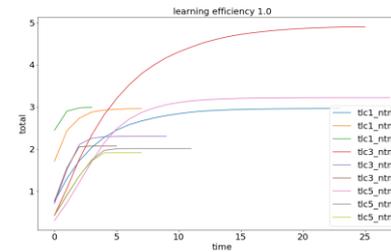
## シミュレーション結果(学習効率1 —最終結果—)



- ✓ tlc3\_ntn1が突出して学習結果が良い
- ✓ 他のカリキュラムと比べてtlcが1のカリキュラムでの学習結果が良い

15

## シミュレーション結果(学習効率1 —時系列—)



- ✓ 初期に学んだ量はtlcが低いものが高いが学習を重ねるにつれてtlc3\_1とtlc5\_1に抜かれている

		新テーマ数		
		多	中	少
学習機会	多	○	×	×
	中	◎	×	×
	少	○	○	○

16

## シミュレーション結果(学習効率1-テーマ別一)

<各シナリオで最終結果が平均値に近いエージェントの学習状況>

tlc1\_ntn1 (ID: 287)

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.80	0.00	0.00
1	0.80	0.56	0.00
2	0.80	0.56	0.42
3	0.80	0.56	0.42
4	0.80	0.56	0.42
5	0.80	0.56	0.42
6	0.80	0.56	0.42
7	0.80	0.56	0.42
8	0.80	0.56	0.42
9	0.80	0.56	0.42
10	0.80	0.56	0.42
11	0.80	0.56	0.42

tlc3\_ntn1 (ID: 207)

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.42	0.00	0.00
1	0.75	0.33	0.00
2	0.90	0.60	0.29
3	0.90	0.75	0.51
4	0.90	0.75	0.63
5	0.90	0.75	0.63
6	0.90	0.75	0.63
7	0.90	0.75	0.63
8	0.90	0.75	0.63
9	0.90	0.75	0.63
10	0.90	0.75	0.63
11	0.90	0.75	0.63

tlc5\_ntn1 (ID: 270)

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.31	0.00	0.00
1	0.56	0.17	0.00
2	0.76	0.36	0.10
3	0.88	0.50	0.23
4	0.95	0.63	0.35
5	0.95	0.69	0.44
6	0.95	0.69	0.48
7	0.95	0.69	0.48
8	0.95	0.69	0.48
9	0.95	0.69	0.48
10	0.95	0.69	0.48
11	0.95	0.69	0.48

## シミュレーション結果(学習効率1-テーマ別一)

<各シナリオで最終結果が平均値に近いエージェントの学習状況>

tlc1\_ntn1 (ID: 287)

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.80	0.00	0.00
1	0.80	0.56	0.00
2	0.80	0.56	0.42
3	0.80	0.56	0.42
4	0.80	0.56	0.42
5	0.80	0.56	0.42
6	0.80	0.56	0.42
7	0.80	0.56	0.42
8	0.80	0.56	0.42
9	0.80	0.56	0.42
10	0.80	0.56	0.42
11	0.80	0.56	0.42

前テーマに影響を受けないテーマ1について

学習終了後:  $tlc5 > tlc3 > tlc1$

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.80	0.00	0.00
1	0.75	0.33	0.00
2	0.90	0.60	0.29
3	0.90	0.75	0.51
4	0.90	0.75	0.63
5	0.90	0.75	0.63
6	0.90	0.75	0.63
7	0.90	0.75	0.63
8	0.90	0.75	0.63
9	0.90	0.75	0.63
10	0.90	0.75	0.63
11	0.90	0.75	0.63

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.31	0.00	0.00
1	0.56	0.17	0.00
2	0.76	0.36	0.10
3	0.88	0.50	0.23
4	0.95	0.63	0.35
5	0.95	0.69	0.44
6	0.95	0.69	0.48
7	0.95	0.69	0.48
8	0.95	0.69	0.48
9	0.95	0.69	0.48
10	0.95	0.69	0.48
11	0.95	0.69	0.48

## シミュレーション結果(学習効率1-テーマ別一)

<各シナリオで最終結果が平均値に近いエージェントの学習状況>

tlc1\_ntn1 (ID: 287)

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.80	0.00	0.00
1	0.80	0.56	0.00
2	0.80	0.56	0.42
3	0.80	0.56	0.42
4	0.80	0.56	0.42
5	0.80	0.56	0.42
6	0.80	0.56	0.42
7	0.80	0.56	0.42
8	0.80	0.56	0.42
9	0.80	0.56	0.42
10	0.80	0.56	0.42
11	0.80	0.56	0.42

前テーマからの影響を受けるテーマ2以降

学習終了後:  $tlc3 > tlc5 > tlc1$

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.42	0.00	0.00
1	0.75	0.33	0.00
2	0.90	0.60	0.29
3	0.90	0.75	0.51
4	0.90	0.75	0.63
5	0.90	0.75	0.63
6	0.90	0.75	0.63
7	0.90	0.75	0.63
8	0.90	0.75	0.63
9	0.90	0.75	0.63
10	0.90	0.75	0.63
11	0.90	0.75	0.63

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.31	0.00	0.00
1	0.56	0.17	0.00
2	0.76	0.36	0.10
3	0.88	0.50	0.23
4	0.95	0.63	0.35
5	0.95	0.69	0.44
6	0.95	0.69	0.48
7	0.95	0.69	0.48
8	0.95	0.69	0.48
9	0.95	0.69	0.48
10	0.95	0.69	0.48
11	0.95	0.69	0.48

## シミュレーション結果(学習効率1-テーマ別一)

<各シナリオで最終結果が平均値に近いエージェントの学習状況>

tlc1\_ntn1 (ID: 287)

時刻	テーマ1	テーマ2	テーマ3
0	0.80	0.00	0.00
1	0.80	0.56	0.00
2	0.80	0.56	0.42
3	0.80	0.56	0.42
4	0.80	0.56	0.42
5	0.80	0.56	0.42
6	0.80	0.56	0.42
7	0.80	0.56	0.42
8	0.80	0.56	0.42
9	0.80	0.56	0.42
10	0.80	0.56	0.42
11	0.80	0.56	0.42

初回学習量が大きい

初回学習量が小さい

定着前に次のテーマに進むことで  
学習量が小さくなっている

## 考察と今後の課題

### ➤ 結果

- 遅れている子はスパイラル学習、進んでいる子は集中型学習によって最終的な学習結果は高くなる
- 学習機会は多い方が高い学習成果を得られるもの  
新テーマ数は少ない方が高い学習成果を得られる
- 前提知識となるテーマの学習が定着していないまま次のテーマの学習に進むと学習成果が低くなる  
→適切な学習機会・新テーマ数の設定が必要

### ➤ 今後の課題

- 実際のカリキュラムは学習の回数が固定されていると考えられるため学習回数を固定したカリキュラムでシミュレーションを行う
- 忘却を考慮した学習者モデルの構築

21

## 参考文献

[1]文部科学省「小学校学習指導要領(平成29年告示)」2017

[2]文部科学省「小学校学習指導要領解説 算数編」2008

[3]なるべくお金をかけない中学受験(サビ通塾は1年半！)「スパイラル学習のデメリット!?」2018年4月2日、<http://shou2.hatenadiary.jp/entry/2018/04/02/150000>、最終アクセス日2019/5/28

[4]黒崎東洋郎、高橋敏雄「スパイラル方式の算数・数学教育カリキュラムに関する一考察分數放念形成におけるスパイラル方式の課題」岡山大学算数・数学教育学会誌、パピルス第18号、77頁～85頁、2011

22

## 補足資料

- 学習について

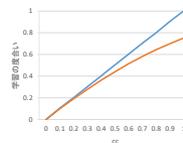
cc: 対象カリキュラム  
lbt: 前テーマ習熟度  
lct: 対象テーマ既習熟度  
g: 学習効率  
ε: 誤差

$$lct = \frac{c - c^2}{4} \times lbt \times g \times (1 + \varepsilon) + lct$$

### <限界習熟量>

$-1/2x+1$ を積分(1から0の範囲)  
 $= -1/4x^2+x$

これを対象カリキュラムの達成度に適用



23

## 補足資料 最終結果(学習効率0.1)

scenario	min	max	sum	mean	median	std
tlc1_ntn1	0.07063606561	0.09040019067	8.128814499	0.08128814499	0.08137254724	0.004125091072
tlc1_ntn3	0.07220236179	0.09103836698	8.151727765	0.08151727765	0.08145242877	0.004176780541
tlc1_ntn6	0.0716599665	0.09104140643	8.12026925	0.0812026925	0.08124161246	0.00435619838
tlc3_ntn1	0.09023333761	0.1081019558	9.840230388	0.09840230388	0.09859297067	0.003068332071
tlc3_ntn3	0.08993683095	0.1025222368	9.633310156	0.09633310156	0.0963693109	0.002996887048
tlc3_ntn6	0.08747082481	0.1046055949	9.607456909	0.09607456909	0.0959452045	0.003101123748
tlc5_ntn1	0.09563896594	0.1077796943	10.13873356	0.1013873356	0.1014085805	0.002540599786
tlc5_ntn3	0.09301808373	0.1043372282	9.965393193	0.09965393193	0.09950664442	0.002513777123
tlc5_ntn6	0.09212121754	0.1063176826	9.938956641	0.09938956641	0.09919559522	0.002402424936

24

## 補足資料 最終結果(学習効率0.5)

scenario	min	max	sum	mean	median	std
tlc1_ntn1	0.5369815313	0.6799702801	60.09245998	0.6009245998	0.5943252608	0.03449081882
tlc1_ntn3	0.5292608795	0.6706606802	59.63315531	0.5963315531	0.5945887225	0.03276814297
tlc1_ntn6	0.5333622617	0.6520328791	59.87960062	0.5987960062	0.5970203327	0.02676407818
tlc3_ntn1	0.6989937736	0.8336130793	76.4199613	0.764199613	0.7585921535	0.02715748814
tlc3_ntn3	0.5961757259	0.7044804262	64.8281791	0.648281791	0.6459220501	0.0245309708
tlc3_ntn6	0.5913127277	0.67688042	63.93850019	0.6393850019	0.6370959264	0.01941314515
tlc5_ntn1	0.6802447409	0.7957920518	73.79146635	0.7379146635	0.7378193719	0.02103718527
tlc5_ntn3	0.609613817	0.6998077126	65.01297187	0.6501297187	0.6487942025	0.0198475383
tlc5_ntn6	0.6045508953	0.6797083954	64.35937239	0.6435937239	0.6409633466	0.01549498975

25

## 補足資料 最終結果(学習効率1.0)

scenario	min	max	sum	mean	median	std
tlc1_ntn1	2.513634965	3.533197451	297.2794982	2.972794982	2.962998626	0.2113252588
tlc1_ntn3	2.555411391	3.588968754	295.6215357	2.956215357	2.959361265	0.2006442834
tlc1_ntn6	2.563172831	3.484410368	297.9333147	2.979333147	2.991642815	0.2071523334
tlc3_ntn1	4.113020836	5.605811332	489.6659391	4.896659391	4.901324724	0.2557736089
tlc3_ntn3	2.081116737	2.533160077	231.0038617	2.310038617	2.301389375	0.08366715574
tlc3_ntn6	1.852192548	2.25295072	206.7847542	2.067847542	2.070993628	0.07958115158
tlc5_ntn1	2.932515862	3.480366589	322.729193	3.22729193	3.222386739	0.1071712209
tlc5_ntn3	1.849105172	2.159169552	201.8283347	2.018283347	2.011956947	0.05437915979
tlc5_ntn6	1.742257738	2.042665492	191.2277339	1.912277339	1.912036861	0.05940614897

26