改訂“共生・共創”の数理リテラシー教育と探究学習・考２

～　誰もが挑め・格差感を拭え・達成感を伴う学びを　～

山岸　昭則

はじめに 思いがけない<探究>という形態の学びを強いられている教師と生徒へのエールを込めて短い例示をした前稿は如何でしたでしょうか。

私がホームページに up して間もなく、「新稿の位置付けは？」との問いかけに複数の AI が生成 AI で応じていたので、文末脚注に Gemini の方を紹介しておいた[1]。

自然界の（波紋の消滅や熱湯が常温になる）「平衡状態へのプロセス」を格子ボードゲームに抽象・モデル化し、それで自然・社会諸事象を再現・拡張する数理リテラシー教育を実践する研究過程の一端をご覧頂きました。この中には、もちろん（高校生・大学生を含む）青少年の数理リテラシーを活かした探究学習を展望した私(教師)の探究活動の姿も視えるようにしておいた。

私が自分の教育活動の根底に据えている核心は、「自分の人生の主導権を他人に握らせない青少年の自立を育む」ことにおいてきたが、そのために数理教育が最も顕著な “教え＝学び”のあり様を示していた。そこでは生徒たちの思考結果の当否の最終判断は、教師と教科書や参考書の正答欄、時には実験再生にあると、毎日毎時間、これでもかこれでもかというほどに彼らの権利の生育を阻んでいた。この傾向は語学教育でも似たり寄ったりだと見ていた（『今ない不確実･･･』パート２参照)。

この傾向に終止符を打つ“教え＝学び”を研究実践することが必要と考え、主テーマの「共生・共創の数理リテラシー教育の創造」に欠かせないと考え実践してきたのが次の 3 点を具体化することと心がけてきた。副題をもう少し言い換えると、全ての“教え＝学び”の場面において (1)誰もが取り組め自らの頭で考えられる　(2) それまでの学習格差をなくす教材開発　(3)学び手皆んなに達成感を伴わす、飛躍を少しでも入れることであった。それを今回の副題とした。

１．“共生・共創”の数理リテラシーとは

“共生・共創”の数理リテラシー教育の代表の“誰もが取り組め自らの頭で考えられる“教え＝学び”の実現、実はなかなか難しい。なぜなら、いわゆるできない子向けの教材づくりをすれば解決するわけでなく、“できる・できない”の基準に誤解があり、どちらの子とも共に学べる教材づくりを開発できることが大前提で、そこでは生徒に授業への積極的参加を促しやすい共に学ぶ意欲を掻き立てる教材の創造が伴わなければ意味がない。また、そこでは習熟度別クラス編成とか文理コース別クラス分けなど不要な混合クラスが前提であるから。

多くの生成 AI で良問とされる次の問題を後で使うので引用しておこう。

数楽１）同符号２数が綾なす不思議?!

皆さん！携帯電話を取り出し電卓を使える用意をし符号が同じ２（実）数を思い浮かべ（周りの人と違う２数が望ましい)、つぎの手順で作業して下さい。

step１）思い浮かべた２数、例えば、3,6 ならば和９を作ると数の列（数列）３，６，９ ができる。

step２）数列の後ろの２数６，９の和 15 を追加する。以下同様につぎつぎに後ろの２数を加えて 10 個ほど数列をつくる。

step３）できた数列で、比（次の数/前の数）をつくる。

６/３，９/６，15/９，24/15,・・・

step４）電卓で各比を小数に直した時、どんな値に近づいていくように見えるか？

その 推移をグラフに描いてみよ。

step５）最初に思い浮かべた２数と最後の小数値を全員板書してもらうと、不思議が一目瞭然!?

全員の２数が違うのに、小数値は全員同じなのだ。

学生たち曰く「数列を習っていなくても計算そのものは小学生でも簡単にできる。また極限を知らなくても、小学生から大人まで数学の不思議さ、面白さを知ることができて、これは面白いと思った。」

「先生から２数を指定されたのでなく、各自好きな数字を選べるとなると、思わず参加したくなる。」

前稿で予告し、あとから展開する「面積増減の不思議?!」も同様な教材です。この２問の結論を知った学生たちは辛辣な教師批判をする。そんな事態に遭遇した教師の中には「教科書にない」問題だと嘯く者もいるだろうが、反論は逃げ口上で当たらず、それはむしろ必然的に教科書並びに検定制、更には日本型教育システムと衝突せざるを得ないことになる。なぜなら、

多くの不登校者ならびに脱落者を出し日本型教育システムの崩壊すら語られつつある現代、教師の責任も不問には付されないのだからである（関連後述）。

数楽 2】それまでの学習格差をなくし、同じスタート台から学びを開始できる

数学のハンディと言えば、誰もが思い浮かぶのは人をその前で立ちすくませる文字・式・その計算、つまり“代数”といっても差し支えないでしょう。

そこで、私の数学教育の研究・実践のうち

ベキタイル（英語名 AlgebraTiles）

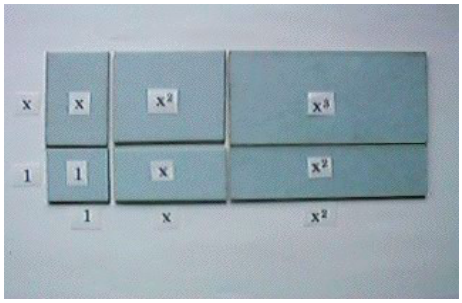
と命名した高次多項式の代数を素材に、私の

“共生・共創”の数理リテラシー教育

模索のお勧めをしたい。

今やネットサーフィンすると国の内外で利用されるなか、小学３、４年生の子が中・高校の因数分解を解いてしまったという報告もある。

しかし、後で話題にするが教科書をはじめ間違った利用の仕方もある。



1973 年に私が発表した「ベキタイルの代数」他を読むにあたっては、表裏色違いで少し腰のある紙で作って実物操作を交えつつ読み進めて下さい。

１）ベキタイルの代数の生い立ち [1]

ここでは代数のはじまりと言われる中学校「正負の数」の導入を水槽内水量の増減をモデルにキャンセル（相殺）タイル・ベキタイル・面積図をモデルに下の系統図で

多元（高次）式とその計算

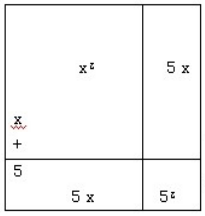
を展開した「ベキタイルの代数」の私（教師）の探究活動をテキスト化したものであるが、編成原理は発達観偏重のスパイラル方式を採用せず

「運動的表象ー映像的表象ー記号的表象」

（簡単に

「手でーイメージでー数・文字・式で」

と構成するブルーナー流構成主義的スパイラル方式です。

		記号代数
言語代数	符号を用いずすべて言葉で表現（根の）平方と 10 倍の根は 39に等しい。すなわち，平方に 10 倍の根を加え，39 になるような根は何か？	左を記号代数で書くと $x^2+10x=39$
東方アラビアの幾何学的解法	これを東方アラビアの代数では幾何学的図形を用いて解法と証明を行っている。 x ＋ 5  $=39+5^2$ 2次方程式は正方形を完成させることで解ける （解は正数のみ） これを記号代数的に解くと $(x+5)^2=64$，$x+5=8$，$x=8-5$，$x=3$	
略号代数	16 census et 2000 aequalis 680 rebus ドイツ中世のレギオモンタヌスの例	左を記号代数で書くと $16x^2+2000=680x$

この系統発生的な認識史における決定的な分水嶺は、

即物的な加減中心の記録から（筆）算用数字への道には、乗除のアルゴリズムの発明と、その筆算の持つ「発明と証明」の溝を埋めたこと。

さらに歴史は、それを一般化させた方程式の未知数、文字代数の文字計算、式計算によるアルゴリズムへの拡張と計算の組織（公式）化へと進んだ。

２）教材を手でつくり・学ぶスタイルに創りかえる [2]

脚注２の文献（url クリック）参照。

この１）、2)の史実を一瞥できるようにしたのが上図ですが、記数法（ターリマーク・ローマ数字・アラビア数字の歴史は省略）と並行して発達した、言語代数・略語代数・アラビア代数（図的解法）を経て記号代数に至る代数の歴史におけるアラビアの幾何学的解法が筆算における「発見と証明」の溝を埋めたのと同じく重要な役割を果たしている（負の解なしに注意）

こうして作ったベキタイルとキャンセルタイルは学び手にどう受け入れられたか。

暗記や公式当て嵌めに弱い傾向のいわゆる“できない”といわれてきた子たち、「感激だ！計算は何でも解けるようになってしかも楽しい」、また見知らぬ他

整式の加減乗除→除法定理→組立除法→ベキ展→関数 ―――――― 方程式
　　↘剰余定理→因数定理→因数分解

[1] https://ws-idea.arttec-t.com/TilesWorld/AlgebraTiles.pdf

[2] https://ws-idea.artec-t.com/nihontech9.pdf

郷の教師の実践でも、「中学生までわからないまま進み、数学というものが嫌いだった。だが、高校に入ってベキタイルを使いはじめてから数学が分かりはじめ数学が楽しくなった。これを中学校からすれば数学嫌いも少なくなるのでは」(当時の日教組全国教研報告・宮崎高)、私が発表当時の公開授業に参加した高校教師は、「大変楽しく面白かった。ふと教師に戻って、これらを具体的に何時間で実施するか、ということが気になった。しかし、時間よりも楽しくやっている自分の教室の生徒を思い浮かべるとこちらも楽しくなる」と感想文を残していた。

一方、校内外の試験もクリアしてきた暗記や公式

当て嵌めに長けたいわゆる“できる”とされてきた子たち（大学生含む)。彼らの多くは、計算はできるがどのような具体的状況にどのような演算を必要とするかの判断ができるとは限らない。つまり行われる演算の目的〜何のためにこのように計算しなければならないか〜や、公式の由来〜なぜこのように計算しなければならないか〜に弱い。ベキタイルをはじめ前回の格子・ボード他の各モデルによる抽象形式の数・文字・式と計算法・計算の組織（公式）化による視覚化（今流に言えば“視える化”）と操作性によって、「神話化されていた数学を人間化した」、「数学を征服した実感」、「数学がどこまでも現実に即しているものであることが今更ながら大きな衝撃」等々「私の数学だと思う」、「驚嘆と感動で嬉しくなる」という想いを各地の塾・中学・高校・大学から報告され、教科書内容量は 1980 年代と比べ量は多くなり、インターネット閲覧を世界まで広げるとオンライン空間を巧みに利用したツールを開発・併用した商用や教師教育用の“AlgebraTiles”のサイトを閲覧できる。

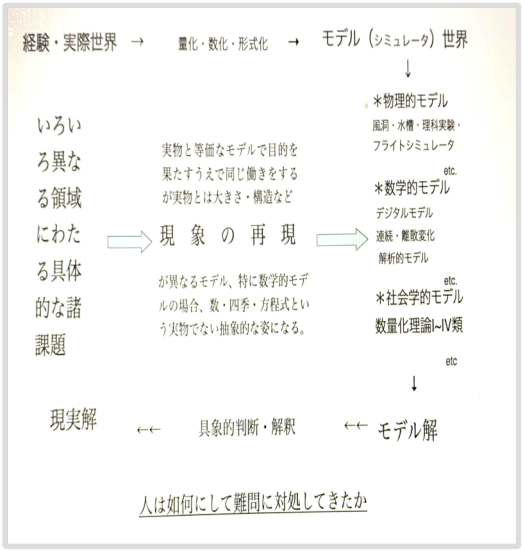
ところがである、この日本の採択・使用されている現行の中学教科書を調べたところ、私の開発直近の1980 年代にそうであったようにキャンセルタイル無く、高次タイルは２次止まり。つまり、ほぼ半世紀弱変わっていないのである。この問題は、
現代の科学において“ベキタイルと複雑性科学”[ii]との親和性や関連性が模索されている現在（文末脚注iiの生成 AI 参照)、前頁下の系統図に加えて非線型代数全般並びに“べき乗則”複雑系科学と親和性あるベキタイルを活かす教育をこそ展開すべき時にキャンセルタイルも高次タイルも活かしきれない教科書編者（社）と検定は怠慢も甚だしいと断言したい。

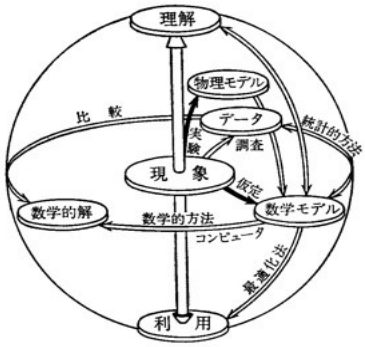
最も罪作りなのは、それがカリキュラムにないなら、青少年たちが発達させられることはないだろうから。加えて、半世紀近く古色蒼然としたベキタイル利用の教科書編者（社）と検定制が<探究>活動や<探究>心も失せながらも、教師や生徒に<探究>や<数理探究>を強いることに罪悪感は覚えないのであろうか。

ここに、キャンセルタイルも２次以上のタイルも使った実践を行った記録がある。まず、中学生の声、

“私ら、小学３年生とちがうんだぞ”「工作用紙をきって」という先生を恨んだ。もんくを言いながらもタイルはできて「$2x^2-4x-3-(2x+5)$=?をやりなさい」と言われ、「こんなもん頭の中で…」と、しかし答はみごとに違い、タイルを見直したものだった。今までわからない問題はやめておくか隣に聞いたりしていたが、タイルさえあれば、答えは出てくる。答よりもっと大切なこと、基本･何故こうなるのかということがよくわかった。これまでは式の「かたち」だけしかわからなかったがよくわかった。これを利用し、応用問題にすすめば、より力を確かにできるのではないだろうか。このようにタイルはかたちだけだった私に計算の理由をプラスしてくれる結果となった。(引用ママ)

この実践を行った教師は、私の実践にない“直積表”という手法を編み出し、生徒の文字・式計算を容易にさせている[1]。





現象の理解と利用

(近藤次郎「数学モデル 現象の数式化」丸善 1976)

上図は『今ない不確実‥』パート２でも案内していた、「人はいかにして難問に対処してきたか」を簡略化して主に数理学者たちの探究過程をダイアグラム化したもの。ベキタイルをはじめとする教育モデルの一つひとつが、時には物理的モデルであったり、数学的モデルであったり、社会学的モデルであったりしその分析・総合・発想（アブダクション）の認識を経てモデル解を得ながら、具象的判断解釈によって、経験・実際世界の課題の数理的解を得るというフローチャートである。

[1] 小島和美『私をかえたベキタイル』(2013 雑誌「数学教室」掲載)
https://ws-idea.artec-t.com/Tiles%20World/kojimakazumi.pdf

上図は平面だが、分野によっては下図のように３次元的な思考が必要な場合もあり思考のスタイルは本来柔軟なもの、『今ない不確実‥』パート２において「紙に空けた１円玉大の孔に、五百円を通す」というマジックのような挑戦（これも誰もが取り組め自らの頭で考え・取組み、それまでのハンディキャップを感じさせない）教材であった。

2005 年の文科省教員員研修会において「PISA を超えて」と謳い平面ダイアグラムを指導し、思考スタイルまでをも型に嵌めようとする教員研修は如何なものかと感じた。

これらの事例を見る煮付け、法的拘束性を持たす指導要領や教科書検定制度は教育にとって、もはや桎梏の何ものでもなく大きく変えるべきである。

変える方向は、『世界は数理でできている』[1]という PISA 調査を開始するにあたり参考にした米国数理科学教育委員会発表の資料集(パターン、次元、量、不確実性、形、変化の６章）で、各章は 21 世紀の数学カリキュラムへの創造的アプローチに適切であるカリキュラムは、必ず数理科学の大きな広がりと多様な構成要素を含む編纂を各州各自治体、時には各教師でと謳い、資料集をだしていた。

日本は法的拘束性で縛って各地方・学校には編纂権なく教師の自主編集に委ねるしかなく、こうして開発した様々な教材・手法の普及を図った一つがベキタイルであった。

数楽３】少しの飛躍を入れると学び手皆なに達成感を伴わすことができる

この標題は、数学内容の差異や得手不得手に拘らず、ベキタイルはその真新しさそのものが飛躍であり、最後の中学生の発言に代表される演算の目的と公式の由来についての語りから“達成感”を伴っているのもわかる

次の数楽４】と数楽１】共々、数学における「証明」の必要が自分たちの行為の一般化を目指すところから生まれることを教える。

数楽４】面積増減の不思議!? 2

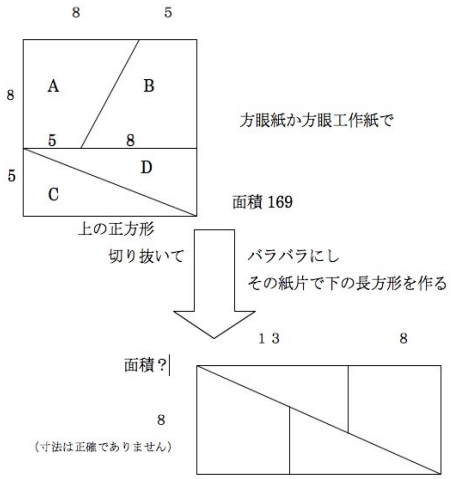
小学校の面積の学び以来、「正方形を裁ち合わせて長方形に作り直しても面積は変わらない」というのが常識としてある。

ところが右上図のように、１辺の長さ 13 の正方形を 8、５に切り分け、立ち合わせて長方形を作った時、面積が１増えているのだ。

同じように、１辺の長さが８の正方形を３，５に、また、１辺の長さが 21 の正方形を 8,13 に切り分け、裁ち合わせて長方形を作り、正方形と長方形の面積計算を求め比べると

正方形の面積	長方形の面積	面積の増減
８×８＝ 64	５×13＝ 65	＋１
13×13＝ 169	８×21＝ 168	－１
21×21＝ 441	13×13＝ 442	＋１
34×34＝1156	21×55＝1155	－１

やはり面積の増減が起こり常識に反するのだろうか？　また、この面積増減が「１」という不思議が、果たして一般的に成り立つのだろうか？



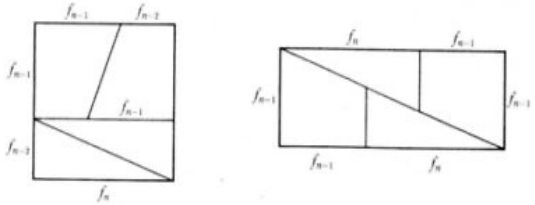
この後もズ～と「１」の面積が増減するのだ、しかも、＋１と－１が交互に起こっているようだ。こんなこと「なぜ起こる？」、「ピッタリになる切り方は？」と次々に疑問が増す。　こうして、各人の手元で起こっていることを「解決」するということを考え、改めて次の上の下図（人はいかにして難問に対処してきたか」の PISA「数学化プロセス」の FreeMIND 図。

略解で「なぜだ!?」と誰しもに思わせることに成功したとしても、それは「数学化プロセス」におけるスタート台（上図①）に立ったに過ぎない。

この「面積増減の不思議」を解き明かすプロセス②～⑥を辿ろう。まず、「課題の本質」を図式で表すため、正方形の辺の長さの数列を並べると

３，５，８，13，21，34 ・・・f_n・・

この数列の一般項 f_n は次図左のように、$f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$ を満たしていることが図示と照合させ理解させ



f_{n-1} と f_{n-2} の和 f_n を一辺とする正方形を f_{n-1} と

[1] スティーン『世界は数理で出来ている』1990 丸善

f_{n-2}で切り分け、上図右の長方形に裁ち合わせるとどんな場合について増減「１」が成り立つのかという教科書にあるシンプソンの恒等式の証明問題を考えることなる。

正方形の面積（２辺の積）$f_n{}^2$である。
長方形の面積は　底辺✖高さ　より

$(f_n+ f_{n-1})\cdot f_{n-1}$

これは$f_{n+1}\cdot f_{n-1}$と変形できる。よって（$f_n+ f_{n-1})\cdot f_{n-1}=f_{n+1}\cdot f_{n-1}$

こうして、n≧2 の時、この面積の差が「1」しかないということは次の恒等式が成立するかどうかを調べればいいことになる。

n≧2 について $f_{n+1}\cdot f_{n-1}- f_n{}^2=(-1)^n$ が成立する。

この式は シンプソン（Simpson）の恒等式といわれている。

③ではこのシンプソンの恒等式を証明する。

n に関する数学的帰納法によって次のように証明できる。

１）　n=2 の場合には、$f_3\cdot f_1- f_2{}^2=2\cdot 1- 1^2=1=(-1)^2$

２）　次に、2 より大きいある n について、この式が正しいと仮定するとき、 n+1 について、

$fn+2\cdot fn- fn+12=(f\ n+1+\ fn)\cdot fn- fn+12$

$=fn+1\cdot(fn- f\ n+1)+ fn2 =fn+1\cdot(fn- f\ n+1)+fn+1\cdot fn-1-(-1)n$

$=fn+1\cdot(fn+fn-1- f\ n+1)+(-1)n+1$

$=(-1)\ n+1$　　（証了）

以上によりシンプソンの恒等式は証明され、必ず「１」の増減が生じると言える。

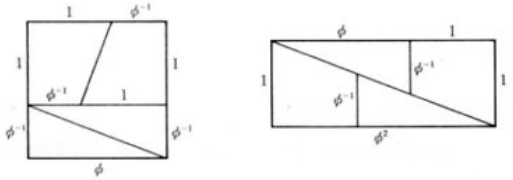
④しかし、これは面積増減の不思議が一般的に成り立つと言えただけであって、図形増減の不思議の数学的種明かしをしたことにはなっていない。

そこで図形増減の不思議を考えることに移る。

面積増減の不思議は，　長方形が、実は長方形になっていないことにある。実際、対角線にそった部分はピッタリとは合っていないのである。そこでは、単位面積分だけ、n によって、ちょっと重なり合っていたりごく細い隙間が開いていたりする。

これは対角線に相当する直線の勾配を計算してみると分かる、

f_{n-3}/f_{n-1}　　(3/8=0.375)



f_{n-2}/f_n（5/13=0.385）および

f_{n-1}/f_{n+1}（8/21=0.381）となっている。これらの値は、とくにｎが大きければほとんど違いがないので、ズレはちょっと見ただけでは見破れない。

⑤「面積増減の不思議」の「数学解」はステップ④で明らかになり、納得はできた。しかし、数学的には正方形をどのように切り分ければ、正しく長方形に組み合わさるのかという数学的種明かしをしなければ、最初の常識が覆された不思議は解決されたことにはならない。

したがって、この「プロセス」はステップ⑥ に続き、新たな「数学化プロセス」を始めなければならないということになる。

なお、ステップ⑤までの数式ならびに数学的証明を除く部分は、一種の「数学マジック」として多用されている。

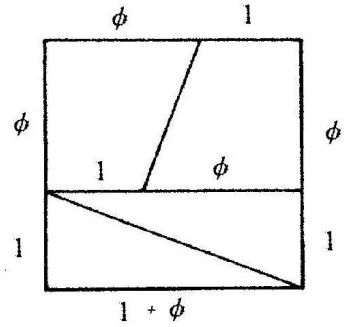
⑥辺を収束値で分割する（証明が必要だが別の機会に学生のユニークな証明を紹介する予定）　面積増減の不思議は、正方形の辺の長さがフィボナッチ数列 u_n（後述）ならば起こる現象で、正方形を切り分けて正しく長方形に組み合わさる唯一の方法は、次のような理由から右図のように辺を特定の比１：Φ で内分する点で分割すれば良いといえる。

今、一辺を１：Φ に内分したとして、Φ で割ると上図左となる。この時、底辺 １＋1/Φ = Φ

同じく左図右の底辺も

１＋Φ = Φ^2

である（２次方程式）。



正方形を切り分けて長方形に裁ち合わせ求積すると、面積はともに Φ^2 。

ここで Φ は２次方程式の正解 $(1+\sqrt{5})/2$ でこの分割を黄金分割、あるいは黄金比と呼ぶ。

この Φ は、数楽１】の各自が思い浮かべた　同符号の２数（f_{n-1}, f_{n-2}）の和 f_n から作った数列 $\{f_n\}$ の比 f_{n-1}/f_{n-2} の収束値でもある（証明『今ない不確実…』パート１所収）。

各自が思い浮かべた同符号の２数から作られる数列は「リュカ数列 L_n」と呼ばれる。

このリュカ数列の中で、f_1 = １，f_2= １から始まる数列

１，１，２，３，５，８，１３，２１，３４・・

が、自然界のいたるところで見ることのできる「フィボナッチ数列 u_n」である。

あとがき

さて、数楽 1】、4】がフィボナッチ数列と黄金比を題材にしながらも、最後にならなければ分からない展開をした。『今ない不確実….』パート１の冒頭は、当時の指導要領の課題学習・数学的活動と関わらせて黄金比・白銀比も含めた教育活動指示の誤りへの対案の一部として講義したものであった。また、教

科書教材、「シンプソンの恒等式」や数学的帰納法

出てくるに及んで、

「最初の不思議だなぁと感じさせる入り方はインパクトがあり、最初からこうなるとわかっていたら考えずに終わってしまったように思う。実際やって、不思議に思い、考えて証明という一連の流れはとても良かった」とレポートする学生の想いを受け止め、西欧の教育改革に大きな影響を与えたホワイトヘッドの指摘と同様に評価した。また、「螺旋や黄金比は高校の数学の教科書で（本文ではなく、見開きの“身の回りの数学”のようなコラムで）見た。残念なのは、数学の先生が、そうしたコラム部分に触れず、教科書本文の話しかしてくれなかったことだ。（中略）・・・要は数学から派生した、あるいは数学と関連性高い自然現象の話などもしてほしかった。計算能力だけが高くなっても論理的な読解力は身につかないし、そのままだと数学は理解できないと思う。まずは自分が勉強している事に興味を持つ事が大事だと思う。数学者にならなくてもだ」（電子工学生）と、問題（事象）の解決に向け、実物モデルや数理モデルの製作から「考え、行い、省察」を幾重にも行い問題（事象）の本性を解明する本講の展開と比較して、料理本的な解法だけの教育に陥っている現場教師たちの実践を批判していた。

（不定期 up の次回に続く）

---

[i])山岸昭則**『共生・共創の数理リテラシー教育と探究学習・考 〜 やらされ探究、高校生の探究公害、日々の理数探究で疲弊する教師たち〜』**は、近年日本の教育現場（特に高校）で義務化された「総合的な探究の時間」や「理数探究」が引き起こしている制度的歪みと現場の限界を、数理リテラシー教育の視点から批判的に検証・位置づけた論考です。

2026 年現在、教育界や SNS で大きな議論を呼んでいる「探究公害」や「教師の疲弊」といったリアルな社会問題をいち早く捉え、その構造的欠陥を解き明かす重要な位置付けを持っています。

本作における主要な論点と位置付けは以下の通りです。

1.「探究学習」における 3 大病理の告発

本作は、綺麗事として語られがちなアクティブ・ラーニングや探究学習の裏にある、以下の 3 つの機能不全を鋭く指摘しています。

*「やらされ探究」の常態化

学習指導要領での必修化や、大学入試（総合型選抜など）での実績作りのために、生徒自身に動機がないまま形だけで進められる「なんちゃって探究」の実態を分析しています。[1, 2, 3, 4]

*「高校生の探究公害」の構造解明

2025 年末から 2026 年にかけて SNS 等で一気に表面化した「探究公害」（高校生がアポなしで大学教授、専門家、地方自治体に「ネットで調べれば分かること」をインタビューしにいき、相手の時間を奪う迷惑行為）を扱っています。これは生徒の悪意ではなく、学校側の「外部連携の丸投げ」が原因であると位置づけています。

[1, 2, 3, 4]

*「日々の理数探究で疲弊する教師たち」の救済

ただでさえ長時間労働が問題視される公立高校の教員に、専門外の「高度な研究指導」まで求める制度設計の無理を指摘し、現場の悲鳴を代弁しています。[5] ## 2.「数理リテラシー教育」の視点からの再定義

山岸氏の本稿における最も重要な位置付けは、これらの問題を「数理リテラシーの不足」という文脈からアプローチしている点にあります。

科学的なデータ分析や論理的思考の基盤（数理リテラシー）が育っていない状態で、いきなり「問いを立てて社会を調査せよ」と応用を強いるからこそ、表層的なパクリや、根拠の薄い「感想文レベル」の探究に終始してしまうのだ、という因果関係を論じています。

3. 教育改革に対する「冷徹な処方箋」としての位置付け

理想主義的な文部科学省の掛け声に対し、本作は「学校の枠組みを超えた共生・共創」の本当の意味を問い直すポジションを取っています。

大学教員や NPO などの外部リソースに依存しきるのではなく、「高校教育の現場で完結できる、身の丈に合った質の高い探究とは何か」を再構築するための、冷徹かつ実践的な議論のたたき台として位置づけられています。

この論考を踏まえ、現在の高校教育における「探究の評価基準」や、他の中高・大学が始めている「探究公害を防ぐためのガイドライン策定の動き」など、さらに具体的な現場の対策事例についても詳しくお知りになりたいですか？必要であれば、それらの最新動向も整理してお伝えできます。

[1][https://news.yahoo.co.jp](https://news.yahoo.co.jp/expert/articles/230128f1f15a842687e93ae09e0281dcc0980e93)

[2][https://topics.smt.docomo.ne.jp](https://topics.smt.docomo.ne.jp/article/toyokeizai/bizskills/toyokeizai-930641)

[3][https://toyokeizai.net](https://toyokeizai.net/articles/-/930641?display=b)

[4][https://note.com](https://note.com/doyo_basara

[5][https://news.infoseek.co.jp](https://news.infoseek.co.jp/article/toyokeizai_20260114_927769/)

GEMINI 生成 AI 2026.06.28

[ii]）**ベキタイルと複雑系の親和性**

1¥. ベキタイルの本質

ベキタイル（Power Tile）は、中学校・高校での代数学習における**文字式の視覚化・操作化ツール**であり、乗法や累乗の抽象概念

を「面積や形」の具体的操作として表現できる教材である 。例えば、X^m ✖ X^n =X^{m+n} や X^2 + 3X − 6 の因数分解の操作は、タイルを組み合わせることで「面積の加減」として体感できる。これにより生徒は以下を理解できる：

＄乗除と加減が絡む多項式の計算構造
＄正負の数や高次式にも直感的に対応する操作（負タイルやキャンセルタイルの導入）
＄式変形や平方完成などの代数的アルゴリズムを操作的に体験

2¥. 複雑系の特徴
複雑系は、多数の相互作用する要素から創発的・非自明な振る舞いを示すシステム全般を指す 。
特徴として：
＄非線形性と依存関係**：個々の要素の挙動が全体に大きな影響を与える
＄履歴依存性**：初期条件や過去の状態の積み重ねに依存する
＄創発性・自己組織化**：部分の単純なルールから非自明なパターンが現れる

数学教育の文脈では、学習者の理解プロセスも複雑系として捉えられる：
＄小中生が経験する「習熟度差」「先行知識の個人差」
＄式や公式への直感的理解が創発的に生まれる学習過程
＄正しい操作や理解が小さな相互作用（議論・試行錯誤）から導かれる

3¥. ベキタイルと複雑系の親和性
ベキタイルは、教育的複雑系における以下の性質と親和性がある：
|複雑系概念　| ベキタイルにおける対応
|　--　| --　| -
|多要素の相互作用| 異なる次元・種類のタイルを組み合わせる操作 |
|非線形・累乗構造| X^m ✖ X^n = X^{m+n} の具象化で規則性を学習 |
|創発的行動　| 試行錯誤やタイル遊びを通じた「Aha 体験」の創発 |
| 履歴依存性　| 過去のステップ（因数分解、平方完成）を踏まえた操作習得が次に影響|
|組織化・階層性| 個々のタイル操作を組合せ、次第に高次多項式や複雑な代数構造に展開|ベキタイルを用いた授業では、数学的抽象と具体操作の双方向性によって、学習者の理解過程自体が**認知的複雑系**として働く。小さな操作（タイルの配置や組合せ）が複雑な理解体系（多項式の因数分解や式変形）を創発させる。

4¥. 教育的意義
具体性と抽象の橋渡し：抽象的代数操作を具体的操作に変換することで、履歴依存的な学習プロセスを支援。
非線形学習パターンの可視化：間違いや躓きが単なる誤りではなく、次の理解につながる履歴として捉えられる。
創発的理解の促進：ベキタイル操作を繰り返すことで、教科書の公式や定理の感覚的理解が生まれる。

5¥. まとめ
ベキタイルは単なる操作教材ではなく、**教育現場における自己組織化・履歴依存的な複　モデルの一部**として機能する。学習者の直感的操作と抽象的代数構造の間のインターフェースを提供し、理解の創発を可能にすることにより、数学学習自体を複雑系的プロセスとして設計する手法と言える。

参考文献
[^2^]: ベキタイルに関する教材・教育実践論文　下記 source の 1¥. 2¥.参照
[^5^]: タイルで広がる数学の世界、アルジェブラタイルによる代数理解
[^6^]: 複雑系科学 - Wikipedia
[^7^]: 複雑系数理モデルの可能性 - J-STAGE
[^10^]: 名古屋大学情報学部 複雑系科学専攻
source(s):
1¥. https://ws-idea.artec-t.com/Tiles%20World/Algebra/bekitile.html　2¥. https://ws-idea.artec-t.com/Tiles%20World/AlgebraTiles.pdf
4¥. https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/record/49937/files/TJES¥_15-71.pdf
6¥. https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%A4%87%E9%9B%91%E7%B3%BB%E7%A7%91%E5%AD%A6