

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. **22**
JUNE
2018



特集

統計教育はどう変わるか I

Contents

表紙裏

巻頭言

数学ってどんな学問？

東京大学大学院数理科学研究科 准教授 佐々田 槇子

特集 統計教育はどう変わるか I

2 I 新学習指導要領が目指す統計教育

文部科学省初等中等教育局 視学官 長尾 篤志

7 II 小学校算数におけるこれからの統計教育

愛知教育大学数学教育講座 准教授 青山 和裕

12 III 統計を指導するための基本的な知識

静岡大学教育学部 教授 松元 新一郎

17 連載 数学と音楽の織りなす世界 第 11 回

ユークリッドリズムと民族音楽

ジャズピアニスト・数学者・STEAM 教育者 中島 さち子

20 連載 サイエンス・フィクション？ 第 11 回

大事の前の小事

東北大学高度教養教育・学生支援機構 准教授 山内 保典

23 連載 ヒトの生物学を教えよう 第 11 回

ヒトの妊娠・出産に関する話題

東京都立国立高等学校 主任教諭 大野 智久

26 教育に新しい風を

プログラミング教育の可能性と STEAM への期待

富山大学 名誉教授 山西 潤一

28 広場 地域教育で活躍する人々 第 21 回

日本の未来を拓く科学大好き子の育成を目指して

NPO 法人 日立理科クラブ 代表理事 瀧澤 照廣

裏表紙

知られざる女性数学者の素顔 第 2 回

エイダ・ラブレス

～世界初のコンピューター・プログラマー～

サイエンスナビゲーター[®] 桜井 進

巻頭言

Kantougen



東京大学大学院数理科学研究科
准教授

佐々田 槇子 / ささだ まきこ

2011 年東京大学大学院数理科学研究科博士課程修了。2011 年慶應義塾大学理工学部数理科学科助教, 2014 年慶應義塾大学理工学部数理科学科専任講師, 2015 年 4 月から現職。専門は確率解析, 数理物理学。2010 年日本数学会賞建部賢弘賞奨励賞受賞, 2011 年第 1 回日本学術振興会育志賞受賞, 2011 年 東京大学総長大賞受賞。共著書に『数学の現在』(東京大学出版会)。Web サイト「数理女子」の運営, 小・中学生とその親を対象としたワークショップの企画・講師等にも携わる。

数学ってどんな学問？

昨年末、高校1年生向けに大学の授業の「模擬授業」をするように依頼された。中高生や一般の方を対象としたイベントでは、日常生活と数学の関わりや、デザイン、ゲームなどに潜む数学といった切り口で話をすることが多いが、「模擬授業」と言われると、大学でこうした内容を教えているわけではないので少し抵抗があり、どのような内容にするか悩んだ。そして辿り着いたテーマが、タイトルの「数学ってどんな学問？」である。

授業ではまず、高校生に「数学についてどのように思っているか？なぜ数学をすべての生徒が学ぶのだろうか？」と問いかけた。考えたことがなかった、という表情で戸惑う生徒が多く、数学を学ぶ理由については、残念ながら「受験科目にあるから」という答えが最も共感を得ているようであった。一方で、数学そのものについては「難しいけれど解けたときは嬉しい」「最近わからなくなってきたけど、前は好きだった」といった声もあり、目の前の生徒たちが、数学が嫌いになるかどうかのまさに別れ目の時期にあると感じた。

私なりの「数学ってどんな学問？」への回答は「物事の多様な見方・捉え方を学び、生み出す学問」である。ドーナツとコーヒークップの例は、穴の数に着目して対象を見る、という典型的な「物事の見方」の一種であるが、この例ではそれがどのように役立つのかいまいちわかりにくい。模擬授業では、「円柱」という概念が、タイヤ、ケーキ、電柱、といったさまざまな対象をある共通の視点で見る見方、つまり抽象化であることを紹介した。同じように、「等比数列」は生物の増殖や銀行預金の利子、「確率」は天気予報や宝くじや地震予知、といった一見異なる場面で現れる共通のものの見方、つまり概念を取り出したものであることを説明した。

数学の研究というのは、このように一見複雑な対象の(ある側面の)本質を見つけ出し、客観的に深く調べることなのだ、というのが、私が大学時代に学んだことである。そして、本質を深く調べるために最も重要になるのが「定義」である。

「定義」の重要性和面白さを体験してもらおうと選んだテーマは「自然数をランダムに選ぶ」という「無限」と「確率」に絡むものである。「自然数を1つランダムに選んだとき、それが偶数である確率は？」と問いかける。自然数は無限にあるので、学校で習う場合の数をを用いる確率の「定義」は使えない。はじ

めは皆茫然としていたが、考え方のヒントを出すとだんだんとグループでの議論が始まり、最終的にはすべてのグループで $\frac{1}{2}$ という結論に至った。ここで、 $\frac{1}{2}$ は「正解」ではなく、あくまでも一つの考え方であり、「偶数である確率」の一つの定義である。しかし、この定義をひとたび手に入れると、「3で割れない確率」「5の倍数である確率」なども、皆軽々と計算していった。定義を決めることで、具体的にいろいろな場合について計算したり比べたりということが可能になることを、生徒たちは実感してくれたようである。

この「定義」は便利ではあるが、万能ではない。例えば、「偶数」や「3で割れない」という性質ではなく、もっと特殊な性質についての確率を考えると、ここで作った「定義」では決めることができない場合がある(ちなみに「素数である確率」は0である)。さらに不思議なことに、Aの確率とBの確率は決めることができるのに、「AかつB」の確率は決められない、ということもある。定義を作ったら、その適用限界を考えること、さらにその定義が抽出したい対象の性質を正しく表現できているかを考えることが必須である、という教訓として紹介したところ、こちらの期待以上に生徒たちの印象に深く残ったようであった。

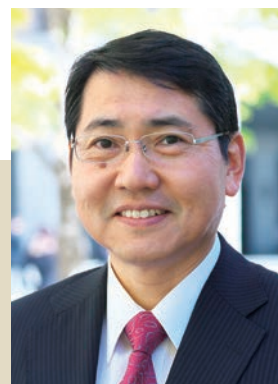
少なくとも私の頃は、高校までの数学で「定義」が前面に出てくることはなく、直感的に当たり前に思えること、既に証明したこと、問題の仮定、などと同列に用いられ、その存在すら意識したことはほとんどなかった。ところが、研究者となった今、「良い定義」こそが数学の最大の発見・発明であり、それを求めて日々研究しているといっても過言ではないと感じている。「無限」とは何か、「足し算」とは何か、「確率」とは何か、といった問いに真摯に向き合い、その本質を掘み表現することで数学は発展を遂げてきた。こうした問いに向き合う手法は、「知能」とは何か、「平等」とは何か、といったあらゆる問いに向き合うヒントも多数与えてくれる。変化が激しく情報過多の現代社会において、物事の本質を見いだし新しい切り口や概念を生み出す力が、一人一人に求められており、そうした力をつけてほしいからこそ、数学は全員が学ぶのだ、と考えている。この想いが伝わったのか、授業後に送られてきた感想文は「数学が嫌いになりかけていたけれど、これからしっかりと学びたいと思った」といった心のこもったものばかりで、大切な宝物になった。❖

I 新学習指導要領が目指す統計教育

文部科学省初等中等教育局 視学官

長尾 篤志 / ながお あつし

1982年4月より広島県立高等学校教諭、1994年4月より広島大学附属中・高等学校教諭、2001年4月より国立教育政策研究所教育課程研究センター教育課程調査官（文部科学省初等中等教育局教育課程課教科調査官併任）、2011年4月より現職。



1 ■ はじめに

昨年（平成29年）3月に小学校及び中学校の学習指導要領が公示され、今年3月には高等学校の学習指導要領が公示された。本稿では統計教育について述べる前に算数・数学科の改訂の要点について簡単に触れ、新学習指導要領で目指す統計教育について述べることにする。

2 ■ 算数・数学科の改訂の要点

平成28年12月の中央教育審議会答申（以下、「答申」と略記）に算数・数学科の教育内容の見直しについて4点述べられている。長くなるので骨子だけを抜き出すと次のようになる。

- ・数学と人間との関わりや数学の社会的有用性についての認識が高まるよう、十分に配慮した内容としていくことが求められる。
 - ・言語としての数学の特質が一層重視されてきており、このことに配慮する必要がある。
 - ・社会生活などのさまざまな場面において、必要なデータを収集して分析し、その傾向を踏まえて課題を解決したり意思決定をしたりすることが求められており、そのような能力を育成するため、高等学校情報科等との関連も図りつつ、小・中・高等学校教育を通じて統計的な内容等の改善について検討していくことが必要である。
 - ・プログラミング的思考と、算数科で身に付ける論理的な思考とを関連付けるなどの活動を取り入れることも有効である。
- 3番目の統計に関わることは本稿に直接関係するので少

し長く引用をした。

これらの方針にしたがい、小学校算数科、中学校及び高等学校の数学科の内容について改訂が行われたのである。

3 ■ 新学習指導要領が目指す統計教育

(1) 統計教育が重視される背景

現在、コンピュータの発達やデータサイエンスの進展などによりさまざまなデータを高速で処理し活用することがビジネスや研究などの多くの場面で可能になってきた。一方、社会も民主化が進み、これまで以上に一人一人の意見が尊重されるようになってきている。そのような社会にあって、自分の考えの正当性を主張するにはデータに基づいて論を構築し説明することが大切だとの認識が急速に高まっているのである。このような時代背景が統計学の重要性の認識を後押し、統計教育の重視に結びついているのは確かだと考える。

(2) 統計教育の意義

ここではいくつかの視点から統計教育の全体的な意義について述べておきたい。

①統計の知識や技能を活用して問題解決をしたり意思決定をしたりする。

実際場面で統計の知識や技能を活用するということである。例えば、地理統計からある地域の産業の傾向を把握し、同様の傾向がある地域を比較して地域の特色と産業との関わりに関する理解を深めることは可能である。また、小学校では、総合的な学習の時間に校内でけがをしやすい場所や時刻などを調査してけがをする傾向を把握し、どのようなことに注意すればよいかを提案することも考えられる。さらに、高等学

校では、文化祭などで用いるイラストのキャラクターについて「多くの人はどのようなキャラクターをカワイイと感じるのだろうか?」と疑問をもった生徒がいた場合、いくつかのキャラクターを示してアンケートを取って、カワイイという反応の多いキャラクターを分析して指標を作り、その指標を基にして考察を深めていくことも考えられる。

②数感覚を育てる。

統計データを分析するには、範囲、最大値・最小値、中央値、最頻値、平均や標準偏差などの統計量やいろいろな統計グラフを利用する。データが多い場合にはコンピュータを活用するが、統計量を求めて利用している間に「データの半数以上は〇〇～□□の範囲にある」とか「データの平均はおよそ●●ぐらいだろう」というように数感覚が鍛えられる。そのような数感覚は数学の学習でも役立つものであるが、他教科等の学習においても日常生活においても役立つものと考えている。

③物事を批判的に捉え主体的に判断する態度を育てる。

これは統計的な内容の指導に限ったことではなく、本来数学教育が目指していることのひとつである。ただ、統計的な内容の指導についてはこのことを意識して取り組みやすいことも事実である。例えば、日常生活でも統計データや統計グラフに接することは少なくないが、データは偽りでなくてもグラフを一部分だけ取り出して示し自分たちの考えの援用に利用していることなどはあり得る。そのような場合、提示される主張を鵜呑みにするのではなく、批判的に捉えてデータに基づいて自分の考えを構築することは、統計データなどが広く用いられる現代社会ではとりわけ大切なことであり、取り組みやすい事柄でもあると考える。

④算数・数学の実用性を認識する。

「答申」の「現行学習指導要領の成果と課題」に次のような記述がある。

「小学校と中学校の間で算数・数学の勉強に対する意識の差があり、小学校から中学校に移行すると、数学の学習に対し肯定的な回答をする生徒の割合が低下する傾向にある」、「高等学校では、「数学学習に対する意欲が高くないこと」(中略)が課題として指摘されている。」

いずれも数学の学習意欲に対する記述であるが、小学校に比べ中学校や高等学校では数学に対する学習意欲が低いこと

が述べられている。小学校から中学校、高等学校へと学校段階が進むと数学の内容が抽象的になり学習内容も増えてくる。本来数学の抽象性は、条件を満たせばあらゆるものに数学で得られた結果を適用できることにそのよさがあるのであるが、数学を活用する場面が少なければそのよさは実感されにくくなる。むしろ、実際には役に立たないことを学ばされているという不満を募らせることにもつながりそれが学習意欲が低下する一因と考える。特に高等学校で、数学学習に対する意欲が高くないのは、数学がどのような場面で役に立つか(数学の実用性)がわかりにくくなっていることも大きいと考えている。

統計的な内容の学習では、基本的な知識及び技能を身に付けることは当然大切であるが、知識及び技能を活用して事象の傾向を調べ問題を解決したり意思決定をしたりする場面を通して生徒は学習内容の実用性を感じ取ることができる。一方、指導する側にとっては、統計的な内容の指導を通して、改めて算数・数学学習の意義及び求められる指導の在り方について振り返る機会を与えられていると考えることもできる。

(3) 指導のついて

指導の在り方に触れたので、ここで少し指導について触れておきたい。

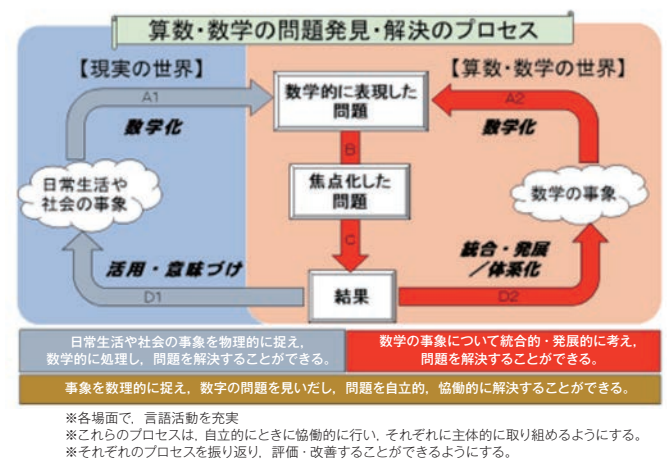


図1 算数・数学の問題発見・解決のプロセス

上の図は、図にも記述されているように「算数・数学の問題発見・解決のプロセス」であり、数学的活動を具体的に表現したものである。新学習指導要領では、主体的・対話的で深い学びを実現することを求めているが、それは算数・数学科では数学的活動の充実と捉えている。

先述したように小学校から中学校、高等学校と学校段階が

進むと数学の内容も抽象的になるが、高校入試や大学入試の影響もあり、図1の「数学的に表現した問題→焦点化した問題→結果」を繰り返す指導が増えてくるのではないかと考えている。特に、高校入試や大学入試を意識すればするほど、問題の解法を教え込み素早く結果を得る指導に傾きがちになる。理想的な算数・数学の指導としては、日常生活や社会の事象または数学の事象から数学化して数学的に表現した問題を設定するところから始めたい。また、数学的に処理して結果を得たら、より良い解法はないか、条件を変えたらどうなるか、これまでの知識や技能との関係はどうなるのか、などその過程を振り返ってみることも大切にしたい。つまり、理想的な指導を一言で言うと、問題解決型の指導ということができよう。

統計的な内容の指導ではこの問題解決型の指導を実践しやすい。次の図は、言語活動の充実に関する指導事例集に掲載されている例をわかりやすく図で表したものである。

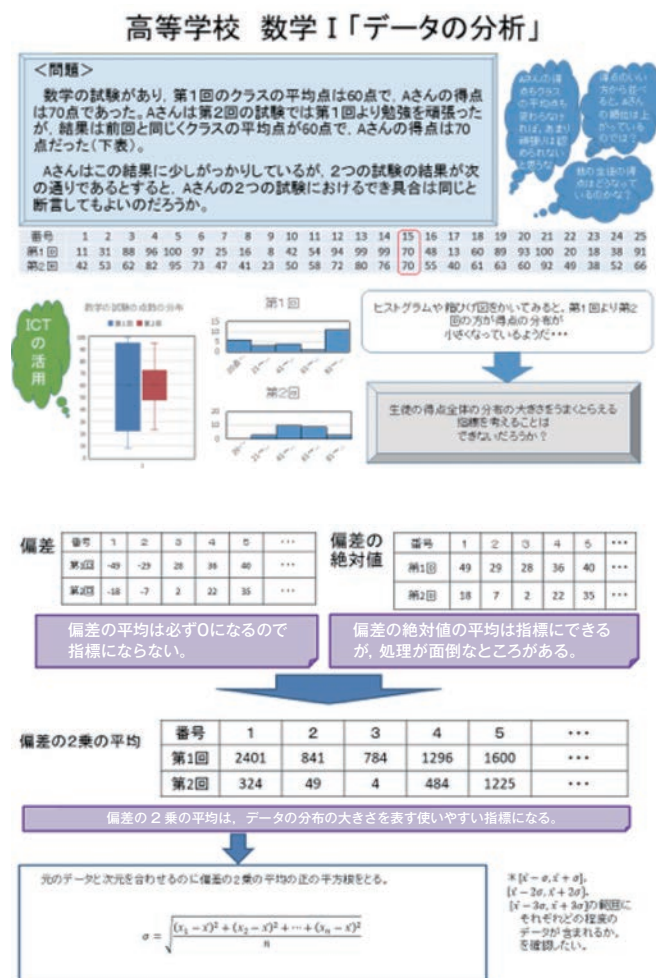


図2 高等学校 数学 I 「データの分析」

少し説明を加えておく。

授業の目標は、「具体的な事象の考察を通して、分散及び標準偏差の意味について理解する」である。具体的な事象は、<問題>として提示されている。

生徒にグループごとに自由に考えさせると、成績順位に目を向けて、「Aさんの順位は1回目より2回目のほうが上がっているのでAさんはがっかりする必要はない」と答えるグループが多い。

教員の指導でヒストグラムや箱ひげ図を用いて得点の分布に目を向けさせると、1回目より2回目のほうが得点の分布が狭いことに気付く。さらに教員が、「得点の分布を表すような指標を作ることができないか？」と考える方向を示唆すると、2枚目の図のように思考が進んでいく。つまり、偏差を考え偏差の平均を求める→偏差の平均が0になることに気付く→偏差の絶対値の平均を求める→偏差の2乗の平均を求める(分散)→偏差の2乗の平均の正の平方根を求める(標準偏差)という方向で思考が進んでいく。偏差の絶対値の平均も指標としてはあり得るが、教員がここでも「絶対値よりもっと使いやすいものは考えられないか？」と、必要があれば適切な示唆をする。また、標準偏差を得た後、[平均-標準偏差, 平均+標準偏差]などの範囲に含まれる得点の数を数えさせ、統計的な推測にもつながる指導を行う。

この指導の特に優れている点を2点あげておく。

第一に、学習の目的が生徒に明確で具体的であることである。また、取り上げている例も生徒には興味深いものと感じる。第二に、教員の適切な示唆はあるが、生徒が自力で分散と標準偏差を求めていることである。分散の式が与えられてもその式が表していることをすぐに理解する生徒は多くない。この指導では生徒が試行錯誤をしながら自力で分散と標準偏差を求めているので、その意味を理解することができる。また、試行錯誤をしたことで例えば偏差の2乗を考えていることの意味も理解することができる。

(4) 統計的な内容について

新学習指導要領における小学校、中学校及び高等学校の統計的な内容の一覧を表1に示す。

表1 統計的な内容

小学校

	知識及び技能	思考力・判断力・表現力等
第1学年	(ア) ものの個数について、簡単な絵や図などに表したり、それらを読み取ったりすること	(ア) データの個数に着目し、身の回りの事象の特徴を捉えること
第2学年	(ア) 身の回りにある数量を分類整理し、簡単な表やグラフを用いて表したり読み取ったりすること	(ア) データを整理する観点に着目し、身の回りの事象について表やグラフを用いて考察すること
第3学年	(ア) 日時の観点や場所の観点などからデータを分類整理し、表に表したり読んだりすること。 (イ) 棒グラフの特徴やその使い方を理解すること	(ア) データを整理する観点に着目し、身の回りの事象について表やグラフを用いて考察して、見いだしたことを表現すること
第4学年	(ア) データを二つの観点から分類整理する方法を知ること (イ) 折れ線グラフの特徴とその使い方を理解すること	(ア) 目的に応じてデータを集めて分類整理し、データの特徴や傾向に着目し、問題を解決するために適切なグラフを選択して判断し、その結論について考察すること
第5学年	(ア) 円グラフや帯グラフの特徴とそれらの使い方を理解すること (イ) データの収集や適切な手法の選択など統計的な問題解決の方法を知ること	(ア) 目的に応じてデータを集めて分類整理し、データの特徴や傾向に着目し、問題を解決するために適切なグラフを選択して判断し、その結論について多面的に捉え考察すること
第6学年	(ア) 代表値の意味や使い方を理解すること (イ) 度数分布を表す表やグラフの特徴及びそれらの使い方を理解すること (ウ) 目的に応じてデータを収集したり適切な手法を選択したりするなど、統計的な問題解決の方法を知ること	(ア) 目的に応じてデータを集めて分類整理し、データの特徴や傾向に着目し、代表値などを用いて問題の結論について判断するとともに、その妥当性について批判的に考察すること

中学校

	知識及び技能	思考力・判断力・表現力等
第1学年	(ア) ヒストグラムや相対度数などの必要性和意味を理解すること (イ) コンピュータなどの情報手段を用いるなどしてデータを表やグラフに整理すること	(ア) 目的に応じてデータを収集して分析し、そのデータの分布の傾向を読み取り、批判的に考察し判断すること
	(ア) 多数の観察や多数回の試行によって得られる確率の必要性和意味を理解すること	(ア) 多数の観察や多数回の試行の結果を基にして、不確定な事象の起こりやすさの傾向を読み取り表現すること
第2学年	(ア) 四分位範囲や箱ひげ図の必要性和意味を理解すること (イ) コンピュータなどの情報手段を用いるなどしてデータを整理し箱ひげ図で表すこと	(ア) 四分位範囲や箱ひげ図を用いてデータの分布の傾向を比較して読み取り、批判的に考察し判断すること
	(ア) 多数回の試行によって得られる確率と関連付けて、場合の数を基にして得られる確率の必要性和意味を理解すること (イ) 簡単な場合について確率を求めること	(ア) 同様に確からしいことに着目し、場合の数を基にして得られる確率の求め方を考察し表現すること (イ) 確率を用いて不確定な事象を捉え考察し表現すること
第3学年	(ア) 標本調査の必要性和意味を理解すること (イ) コンピュータなどの情報手段を用いるなどして無作為に標本を取り出し、整理すること	(ア) 標本調査の方法や結果を批判的に考察し表現すること (イ) 簡単な場合について標本調査を行い、母集団の傾向を推定し判断すること

	知識及び技能	思考力・判断力・表現力等
数学Ⅰ データの分析	(ア) 分散、標準偏差、散布図及び相関係数の意味やその用い方を理解すること (イ) コンピュータなどの情報機器を用いるなどして、データを表やグラフに整理したり、分散や標準偏差などの基本的な統計量を求めたりすること (ウ) 具体的な事象において仮説検定の考え方を理解すること	(ア) データの散らばり具合や傾向を数値化する方法を考察すること (イ) 目的に応じて複数の種類のデータを収集し、適切な統計量やグラフ、手法などを選択して分析を行い、データの傾向を把握して事象の特徴を表現すること (ウ) 不確実な事象の起こりやすさに着目し、主張の妥当性について、実験などを通して判断したり、批判的に考察したりすること
数学A 場合の数と確率	(ア) 集合の要素の個数に関する基本的な関係や和の法則、積の法則などの数え上げの原則について理解すること (イ) 具体的な事象を基に順列及び組合せの意味を理解し、順列の総数や組合せの総数を求めること (ウ) 確率の意味や基本的な法則についての理解を深め、それらを用いて事象の確率や期待値を求めること (エ) 独立な試行の意味を理解し、独立な試行の確率を求めること (オ) 条件付き確率の意味を理解し、簡単な場合について条件付き確率を求めること	(ア) 事象の構造などに着目し、場合の数を求める方法を多面的に考察すること (イ) 確率の性質や法則に着目し、確率を求める方法を多面的に考察すること (ウ) 確率の性質などに基づいて事象の起こりやすさを判断したり、期待値を意思決定に活用したりすること
数学B 統計的な推測	(ア) 標本調査の考え方について理解を深めること (イ) 確率変数と確率分布について理解すること (ウ) 二項分布と正規分布の性質や特徴について理解すること (エ) 正規分布を用いた区間推定及び仮説検定の方法を理解すること	(ア) 確率分布や標本分布の特徴を、確率変数の平均、分散、標準偏差などを用いて考察すること (イ) 目的に応じて標本調査を設計し、収集したデータを基にコンピュータなどの情報機器を用いて処理するなどして、母集団の特徴や傾向を推測し判断するとともに、標本調査の方法や結果を批判的に考察すること

4 ■ おわりに

最後に、ここまで述べたことと重なるところもあるが、指導に当たって留意すべき点を述べる。

1点目は、統計的な知識及び技能は他教科等でも積極的に活用することである。小学校は通常、学級担任が多くの教科等の指導をしているので他教科等と内容の関連を持たせることは難しくない。しかし、中学校、高等学校では複数の教科等で内容の関連を持たせた指導はあまり進んでいないのが現状であろう。新学習指導要領では、カリキュラム・マネジメントの実現を掲げている。算数・数学で学習した統計的な知識や技能は他教科や総合的な学習の時間などで積極的に活用していくことが大切である。特に、高等学校では、数学で学習した統計的な知識や技能は情報科、総合的な探究の時間や理数科（理数探究基礎及び理数探究）などで活用することを通して、どのように活用すればよいのかということも含め理解も深まっていく。不十分な理解であった事柄が理解できるようになるということもあるだろう。

2点目は、扱うデータを目的に応じて適切なものにする点である。問題解決型の授業では実際のデータを用いて指導することは多いと考えるが、常に実際のデータを用いようとすると子供たちの学習に困難をきたすこともあるだろう。子供たちの特性や指導の目標に応じて適宜加工したデータも用いるなど柔軟に対応することも必要である。

3点目は2点目とも関連するが、コンピュータを積極的に活用することである。特に中学校や高等学校では、多くのデータを扱うことが多いので、コンピュータを用いずにデータを処理することは実際的ではない。基本的な考え方を習得した後は尚更、授業の目標を踏まえ、利用できる場所では積極的にコンピュータを用いることが、将来にわたり学習した統計的な知識や技能を活用して問題解決をすることにつながると考えている。

参考・引用文献

- 幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）2016、文部科学省
- 【高等学校版】言語活動の充実に関する指導事例集2013、文部科学省

II 小学校算数におけるこれからの統計教育

愛知教育大学数学教育講座 准教授

青山 和裕 / あおやま かずひろ

1975年愛知県生まれ。2005年筑波大学大学院博士課程修了。筑波大学人間総合科学研究科(研究員)、鳴門教育大学教員教育国際協力センター(講師)、愛知教育大学数学教育講座(助教)を経て2011年より現職。算数・数学教育の教員養成や現職研修にも携わりながら、統計教育に関する教材や指導法などについて研究している。



1 ■ はじめに

新学習指導要領において統計教育が充実されたことを受け、小学校算数においてもこれまでよりも一歩踏み込んだ統計指導が求められる。ここでは、小学校算数における統計教育のねらいや捉え方、現行学習指導要領との相違点についてまずまとめる。その上で、今後の統計指導を展開していく上でのポイントについて、具体的な内容等を取り上げて紹介する。

2 ■ 小学校算数における統計教育のねらいについて

新学習指導要領での統計教育充実の要点については、学習指導要領改訂に先立ち算数・数学ワーキンググループから出された提案が参考になる。そこでは、小・中・高等学校を通じた統計教育の改善事項として、「統計的な問題解決・意思決定」と「統計的な分析結果などを批判的・多面的に考察すること」の2つの項目が提案されている。

算数・数学科での統計指導では、表やグラフ、代表値を始めとする統計量の求め方など統計的な処理・手法をおもな指導内容とすることから、どうしても手法の指導に重点が置かれがちであった。グラフに表す・読む、統計量を計算することなどが中心になってしまい、グラフを読んだ結果や計算結果について、問題解決の目的に照らして意味付けるなどの活動はなかなか展開しづらかった現状がある。

これからは意味ある文脈に沿って統計的な問題解決活動を展開し、その活動を通じて手法そのものや統計の有用性に

いて学んでいくことが求められている。

統計的な問題解決については、学習指導要領解説でも表1のような一連のプロセスが紹介されている。

表1 統計的探究プロセス

問題	・問題の把握 ・問題設定
計画	・データの想定 ・収集計画
データ	・データ収集 ・表への整理
分析	・グラフの作成 ・特徴や傾向の把握
結論	・結論付け ・振り返り

ここでの「問題」というのは、「棒グラフに表しましょう」「平均値を求めましょう」といったような算数の問題としてまとめられたものではなく、「運動会のリレーで勝つにはどうしたらいいか」や「クラスで行く遠足の目的地はどこがいいか」など日常生活等で生じる漠然とした問題を指している。統計はこのような児童の日常生活や学校の行事等とも関連を持たせられるのが利点であるため、可能であれば関連付けて展開されるのがよいと思う。

主となる問題が漠然としている場合には、これを統計的に取り組める形に置き換え、問題を設定する必要があり、またその問題に応じたデータを適切に収集することも必要となる。ただ現実的には、統計的な問題設定は児童には難しい上に、

実際にデータを収集するには時間を要するなど実現しにくいケースも多い。そのため、小学校の低学年や中学年の段階では、「クラスの中でどの遊びが人気があるのか」など、始めから統計的に扱いやすい問題を取り上げ、クラスの中で簡単に集められるデータを用いるなどの工夫が必要である。

また、1コマの授業の中ですべてのプロセスを盛り込むのも無理があるため、数コマの授業をつなげたり単元全体で一連の問題解決活動が展開されるように構成するほうが授業を展開しやすくなる。

「統計的な分析結果などを批判的・多面的に考察すること」に関しても、代表値の単なる計算やグラフから数値を読み取るだけであれば批判的・多面的に考察する余地は少ないだろう。仮に、「風邪をひいている児童について学年によって違いはあるのか」という問題に対して分析している場面であれば、各学年で風邪をひいている児童の数と学年間の差は明確に捉えることができる。ただし、そのまま結論としていいかどうかは検討の余地がある。風邪をひいた児童の数で5年生が最も多かった場合に、5年生が最も風邪をひいていると結論をまとめていいものか、もともとの児童数に対する割合で考えるべきではないのかと気づけば結論については変わってくるかもしれない。また、今風邪をひいている児童の数はわかったけど、風邪が治った児童は数に入っていないのではないかなどということに考えが及べば、データの収集の仕方についても一考の余地が出てくる。統計的に処理した結果をそのまま結論とするのではなく、別の観点から捉えてみると結論は変わるのではないかと、何か見落としや誤りはないだろうかと考えることはとても大切である。これが批判的・多面的に考察するという期待されている活動である。

また、批判的・多面的な考察の対象は、上記のように自分たちの問題解決活動や結論だけではなく、第三者による統計的な情報も含まれている。統計が社会のあらゆる分野で用いられていることから、統計データに基づいた情報が新聞、ニュース、雑誌等で取り上げられることがたいへん多くなっている。それらの情報はときに発信側にとって都合のよい側面だけを抜き出していることもあったり、データに基づく事実と発信される情報に飛躍がある場合などがある。そういった統計に関連するさまざまな情報に対して、安易に鵜呑みにすることなく、批判的・多面的に考察し、自身で判断するス

キルは社会人として必須の能力とされている。

小学校の段階では、グラフの作り方一つで読み手の印象が左右されることや、データの集め方、データ全体の分布などを無視して平均値のみで比較するなどといったことなどが扱いやすいだろう。

3 ■ 現行学習指導要領との相違点

現行学習指導要領との相違点としてまず挙げられるのは、「D：データの活用」として、独立領域化したことである。現行では「D：数量関係」として「式の表現と読み」や「関数の考え」とまとめられていたのが、統計に関する内容だけで構成された領域として設定されることとなった。「式の表現と読み」は「A：数と計算」に統合され、「関数の考え」は「C：変化と関係」として領域として設定された。

これにより中学校数学の4つの領域との対応関係が明確になり、小中の接続の観点からも改善されたといえる。「データの活用」が独立領域化されたねらいは、小中の接続もさることながら、統計充実という要請に応じたという側面もある。領域として独立することで指導において強く意識づけることができ、これまでの指導を見直してほしいという願いも込められていると考えられる。

以下、小学校の低・中・高学年の順に具体的な内容の変化についてまとめる。

(1) 第1～2学年

低学年については新規の内容は追加されておらず、現行と同じとなっている。第1学年では「絵や図を用いた数量の表現」、すなわち「絵グラフ」などを用いて数量を整理することが内容となっている。第2学年では「簡単な表やグラフ」となっており、1つの観点で数量を整理した表や、具体的な絵ではなく○など抽象化して表した絵グラフを用いることとなっている。後でも触れるが、具体的な内容面でそれほど変化がないといっても、統計的な問題解決を視点として、扱う題材や授業展開の面での工夫が求められている。

(2) 第3～4学年

第3学年では、「データの分類整理と表／棒グラフの特徴と扱い方」と現行と変化がないが、内容の取扱いで最小目盛りが2、5などの棒グラフや複数の棒グラフを組み合わせた

グラフが追加されている。数字の大きいデータをグラフに表す場合には、最小目盛りを1で書いてはノートなどに書ききれない場合もあるため、適切な目盛りを自分で設定して効率よく棒グラフをかくことが必要である。また、2つのグループからデータを集めた場合などには、それぞれを棒グラフにまとめることもできるが、色分けするなどして組み合わせてかくこともできる。そうすることで比較や分析が容易にできるようになる。

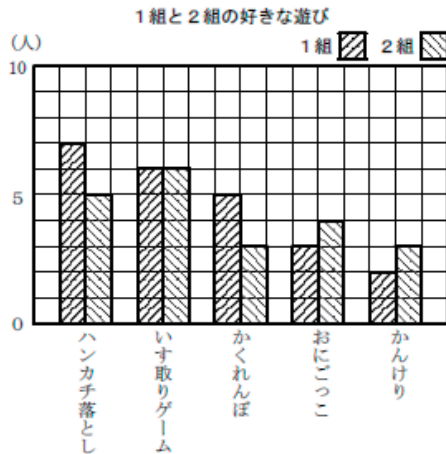


図1 組み合わせた棒グラフ(学習指導要領からの抜粋)

第4学年では、「二つの観点から分類する方法／折れ線グラフの特徴と用い方」となっており、これも現行と変化ないが、内容の取扱いにおいて、複数系列のグラフや組み合わせたグラフが追加されている。社会科等でよく目にする雨温図が代表的な例であるが、棒グラフと折れ線グラフを組み合わせる例が実社会では多いため、それらへの対応も配慮されている。

(3) 第5～6学年

第5学年では、「円グラフや帯グラフの特徴と用い方」については現行通りであるが、「統計的な問題解決の方法」が追加されており、また内容の取扱いで「複数の帯グラフを比べること」が追加されている。

特に注目すべきは、「統計的な問題解決の方法」であり、「知識・技能」の項目に設定されているため、児童が統計的な問題解決の方法や手順について知識として習得し、自身で取り組めるだけの技能を身に付けることが期待されている。これは何も先に紹介した統計的な探究プロセスを知識として伝達すべきということではない。統計的に問題解決に取り組むにあたって、思いつくままに取り組むのではなく、先の活

動に対する見通しをもって計画的に進められるようになるということである。これは余談であるが、統計教育について世界的に評価の高いニュージーランドでは、統計的な探究プロセスが描かれたポスターが小学校の教室内に掲示されており、児童もそれを意識して課題に取り組んでいた(青山, 松元, 2013)。明示的にプロセスを伝達するというのも選択肢の1つではある。

複数の帯グラフを比べることについては、円グラフに対する帯グラフの利点を明確化させるためであり、題材についてもそれに見合うものを選択する必要がある。

第6学年では、これまで中学1年で扱っていた「代表値の意味や求め方」を扱うこととなり、また、第5学年と同様に「目的に応じた統計的な問題解決の方法」も追加されている。「度数分布を表す表やグラフの特徴と用い方」、「起こりうる場合」は現行通りである。

統計で扱うデータの種類は、大きく分けて「質的データ」「量的データ」の2種類があり、それぞれ扱い方や分析の仕方が変わってくる。また、データ全体が時間系列に沿って集められたものを「時系列データ」という。「代表値」や「度数分布表」「柱状グラフ(ヒストグラム)」は量的データの特徴や傾向を捉えるための手法である。質的データは第1学年から扱っており、第4学年で時系列データを扱うため、第6学年の学習を通じて、一通りのデータの扱い方を学ぶことになる。

平均値については、これまでも第5学年の指導内容として扱われており、また一般的にもよく用いられているものである。データの特徴を端的に表す指標として便利である反面、極端な値が含まれる場合に大きく左右されたり、平均値付近に該当するデータが実際にはほとんど存在しない場合があるなど、データのすべてを捉えることはできないという欠点もある。そのため、端的な指標としての代表値についても、中央値や最頻値など他の視点から捉えることが大切である。併せて、度数分布表や柱状グラフにも表すことで、ピンポイントの情報だけでなく、データ全体のように捉えることができ、適格に特徴や傾向を把握することができる。

また、「知識・技能」項目の新規内容ではなく、「思考力、判断力、表現力」に分類されるが、第5学年では「解決の過程や結果を多面的に捉え考察したりする力」、第6学年では

「解決の過程や結果を批判的に考察したりする力」が追加されている。

第5, 6学年では、自分たちの問題解決活動や結論、あるいは第三者による統計情報について多面的、批判的に捉える活動も取り入れる必要がある。

4 ■ 今後の統計指導のポイント

「データの活用」に関しては全体的に新規の追加内容は多くなく、また学年配置もほとんど変わっていない。今回の改訂において統計教育を改善するために最も力が注がれた点は、具体的な指導内容を増やすことではなく、統計的な問題解決や批判的な考察などの活動を指導において具体化することである。そのため、同じ指導内容であっても、授業で扱う題材や展開の仕方について工夫する必要がある。

ここでも低・中・高学年の順に、指導において意識すべきポイントについてまとめる。

(1) 第1～2学年：身近な題材で目的のある活動を

データさえあれば簡単な表や絵グラフに表すことも読み取ることができる。それが単なる作業になるか問題解決になるかは目的があるかどうかによる。学級での遊びや好きな果物など児童にとって身近でわかりやすい題材を選択し、みんなの意見を集めて1つに決めるなどの目的意識を持たせることが大切である。

学級でどんな遊びをするのか意見を集めるのであれば、まず候補としてどんなものがあるかを挙げてから投票するのか、各自が遊びたいものを好きに書くのか、1つだけなのか2つ書いてもいいのかなどについても話し合い、事前に決めておくとうい。「データを整理する観点に着目し」という文言があるが、この例では、室内遊びか外遊びかに着目して整理したり、第1希望と第2希望を分けて集計するなどがそれにあたる。

集計した結果を表やグラフに整理する際にも、自分たちにとって見やすく判断しやすいという利点もさることながら、周りの友達にもわかりやすく伝えられるという利点にも気づかせたい。問題解決という大きな目的に沿って活動を展開しつつ、みんなに伝えて共有したいというその場面での目的もうまく指導の中に取り入れたい。

また、低学年の児童にとっては事前に予想させておくこと

も効果的である。自分の意見や仲の良い友達の意見が大勢を占めるものと幼い児童は考えがちである。結果をまとめてみて予想が裏切られたりする経験から、自分の限られた経験や勘のみを頼りに決めつけるのではなく、データに基づいて物事を判断する姿勢や習慣を身に付けさせていきたい。

(2) 第3～4学年：項目を増やして分析に広がりをも

近年の社会での統計の利活用事例では、ビッグデータやIoT (Internet of Things) などが話題となっており、多種多様で膨大なデータの中から価値ある情報を導き出すことが必要となっている。これまでの統計指導では、1組のデータを棒グラフや折れ線グラフに表したり読み取ったりする活動が多かったが、それだけでは分析に広がりが出ず、価値ある情報を導き出すことも難しい。ビッグデータを小学校で扱うのは無理であるが、項目を少し増やしてさまざまな観点や組み合わせにより分析する活動を取り入れる必要がある。

題材や児童の実態に合わせて調整する必要があるが、第3学年で3～4項目くらいのデータを扱うのが妥当と思われる。これまでもよく用いられている学校のけが調べなどもよい題材である。保健室にあるけがの記録は、「月日」「天候」「学年」「性別」「場所」「時間帯」「部位」などさまざまな項目がまとめられている。このままでは項目が多すぎるため、児童に提示する情報を選択し、授業を展開する。目的は、「これまでのけがの記録から、学校での生活で注意したほうがいいところを見つけよう」などでいい。

実際に愛知県内の小学校で行われた実践例では、「月」「学年」「場所」「時間帯」の項目を用いて児童に分析をさせた。月別に分析したところ、9月と10月にけがをする児童が多いことがわかった。

そこで9月と10月に絞って何年生がどの時間帯にけがを

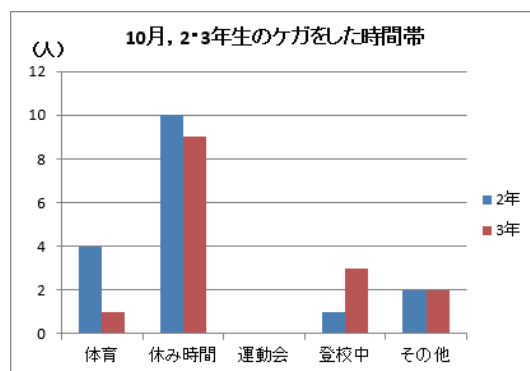


図2 けがの記録を分析した例

しているかを分析したところ、9月は6年生が体育の時間に組体操に取り組んでいたためだとわかった。10月は2,3年生が休み時間にけがをしていたことがわかったため、9月の6年生は仕方ないが、10月の2,3年生は注意をしたほうが良いということで授業はまとまった。

この実践では、項目がいくつかあることで、分析の観点が広がり生まれた。項目を組み合わせることでさまざまな分析ができるという経験は、自分たちでデータを集める際にも視点として生きてくる。

(3) 第5～6学年：自分たちで遂行する問題解決

高学年は「知識・技能」に「統計的な問題解決」が追加されていることが重要である。やはり自分たちで統計的な問題解決を遂行する活動を展開したい。とはいえ、問題設定やデータ収集の計画を立てることは児童にはとても難しい場合が多い。現実的に取り組める問題を設定し、無理なく集めることができるデータ収集計画を児童たちだけで行うのは困難なため、教師がうまく配慮して巧みに誘導する必要もある。指導時数の関係から、他教科との連携などについても検討する必要があるだろう。

すでにこういった試みもなされているが(青山, 2017), 指導時数や児童の活動支援の面からそれほど負担を大きくせずに問題解決活動を展開した事例もある(青山, 2018)。その事例では、解決活動の中心となる種目が決められていることがポイントである。名古屋市内の小学校において行われた実践であるが、「閉眼片足立ち」という目を閉じて片足立ちで何秒立ってられるかという種目を用い、学級内でデータを収集し分析している。

まずは男女で記録を比較し、分布のようすなどを分析する活動を行っている。次いで、どんな人が記録がいに話題を移し、誕生日や血液型、将来の夢など調べたい項目を設定し、再度調査を行っている。どんな人が記録が良いかを考えることは仮説を立てることに通じ、問題設定に該当する。また調べたい項目や調べ方を考えることが計画にあたる。「将来の夢はありますか」「上ぐつのサイズは24cm以上ですか」など15項目のアンケートを他の学級も含めて実施し、調べたいテーマごとにグループを組み、15項目の中から4つを選択し、各グループ分析に取り組んでいる。

あるグループは、「リーダーになりたいですか」という項

目に「はい」と答えた人の平均値は約49秒、「いいえ」と答えた人の平均値は約40秒だったことから、リーダーになりたい人のほうが記録が高いと判断し、「人の前に立つ人は、頑張り屋が多いからだ」と結論付けていた。

この活動では、教師が一方的にデータを与えて分析させるような活動ではなく、児童が自分たちで仮説を立て活動を展開している。種目が決められていることで統計的な問題解決を展開しやすくなっており、時間数についてもある程度見通しが利くようになっている点が利点である。

統計的な問題解決を進めていく中では、分析の際に用いるグラフなどが固定されているのは不自然である。データの種類や目的に応じてさまざまなものを複数使うことでさまざまな観点からデータを多面的に分析できる。第5,6学年ではこれまでに学習したグラフなどを問題解決の活動の中で総合的に活用することで、それぞれのグラフの特徴を俯瞰的に理解することもできる。第5学年だから円グラフや帯グラフのみを使わせるというような縛りを設けずに、棒グラフや折れ線グラフなど既習のものを適切な場面では使わせるようにも配慮したい。高学年では、統計的な問題解決の活動全体を自分たちで遂行しながら、既習内容についても振り返って整理するような機会として生かしていただきたい。



参考・引用文献

- 青山和裕, 柏元新一郎 (2013). ニュージーランドの教科「数学と統計」についてⅡ—統計教育先進国の授業の実践と考察—, 愛知教育大学数学教育学会誌イプシロン第56号, pp.45-55
- 青山和裕 (2017). 統計的探究プロセスの授業化に向けた一考察, 日本科学教育学会第41回年会論文集, pp.157-160
- 青山和裕 (2018). 「データの活用」領域における数学的活動, 初等教育資料4月号, No.966, pp.83-85
- 中央教育審議会教育課程部会算数・数学ワーキンググループ (2016). 算数・数学ワーキンググループにおける審議の取りまとめについて(報告)
- 文部科学省 (2017). 小学校学習指導要領解説算数編, 文部科学省

Ⅲ 統計を指導するための基本的な知識

静岡大学教育学部 教授

裕元 新一郎 / まつもと しんいちろう

東京学芸大学大学院修了後、共立女子学園共立女子中学校教諭、東京学芸大学附属大泉中学校教諭、金沢大学教育学部講師、同准教授、静岡大学教育学部准教授を経て、2013年4月より現職。おもな著書として、『中学校新数学科「数学的な表現力」を育成する授業モデル』（明治図書）、『中学校数学科 統計指導を極める』（明治図書）など。



1 ■ はじめに

本稿では、新学習指導要領における小学校・中学校・高等学校の統計を指導するための、基本的な知識（用語・概念）を紹介する。算数を専門としない小学校の先生方にも理解できるように解説することを心がけた。なお、括弧内の学年は、平成29/30年告示の学習指導要領における初出の学年である。

最後に、学校図書室に開架しておきたい本、統計を学び直したい先生向けの本、教材研究や授業づくりに参考になる本を紹介する。

2 ■ 統計についての基本的な知識

(1) データの種類

統計データにはさまざまなタイプがある。**質的データ**とは性別や血液型など文字情報として得られるデータであり、**量的データ**とは身長やハンドボール投げの記録のような数値情報として得られるデータである。なお、プロ野球の背番号は数のデータであるが、選手を区別するだけで順序に意味はないので質的データになる。

質的データは棒グラフや帯グラフ（円グラフ）などにすることができ、量的データは折れ線グラフ、ドットプロット、ヒストグラム（柱状グラフ）などにすることができる（後述参照）。このように、データの種類によって分類整理の仕方や用いるグラフなどが異なる。

(2) データをまとめる表

1次元表（小1）は、質的データを1つの観点で整理するときに使われる表である（表1）。このとき、

「正の字」（小3）で数え上げることがある（かくせんほう画線法という）。誤りを防ぐために、データを順に読む人と正の字を書く人のペアで行うとよい。

表1 1年生の好きなくだもの

くだもの	人数(人)	
いちご	正正正下	18
りんご	正正正一	16
みかん	正正	9
その他	正一	7
計		50

2次元表（小3）は、**層別**に集計する際に、2つの観点から整理したものである（表2）。縦と横に

データを読みとることができるため、層間の比較をするのに適している。

表2 好きなくだもの（人）

くだもの	1年	2年	3年
いちご	18	20	13
りんご	16	26	20
みかん	9	5	16
その他	7	8	10
計	50	59	59

2次元表のうち、データを2つの観点から分類整理した表（小4）を2×2

分割表（表3）といい、**表3 読書と国語の好ききらい**

「読書と国語の2つの間になんらかの関係があるのか」について、統計的な手法（略）で判断することができる。

1組				
		読書		合計
		○	×	
国語	○	12	5	17
	×	5	4	9
合計		17	9	26

度数分布表（小6） 表4 A 小学校6年の通学時間

は、量的データを整理するときに使われる表である（表4）。各区間を**階級**といい、区間の幅のことを**階級の幅**、階級の中央の値を**階級値**、各階級に入る記録

通学時間(分) 以上 未満	度数(人)
0~10	15
10~20	22
20~30	13
30~40	5
計	55

の数を各階級の**度数**という。表4から、通学時間が10分以上20分未満の階級（階級値は15分）の度数は22人であることがわかる。

表5のように、A小学校とB小学校の児童数に違いがあるとき、度数同士を直接比較すると誤った判断をしてしまうことがある。このような場合は、階級ごとに**相対度数**＝ $\frac{\text{階級の度数}}{\text{度数の合計}}$ （中1）を計算すると比較しやすくなる。

表5 A 小学校6年とB 小学校6年の通学時間

通学時間(分) 以上 未満	A小学校		B小学校	
	度数(人)	相対度数	度数(人)	相対度数
0~10	15	0.27	17	0.17
10~20	22	0.40	51	0.51
20~30	13	0.24	25	0.25
30~40	5	0.09	7	0.07
計	55	1	100	1

表5で、通学時間が20分未満の児童数や30分未満の児童数を知りたいとき、**累積度数**（中1）を求めて、表6のように**累積度数分布表**（中1）にしておくと便利である。表6から、通学時間が30分未満の児童は、50人いることがわかる。

表6 A 小学校6年の通学時間

通学時間(分) 以上 未満	度数(人)	累積度数(人)
0~10	15	15
10~20	22	37
20~30	13	50
30~40	5	55
計	55	

(3) 代表値

データの中心の位置を捉えるには、平均値、中央値、最頻値の3つの代表値を目的に応じて使い分ける。

平均値は、データの総和を総度数で割った値である。いく

つかの数や量をならして、同じにしたときの大きさをそれらの数や量の平均ととらえる「測定値の平均」（小5：図1）の学びを受けて、「代表値としての平均値」（小6）を学習する。平均値は求め方が簡単で便利な指標であるが、極端な値（**はずれ値**）があることによって平均値が極端な値のほうへ引きずられるので注意が必要である（資料1）。また、データに0の値があるとき、目的に応じて0を入れて平均値を求めるかどうか判断することが大切である（資料2、3）。

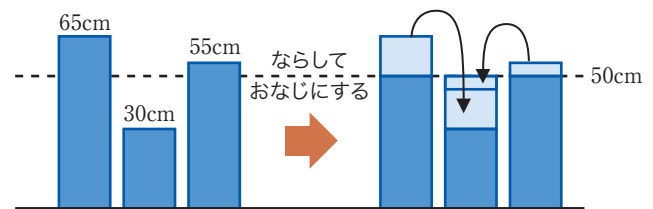


図1 測定値の平均の意味

110, 120, 120, 160, 188, 204, 210, 1000

→ 平均値は264人：8校中7校が平均値より少ない。

資料1 ある市の各小学校の児童数（人）

曜日	月	火	水	木	金
冊数	5	3	0	6	10

→ 1週間の貸し出しの平均値は、0冊を含めて計算する。

資料2 1組の児童が図書室で借りた冊数（冊）

回数	1	2	3	4
記録	5.82	6.31	0 (失敗)	6.18

→ この選手の実際に跳べる距離の平均値は、0mを除いたほうがよい。このようにデータを取り除くことをデータのクリーニングという。

資料3 ある選手の走り幅跳びの記録（m）

中央値（メジアン）（小6）は、データを大きさの順に並べたときの中央にくる値である。データの数が奇数の場合は、大きさの順に並べたときに中央の値があるが、データの数が偶数の場合は、大きさの順に並べたときに中央の2つの値があるので、この2つの値の平均値を中央値とする。図1における中央値は55cm、資料1の中央値は、 $(160+188) \div 2 = 174$ (人)になる。

最頻値（モード）（小6）は、「もとの資料において最も多

く出てくる値」(定義1:小6)と、「度数分布表で最も度数の多い階級の階級値」(定義2:中1)の2つの使い方がある。
資料1の最頻値は120人、表4の最頻値は15分である。

(4) データの散らばりを把握する要約量

資料4のように、2つのデータセットを比較する際に、平均値や中央値が同じでも散らばり方が異なることがある。このようなときは、最大値と最小値の差である**範囲**(中1)を考慮することでデータの散らばりの違いを比較できる。

ID	1	2	3	4	5	6	平均値	中央値
A中学校	152	153	154	160	165	170	159	157
B中学校	150	155	156	158	160	175	159	157

資料4 女子バレー部のスターティングメンバーの身長(cm)

資料4から、A中学校の範囲は $170 - 152 = 18(\text{cm})$ 、B中学校の範囲は $175 - 150 = 25(\text{cm})$ となり、B中学校のほうがデータが散らばっていることがわかる。なお、範囲は、度数分布表を作成する際の階級の幅の見当をつけることにも役立つ。

範囲は最大値と最小値の差であるため、それらの間にあるデータの散らばり方をまったく考慮していない。そこで、資料を小さい順に並べて、これらを4等分する順位にくる3つの値(小さいほうから、**第1四分位数** Q_1 、**第2四分位数** Q_2 (中央値)、**第3四分位数** Q_3 (中2))で、散らばりを評価することがある。第1四分位数は前半部分の中央値、第3四分位数は後半部分の中央値と考えるとよい。資料4のA中学校のデータでは、次のように考える。

	前半部分			後半部分		
A 中学校	152	153	154	160	165	170
	↑		↑	↑		
	Q_1		Q_2	Q_3		
	第1四分位数		中央値	第3四分位数		

四分位範囲(中2)は、第3四分位数から第1四分位数を引いた差($Q_3 - Q_1$)で求めることができる。資料4のA中学校のデータでは、 $165 - 153 = 12(\text{cm})$ になる。つまり、四分位範囲から、中央値 Q_2 の前後25%のデータ数(全体の50%のデータ数)の散らばりのようすを考察することができる。最小値、第1四分位数、第2四分位数(中央値)、第3四分位数、最大値の5つの数量を**5数要約量**(中2)という。

5数要約量は、すべてのデータの散らばり方を考慮してい

ない。そこで、データの散らばりについて、さらに細かくデータ毎に考えるために、平均値と個々の値との差(**偏差**)を利用する(資料5)。偏差の平均をとると0になってしまって、データセット間の散らばり具合を比較することができない。

そこで、各偏差の2乗の値を計算してその平均値を計算すると**分散** s^2 (高校・数学I)を求めることができる。分散の単位はデータの値の単位の2乗になる(資料5では、7本²になる)。そこで、分散の正の平方根をとると($\sqrt{7}$ 本)、単位はデータの値の単位と同じになり、これを**標準偏差** s (高校・数学I)という。平均値よりも大きく異なるデータがあると標準偏差の値は大きくなり、散らばりの違いがわかる。

試合目	1	2	3	4	5	6	平均値
シュート数(本)	3	6	8	2	9	8	6
偏差(平均値との差)(本)	-3	0	2	-4	3	2	0
偏差の2乗(本 ²)	9	0	4	16	9	4	分散 $s^2=7$

資料5 バスケットボール部のAさんの最近6試合のシュート数

資料6のように、「懸垂」と「ボール投げ」の記録などの2つの数量の関係の度合を考えるためには、**共分散** s_{xy} (各データの(x の偏差) $\times$ (y の偏差)の平均値))を考えればよい。しかし、変量 x 、 y の単位の取り方や散らばり具合に影響を受けるので、共分散 s_{xy} を標準偏差 s_x と s_y の積で割った値を考え、これを**相関係数** r (高校・数学I)という。資料6では、次のような計算になる。

$$\text{相関係数 } r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{5.8}{\sqrt{6} \sqrt{10.8}} \div 0.72$$

生徒	1	2	3	4	5	平均値
懸垂 x (回)	11	5	4	8	7	7
x の偏差の2乗	16	4	9	1	0	分散 $s_x^2=6$
ボール投げ y (m)	31	26	22	23	28	26
x の偏差の2乗	25	0	16	9	4	分散 $s_y^2=10.8$
(x の偏差) $\times$ (y の偏差)	20	0	12	-3	0	共分散 $s_{xy}=5.8$

資料6 「懸垂」と「ボール投げ」の間の関係

相関係数 r は、 $-1 \leq r \leq 1$ の範囲である。相関係数 r が1に近いほど正の相関は強くなり、相関係数 r が-1に近いほど負の相関は強くなる。資料6は $r = 0.72$ なので、正の相関が強いことがわかる。

(5) 統計グラフ

絵グラフ (小1) は、質的データの数量 (度数) を絵で表現したグラフである (図2)。データ数が多いときには、図3のように、1つの絵で複数の数量を表すこともある。

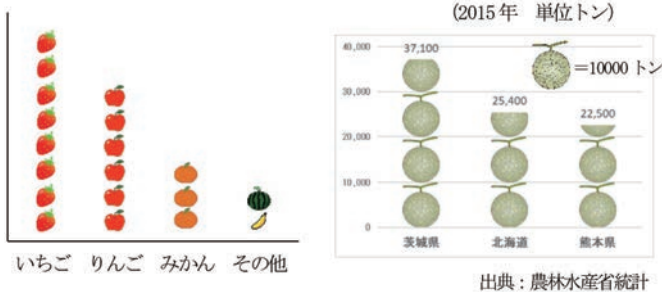


図2 1年1組の好きなくだもの 図3 メロンの上位3県の産地

棒グラフ (小3) は、質的データの数量 (度数) を棒の長さで表現したグラフで、絵グラフよりもかく時間が少なくて済む (図4)。絵グラフと同様にそれぞれの数量間の大小や順位が視覚的にわかりやすい。ただし、図5のように、縦軸の一部を省略すると、数量間の大小は変わらないのに棒の長さの差が大きくなるので、読みとる際に注意が必要である。

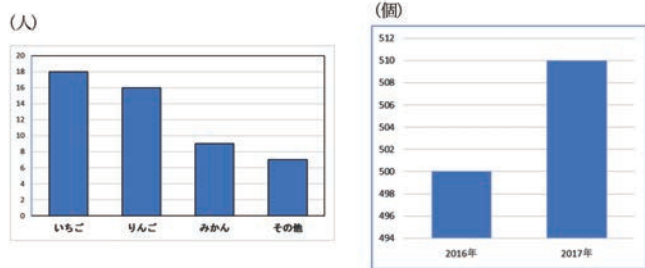


図4 1年生の好きなくだもの 図5 A社の商品Bの売上個数

折れ線グラフ (小4) は、時間とともに変わっていく量的データ (時系列データ) の変化のようすを示したいときに使う (図6)。棒グラフと同様、縦軸や横軸の目盛りの取り方を変えると、折れ線の傾きが変わって印象が異なるので注意が必要である。

円グラフ (小5) は、質的データの数量全体を 100 として、各数量の割合ごとに円をおうぎ形に区切った図である (図7)。

帯グラフ (小5) は、質的データの数量全体を 100 として、各数量の割合を、区切られた長方形の面積で表す。帯グラフを並べると、割合の違いのようすがわかりやすくなる (図8)。図8において、佐賀県はみかんの収穫量の割合は増えているが、収穫量は減っている。このように、総計が異なる場合、割合が

大きくても数量が大きいとはいえないので、それぞれの帯グラフに総数を記入しておくとともに、読みとる際には注意が必要である。

ドットプロット (小6) は、量的データを数直線の上にプロットして表現した図である (図9)。データの散らばりを視覚的に読んだり、元のデータに戻ったりすることができる。データが多いときは、ヒストグラムに表すとよい。

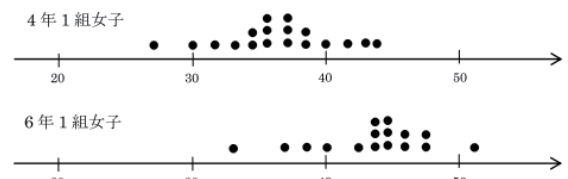


図9 シャトルランの記録 (回)

柱状グラフ・ヒストグラム (小6, 中1) は、量的データを度数分布表に整理し、度数分布表を図に表したものである (図10)。ヒストグラム

の形状からデータの特徴を読みとることができる。ヒストグラムは面積 (密度) に意味があるので、ふつう縦軸は省略せず、各軸の目盛りは

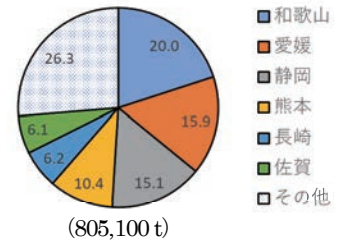


図7 みかんの収穫量(2016年)

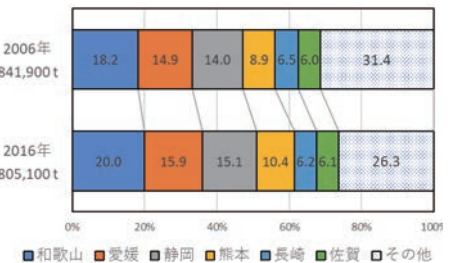


図8 みかんの収穫量

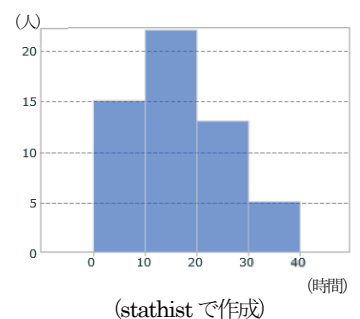


図10 A小学校6年の通学時間(表4より)

等間隔にして、柱と柱との間を離さずにかく。

度数分布多角形(度数折れ線)(中1)は、ヒストグラムの各長方形の上の辺

の中点を順に結んだものである(折れ線と横軸で囲まれた多角形をつくる)。複数のデータセットを視覚的に比較するときに便利である(図11)。

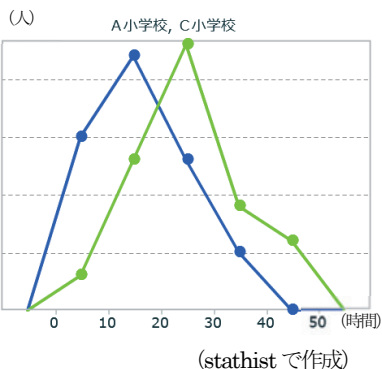


図11 A小学校・C小学校6年の通学時間 (statthistで作成)

箱ひげ図(中2)は、量的データの5数要約量(p.14)を用いて、数直線の上に「ひげ」と「箱」で表したものである(図12)。データセットが増えたときは、度数分布多角形では折れ線が重なってよみとりにくくなるので、箱ひげ図を用いるとよい。箱ひげ図のひげや箱が長いと、それらの中にデータがたくさんあると考える生徒がいるので、指導の際に注意が必要である。

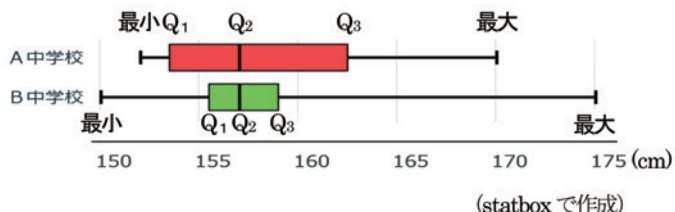


図12 女子バレー部スターティングメンバーの身長(資料4より)

散布図(高校・数学I)は、2つの数量の関係を考える場面で使う。正(右上がり)や負(右下がり)の相関があるかどうかを視覚的に観察できる(図13)。相関係数 $r = \pm 1$ のとき完全相関といい、散布図上の点は一直線上に並ぶ。

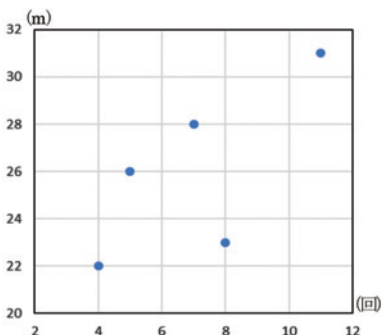


図13 「懸垂」と「ボール投げ」の間の関係(資料6より)

(6) 標本調査(中3)

すべて(母集団)を調べたくても、時間・費用等の問題から、一部(標本)を取り出して調査することがあり、これを**標本調査**という。味噌汁の味見をするときによくかき混ぜるように、

標本は母集団から偏りなく取り出すこと(無作為に取り出すこと)が大切である。

(7) 推定・検定(高校・数学I, 数学B)

推定とは、母集団から取り出した標本のデータを用いて、母集団の平均や分散(母平均や母分散)を見積もる方法のことである。幅(区間)を持たせて見積もる方法を**区間推定**といい、推定の確かさをある確率で保証できる。この確率のことを**信頼度**と呼び、95%や99%の確率がよく使われる。

検定とは、母集団の分布に関する仮定(仮説)を統計的に検証する方法のことである。

例えば、表示が200gの商品について、100個の標本をとり重さを調べたところ、平均値195g、標準偏差3gだったとする。母集団の平均値(母平均) m を「信頼度95%の信頼区間」で推定すると、以下の式になる。

$$195 - 1.96 \times \frac{3}{\sqrt{100}} \leq m \leq 195 + 1.96 \times \frac{3}{\sqrt{100}}$$

また、標本平均195gは基準値200gに達していないが、200gより少ないと判断してよいだろうか。検定とは、このような問題を解くための方法である。

3 ■ 参考図書(資料)の紹介

<小学校の先生・図書室向け>

- 岩崎学監修『表とグラフの達人講座—はじめて出会う統計の本』(同友館)→表やグラフの特徴・読み方・かき方が丁寧に記載。
- 渡辺美智子監修『レッツ! データサイエンス 親子で学ぶ! 統計学はじめて図鑑』→毎日小学生新聞連載の記事を書き下したものの。

<中学校・高校の先生向け>

- 熊原啓作, 渡辺美智子『身近な統計』(日本放送出版協会)→統計を1から学び直したい方にお勧め。
- 日本統計学会編『統計検定3級・4級公式問題集』(実務教育出版)→中学校・高校レベルの統計の問題が掲載。問題場面が豊富なので、教材研究にも利用可能。
- 松元新一郎『中学校数学科 統計指導を極める』(明治図書)→本稿の統計の知識の詳細と中学校の実践事例が掲載。❖

第11回

ユークリッドリズムと
民族音楽

ジャズピアニスト・数学者・
STEAM教育者

中島 さち子 / なかじま さちこ

(株)steAm代表、東京大学大学院数理科学研究科特任研究員。1996年国際数学オリンピックで日本人女子初の金メダル、翌年同大会で銀メダル獲得。東京大学で数学を専攻する一方、ジャズに出会い、卒業後本格的に音楽活動開始。2010年にリーダーアルバム“REJOICE”，2017年に“希望の花”をリリース。著書に『人生を変える「数学」そして「音楽」』（講談社）ほか。現在は、音楽活動や数学研究のほか、数学×音楽公演、執筆、STEAM教育プログラム開発、21世紀型人材教育などに携わる。『算数・数学の自由研究』作品コンクール中央審査委員、日米リーダーシップ・プログラム フェロー、経済産業省『「未来の教室」とEdTech研究会』委員を務める。

民族音楽の不思議を生み出すリズム

世界には本当にいろんなリズムがあります。アフリカやブルガリア、古代ギリシャやペルシャ……。時空を超えて、彼らが体感し楽しんでいたリズムを感じることは、ある意味で彼らの文化や価値観を感じ取る体験に他ならないと思います。

私は民族音楽が大好きです。音楽がまだ生活に根差して湧き上がり、それは自然や神とも融合し、半ば自己と他者が未分化な状態で生まれる音楽。そんな音楽には、ある意味で商業的音楽にはなかなか生まれない「力」や「魂」があります。そして、民族音楽は、しばしばとても不思議なリズムによって作られています。

リズムの持つ呪術的な魔力は、時に人の心や身体を言葉や

意味を越えて揺さぶり、恍惚状態へと導きます。その背後には、数の魔力も潜んでいるわけです。今回は、世界のさまざまな民族音楽のリズムを生み出す、不思議な数学的アルゴリズムをご紹介します！

ユークリッドリズム

2005年、「ユークリッドアルゴリズムが生み出す伝統音楽リズム」^{*1}という論文が発表されました。これは、ユークリッドの互除法のような「2つの自然数の最大公約数を求める」ためのアルゴリズムによって、世界の伝統音楽のリズムパターンのほとんどを生み出すことができる！という面白いもので、世界を驚かせました。

鍵となるのは、「人はなるべく均等にビートを刻みたい、でも少しでもランダムに長くしたり短くしたりすることで揺らぎを出したい」という衝動です。

まず、以下の問いを考えてみましょう。

n 秒の中で k 回ランプが各々1秒間光る（ただし光り始めるタイミングは整数秒のときに限る）とします。それが周期的に繰り返すとするとき、どのように配置すれば一番平均的に光るでしょうか。

これは、原子物理やコンピューターサイエンス等とも関連する問いです。

ここで、この問いかけを以下のように音楽の問いに変換してみましょう！

n 拍子の曲の中で k 回手を叩くとき（ただし手拍子は各々1拍分と考え、整数拍で手を叩くものとします）、どんなリズムで繰り返し叩けば一番平均的なリズムになるでしょうか。

例えば、 $n=16$, $k=4$ ならば [1000100010001000] のようなリズムが一番平均的です。ここで、1 は手を叩いている拍、0 は休んでいる拍を表します。

つまり、16 拍子のうち、最初の 1 拍目、5 拍目、9 拍目、13 拍目に叩けば、一番平均的に叩いている、ということになるといえるはずです。このときは、16 拍子というよりは、実はもっと大きな 4 拍子で、1,2,3,4 拍目すべての拍で手を叩いているのだ、というようにも聞こえますね。このように、 n が k の倍数ならば話は簡単です。

では、 $n=13$, $k=5$ のときは、どのように叩くのが一番平均的といえるでしょうか？

叩いている拍は5拍、叩いていない（休んでいる）拍は8拍あるので、手を叩いている拍と拍の間が平均的に1拍または2拍あればよいかなと思います。例えば、[1001001001010]等が考えられますが、これは前半に休みの拍が集中しているので、もう少し分散させたいところです。例えば、[1001010010100]や[1001010010010]ならば、もっと平均的に叩いているように感じられますね。

このように、 n と k が互いに素（最大公約数が1）である場合も、なるべく平均的な叩き方となるようなリズムを作りたい、と思ったとき、なぜかユークリッドの互除法と似た、図1のようなアルゴリズムが力を発揮するのです。

- (1) 最初に1を k 個,0を $n-k$ 個並べます。
[1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0]
- (2) 次に後半の0を前半の1の後に1つつつ付けます。
[10,10,10,10,10,0,0,0]
- (3) 同様に後半の0を前半の10の後に1つつつ付けます。
[100,100,100,10,10]
- (4) 同様に後半の10を前半の100の後に1つつつ付けます。
[10010,10010,100]
- (5) 2種類目の単語が1つになったのですべてをつなげます。
[1001010010010]

図1 リズムの作り方 $n=13, k=5$ の場合

(4)の次に、後半の100を前半の10010の後ろに1つ付け、[10010100,10010]→[1001010010010]としても構いませんが、本稿では上記のように2種類目の単語が1個か0個になったときにはすべてをつなげてできたものを $E[k, n]$ で表すこととします。

図1の最後の[100101001010]は $E[5,13]$ と表せます。1の所では手を叩き、0の所では休むとすると、これは13拍子のリズムを表すことになります。実際に叩いて遊んでみましょう！ そのほかの例を図2に示しました。

$E[3,8]=[10010010]$ (タ**タ**タ*)
[1,1,1,0,0,0,0,0]→[10,10,10,0,0]→[100,100,10]
→[10010010]
 $E[5,8]=[10110110]$ (タ*タタ*タタ*)
[1,1,1,1,1,0,0,0]→[10,10,10,1,1]
→[101,101,10]→[10110110]
 $E[2,8]=[10001000]$ (タ***タ***)
[1,1,0,0,0,0,0,0]→[10,10,0,0,0,0]→[100,100,0,0]
→[1000,1000]→[10001000]

図2 いろいろなりズム

さて、この作業はユークリッドの互除法とどこが似ているのでしょうか。再度、最初に見た $E[5,13]$ の導出方法を見てください。すると、途中の[]の中には2種類の単語があります。各々の単語の個数を書き出していきましょう。

- (1) [1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0] → 5個と8個
- (2) [10,10,10,10,10,0,0,0] → 5個と3個
- (3) [100,100,100,10,10] → 3個と2個
- (4) [10010,10010,100] → 2個と1個
- (5) [1001010010100] → 単語が1種類となり無事完成

この過程では、ユークリッドの互除法で利用した性質

$$G.C.D.(a, b) = G.C.D.(b, a-b) \quad (a > b \text{ のとき})$$

を何度も用いていることがわかります。ここで、 $G.C.D.(a, b)$ は自然数 a, b の最大公約数を指しています。

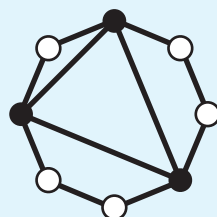
つまり、図1のアルゴリズムはユークリッドの互除法におけるアルゴリズムと本質的に同じものであったということになります。

よって、この作業は、 k と n が互いに素である限り、2種類目の単語が1つになるまで続きます。反対に、 k と n が互いに素でないときは、いずれ1種類の単語のみ（2種類目の単語は消失）となります。

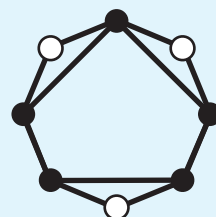
このようにして得られたリズムを、ユークリッドリズムと呼びます。

ユークリッドリズムのストリング表示とネックレス

ユークリッドリズムは、図3のように絵で表すこともできます。12時の位置から時計回りに1ならば●、0ならば○を置いています。そのとき●と●で結ばれた弧の長さを順に並べたもの（以下の(3,3,2)や(2,1,2,1,2)など）をストリング表示と呼びましょう。



$E[3,8]=[10010010]$
=(3,3,2)
 $8=3+3+2$

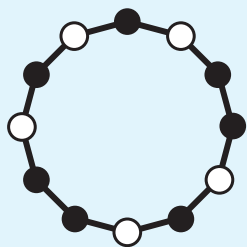


$E[5,8]=[10110110]$
=(2,1,2,1,2)
 $8=2+1+2+1+2$

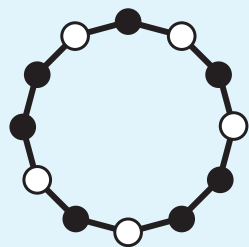
図3 ストリング表示

実は、この E[3,8] のリズムは、Cuban tresillo と呼ばれるリズムと同じです。また、ハバネラやロッカベリー、エルヴィス・プレスリー（1935-1977、米国の音楽家）の“Hound Dog” のベースライン、西アフリカ伝統音楽にも現れます。一方、この E[5,8] のリズムは、Cuban cinquillo と呼ばれ、やはりジャズやロッカベリー、エルヴィスの“Hound Dog”の手拍子、西アフリカ伝統音楽にも現れます。

また、先のような図をくると（別の黒点が一番上に来るように）回転させて得られるリズムを、元のリズムの「ネックレス」と呼びます。



E[7,12]:
[1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0]
→[10,10,10,10,10,1,1]
→[101,101,10,10,10]
→[10110,10110,10]
→[101101011010]
→[101101011010]
= (2,1,2,2,1,2,2)



E[7,12]のネックレス
[101011010110]
= (2,2,1,2,2,1,2)

図4 E [7,12] とそのネックレス

世界の民族音楽とユークリッドリズム

他にも、世界のさまざまな（民族）音楽のリズムがこのようなユークリッドリズムやそのネックレスになっていることが知られています。参考例をご紹介します。ぜひ手を叩いて、世界のさまざまなリズムを感じ取ってみてください！

なお、 $E'[k, n]$ は $E[k, n]$ のネックレスの一例を表します。

◆E[2,5] = [10100] = (2,3)

13世紀ペルシャ音楽、チャイコフスキー交響曲第6番

◆E'[2,5] = [10010] = (3,2)

Dave Brubeck “Take Five”

◆E[3,7] = [1010100] = (2,2,3)

ブルガリアFolk Dance, Pink Floyd “Money”

◆E[4,7] = [1010101] = (2,2,2,1)

ブルガリアFolk Dance

◆E[5,7] = [1011011] = (2,1,2,1,1)

アラブ音楽

◆E[4,11] = [10010010010] = (3,3,3,2)

Frank Zappa “Outside Now”

◆E[5,12] = [100101001010] = (3,2,3,2,2)

南アフリカ音楽

◆E[7,12] = [101101011010] = (2,1,2,2,1,2,2)

西アフリカのベルパターン、ガーナのAshanti族の音楽

◆E[9,16] = [1011010101101010] = (2,1,2,2,2,1,2,2,2)

中央アフリカ共和国音楽

◆E'[7,16] = [1010010101001010] = (2,3,2,2,3,2,2)

ブラジルSamba

◆E'[11,24] = [1010101010100101010100]

= (2,2,2,2,2,3,2,2,2,2,3)

中央アフリカのAka ピグミーの音楽

いかがでしたか？ ピグミーの24拍子など、なかなか繰返し演奏するのは難しいですね。けれど、だからこそ、恍惚とした自然で土着的なグルーヴが生まれていて、その音楽は本当に美しく神聖です。私たち人間は元来、音楽とともに生き、音楽とともに生活や文化、価値観を作ってきました。そして、その背後には数の魔法があります。数や音は、いついかなる時代・場所であっても、私たちの人生に彩りを与えてくれる大事なパートナーなのだ、と私は思っています。 ❖

参考資料

- ※1 G. T. Toussaint, The Euclidean algorithm generates traditional musical rhythms, Proceedings of BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music, and Science, Banff, Alberta, Canada, July 31 to August 3, 2005, pp. 47-56.

第11回

大事の前の小事



東北大学 高度教養教育・学生支援機構
准教授

山内 保典 / やまのうち やすのり

1977年愛知県に生まれる。2005年名古屋大学大学院教育発達科学研究科博士課程後期課程修了。博士（心理学）。名古屋大学大学院情報科学研究科（研究員）、大阪大学コミュニケーションデザイン・センター（特任研究員・特任助教）、大阪大学全学教育推進機構（講師）を経て、2016年より現職。コミュニケーションを軸に、科学の営み、科学者と市民の対話、科学技術政策形成への市民参加を研究・実践している。現在は、将来の科学者や研究者が学ぶ高等教育の在り方にも関心を広げ、カリキュラムの調査、開発、実践にも取り組んでいる。

学習発表会の思い出

小学校の頃、学習発表会で、飢えに苦しむ村全体のために若い娘が生贄として人柱になるという劇を見ました。そのとき、私は何とも言えない嫌な気がしました。仮に生贄に効果があるとしても、罪のない人が命を失うのは間違っているという思いがある一方、多くの村人が飢えているという現実の前に、生贄は大事の前の小事にすぎず、仕方がないという思いもありました。そして、このような矛盾する思いを抱えていることに、居心地の悪さを感じました。時は流れ、今では、むしろ悩むことを楽しんでいます。

さて、1人（少数の人）が大きな犠牲を負うことで、他の人（多数の人）が恩恵を受けることは、今でも社会のあちこちで見られます。科学研究も例外ではありません。これを大

事の前の小事として片付けて良いのでしょうか。今回の作品では、人口爆発した後の食料難の世界で、偶然、特異体質を得た男が出てきます。そして、この男を解剖すれば、食料難を解決する可能性があるという状況です。皆さんは、この男をどう扱うべきだと思いますか。

今回のポイントー公衆の利益のために囚人を解剖すべきか

ここでは紹介しきれませんでしたが、この作品には、複数の論点が盛り込んであり、それらが複雑に絡み合っています。以下では、公衆の利益のために囚人を解剖すべきか否かに焦点を当てますが、より多様な視点から考えたい人は、ぜひ原作をお読みください。

この作品の中で繰り返される現実とは、誰かが意図したものではありません。例えば、誰もが命は大事であると考えているにもかかわらず、現実には戦いが起き、多くの罪なき人間、特に食料に困っている弱者が死んでいます。また公衆のため囚人を解剖すべきだと、すべての登場人物が心のどこかで考えているにもかかわらず、いまだ囚人は解剖されていません。現実というのは、さまざまな立場の人の考えや行為の相互作用により、思わぬ形になるのがわかります。

皆さんは、囚人を公衆のために解剖すべきだと思いますか。以下では、さまざまな立場から一通り考えてみます。どの考えに共感するでしょうか。もちろん抜けている立場や考えもありますし、異議もあると思いますので、その点は適宜考察に加えてください。そのうえで、どの立場の意見を優先すべきか、どう総合的な判断をするのかを考えてください。

「公衆のために解剖すべきである」という立場

「公衆のために解剖すべき」という立場を、言葉でも行動でも示しているのが群衆です。群衆にとって、解剖によって恩恵を受ける公衆とは、まさに自分たちです。逆に言えば、解剖しないことによって、最も犠牲になっているのも自分たちです。囚人と自分たちのどちらが犠牲になるかという二者択一の極限状態なのです。何もせずに飢えを待つよりも、刑務所から囚人を奪う可能性に賭けるのも無理はないように思えます。誰もが緑色がかった皮膚の人間になりたがる状況は異様ですが、それほど差し迫っているのでしょう。

作品の概要 「囚人」 星 新一

『ボンボンと悪夢』（新潮社）収録

刑務所の屋上に、機関銃をかかえた看守と、囚人である男がいる。ただし状況は変だ。そもそも男は犯罪者ではない。また看守は脱獄の警戒をせず、内心では脱獄してほしいと願っている。しかし男は出ていかない。

かつて男は電波研究所の技師だった。平和が続き、予想を上回って人口は増加し、食料不足となっていた。溶液に電波を当て食料に変える研究の最中、事故で誤って男に電波が照射された。男の皮膚は緑色になった。男は食欲をなくし、鉱物質の溶けた水と日光だけで、体力が維持される体質に変わった。偶然とはいえ、食料問題を解決する研究が成功したのだ。

研究者は再現を試みた。多くの人が再現を期待し、進んで試験台にあがった。しかしその期待は、効果がゼロか、死でむくいられた。男も嚴重に検査されたが、ふつうの診察方法では、謎は解明されなかった。医学関係者は、男を徹底的に解剖しない限り、解明は無理だと報告した。男は、その報告がマスコミに伝わる寸前に、警官隊にまもられ、刑務所に収容された。こうして男は囚人となったのだ。

昼。いつものように、人びとの叫び声が刑務所に近づいてきた。その声は弱々しいが、うらめしそうな思いがこもっている。ばらばらだった声は、「囚人を渡せ」に統一され、合唱のようになった。

群衆は刑務所を取り囲む。サイレンが鳴り、看守たちは配置につき、塀を乗り越えたら射殺すると群衆に警告する。そして塀を越える者に対し、機関銃は発射され、侵入者のやせおとろえた体を死体に変えた。

囚人は、看守に「引き金を引くときに、どんな気持ちがある」と尋ねる。群衆も悪人ではないのだ。さらに「筒先を、こっちに向けたくならないかい」と尋ねる。看守

は、反抗でもしてくれない限りできないと答える。囚人を射つことを考えているが、それを許さないものが心の中にあるのだ。良心か、秩序を守る義務感かわからない。一方、群衆の中に友人や親類が混ざっている可能性を知りながらも、侵入者を射つのは、ためらいを感じない。警告を無視することも、大した悪とは思えないが、何一つ悪をやっていない囚人に比べれば悪だ。看守は、いつのまにか法律と職務に従うように出来あがってしまった。

やがて囚人は考え抜いた調子で、自殺すべきだとわかっているが、いざとなると命が惜しくてできない、といった。囚人は、自分を死刑にする法律の成立について尋ねるが、成立は無理だと看守は答える。公衆の利益のためとはいえ、罪のない人間を殺すことなど、悪質な伝染病患者など存在自体が危険でもない限り、責任ある立場の者は言えない。

囚人は、自分を人間ではなく、研究用のモルモットと考えてはどうかと提案する。人間ではなくなった自分のために、人間同士が戦っているのはおかしい。群衆の侵入に任せよう、と看守にいう。自分では死ねないが、群衆に殺されるなら死ねる。しかし看守は、囚人を解剖し、すべてが判明し、みな緑色の皮膚を持つ人間になった時のことを考える。その時には、それが標準人間になり、自分たちのために、自分と同じ罪のない人間を殺したことになる。罪のない人間を殺すことによってできた社会を、何によって維持すれば良いのか。目的さえあれば無実の人間を殺してもいいという道徳や法律では、すべてがめちゃくちゃだ。看守は「強い説得力のある思考体系の出現を、待つしかないね」という。

ヘリコプターで弾薬が補給された。群衆はそれを見て、今日の侵入をあきらめたいらしい。銃声は止み、叫びは遠ざかっていった。日がかげり始めた。いつもと変わらぬ一日が終わり、夜のけはいが静かにひろがりはじめてきた。

研究者や医学関係者は、囚人の徹底的な解剖を提案しており、そこに大きな罪悪感は見られません。公衆を救う知識を得るためには、犠牲を厭わないという姿勢が貫かれており、事実、偶然の成功を再現するために何人もの命を奪っています。群衆と違い優先的に食料が配布されると予想されるので、第三者的に犠牲と利益を天秤にかけて判断した結果だと思われます。一方で、囚人の命の扱いを、本人以外が軽々しく判断することに違和感を持つ人もいます。またうがった

見方をすれば、公衆のためと言いながら、自分の知的好奇心を満たしているだけかもしれません。

他国の政治家の考えも想像してみましょう。まず他国でも同様に解剖を望む群衆はいるでしょう。むしろ他国の囚人なので命が軽視され、より活発な運動になるかもしれません。そうした世論を無視するのは困難です。さらに仮に囚人を抱えている国が、変異を起こす技術を秘密裏に確立すれば、その技術を独占し、大がかりな兵糧攻めで侵略を始める可能性

もあります。したがって、囚人を国際的な管理下に置き、技術の独占ができない状態で解剖するという国際的な合意形成を進める動きも予想されます。国によっては、自国が技術を独占するために軍事行動を起こすかもしれません。

「公衆のために解剖すべきではない」という立場

囚人は、自殺すべきだと考えているができません。また脱獄したり、看守に反抗したり、自ら研究対象になることを志願したりといった、間接的な自殺もできません。その理由は、生命への執着があるからです。

ただし解剖されていないのは、解剖される本人である、囚人の思いを優先した結果ではありません。むしろ囚人は、他者がもたらす否応ない死を望んでいます。囚人の命は、囚人の意思だけでは、コントロールしきれいていません。

看守は「目的さえあれば無実の人間を殺してもいいという道徳や法律」が社会の基礎になることを問題視しています。そして看守は、問題の解決には、新しい思考体系の出現を待つしかないと言います。作中で描かれた人体実験は、それを支える思考体系がないため実行できません。思考体系という言葉は、一見、科学研究とは縁遠いように見えますが、科学研究の背景に存在します。この思考体系を問い、練り直していくことは、良い研究をするために欠かせません。

この思考体系の中には、例えば作中に出てきた「標準人間とは何か」も含まれています。囚人は、自分は標準の人間ではないため、実験動物として扱うことが許されると言います。それに対し看守は、今は標準でない人間でも、技術が浸透すれば、それが標準の人間になるため、やはり自分と同じ罪のない人間を殺したことになる言います。こうした境界線を引くような議論は、多くの研究の中で問われます。

なお、標準に関する議論には、(特に人工物でない物事の場合) 注意が必要です。まず看守が示唆するとおり、標準自体が変化します。今後、医療やバイオテクノロジー、人工知能やロボット技術の進展は、標準の人間像^{おとし}を変え続けるでしょう。さらに特定の人々を優遇したり、^{おとし}貶めたりするために、意図的に変えられたり、狭められたりもします。

責任ある立場の人間は、解剖すべきだと考えても、口にはできないと言われています。直近の選挙などを考えると、公衆の受けが良い主張をするほうが得票しやすいように見えま

す。しかし、その代償として、目的のためなら何でもする人間というレッテルが貼られ、責任ある立場に立ち続けることは困難になるでしょう。解剖すべきだと言わないことは、良心的な判断ともいえますが、一方で、単なる保身にも見えます。国全体のことを考え、厳しい決断を行うことこそ、責任ある立場の人間の仕事と考える人もいでしょう。また、上述した国外からの圧力がかった場合、国際問題になるのを恐れて解剖を肯定するのか、レッテルを恐れて口をつぐむのかも興味深いです。

作品には出てきませんが、現状維持を積極的にする立場もあり得ます。例えば、より悲惨な状況を危惧して、変異による副作用の有無、生殖能力への影響、全人類への電波照射の実現可能性などを先に検討するという立場があります。また解剖しても謎が解明できず、唯一の希望を早々に失うことを懸念して、しばらく囚人を生き延びさせて、(理想的には解剖せずに) 謎を解明する技術を確立するという立場もあります。さらに、人口過多はいずれにせよ持続可能ではないので、涙をのんで人口減を受け入れる立場もあります。

現代の私たちとのつながり

ここで見た問題の構造は、あちこちで見られます。例えば、廃棄物処理施設などを設置すれば、その悪影響を受ける可能性のある少数の人と、その施設の恩恵を受ける多数の人がいます。さらに言えば、現在、日本という先進国に住む私たちは、どこか別の地域や将来世代を犠牲にしながら、恩恵を得ているともいえます。どのような思考体系によって、こうした現状を肯定できるのかを見つめ直し、そこに問題はないかを考える価値はありそうです。

作品では、誰も望まない対立が続きますが、現実では対立が収まることもあります(が、禍根が残ることもあります)。また勝者と敗者を生まないために、技術を発展させたり、法律、制度、思考体系を変えたりすることで、対立を解消する新しい解決方法を探すこともできます。ただし、それは容易ではありません。作品でも見たように、現実には複雑な相互作用を経て、思わぬ形になります。事実、争いのない世界を誰もが望んでいるのに、なかなか実現しません。絡まり合う要因を解きほぐし、地道に編み直すことで、問題のない社会を生み出す知を獲得し、継承していきたいものです。❖

第11回

ヒトの妊娠・出産に関する話題



東京都立国立高等学校 主任教諭

大野 智久 / おおの ともひさ

1981年茨城県に生まれる。2004年東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了。在学中は松田良一教授に師事。2006年都立高校の教諭（理科・生物）となり、2015年より現任校に勤務。日本生物教育学会、日本生物教育会に所属。東京都生物教育研究会を中心に活動。日本人類学会や日本人類遺伝学会などの学会と連携し、「ヒトの生物学」の高校現場への導入を模索。上越教育大学の西川純教授の提唱する『学び合い』の考え方に基づく協働学習を実践。NHK高校講座の生物基礎の講師を務める。

出産と腸内細菌

今回は、ヒトの妊娠・出産に関して、いくつかの話題を取り上げて紹介していきます。まずは、前回お話しした腸内細菌に関して、妊娠・出産との関係を紹介します。

ヒトの胎児は、母親の胎内では無菌状態の羊水に浸かっています。当然、胎児には腸内細菌も不在です。しかし、前回も述べたように、適切な腸内細菌を定着させることが私たちの健康にとっては非常に重要です。例えば、コアラはユーカリの葉を食べます。ユーカリを分解するのはコアラの腸内細菌です。生まれたばかりのコアラの腸にはユーカリの葉を分解する微生物がないので、母親は「パップ」と言う糞便に似た離乳食を出して子に与え、微生物を受け渡します。このような、親から子への腸内細菌の受け渡しは、他の生物にも

広く見られる現象です。ヒトでは、出産の際に巧妙に腸内細菌を受け渡しています。

出産時、膣を通る際に、赤ん坊は膣内に存在する乳酸菌などの微生物にさらされます。これが赤ん坊に取り込まれます。また、陣痛中や出産時にほとんどの女性は排便するため、赤ん坊が顔を出したとき、母親のお尻に頭が向いた際、糞便に含まれる細菌にもさらされることになり、これらの細菌も赤ん坊に取り込まれると考えられます。このようなプロセスで、膣内や糞便から赤ん坊に腸内細菌を受け渡すことができるのです。こうして考えると、帝王切開の「リスク」が見えてきます。帝王切開では、出産時に膣内や糞便から受け渡されるはずだった細菌が「失われる」可能性が強くなってしまいます。

母乳と腸内細菌

出産時だけでなく、出産後も、母から子へ微生物が受け渡されます。実は、母乳の中に微生物が含まれているのです。乳房組織には、通常は膣や腸に存在する細菌が含まれており、授乳を通じて母親から子に受け渡されます。先ほど、帝王切開で出産時の微生物の受け渡しに影響があることを述べましたが、陣痛が始まる前に計画的な帝王切開で出産した女性の初乳に含まれる微生物は、経膣出産した女性のそれとかなり違うことがわかっています（一方、陣痛が来た後の緊急の帝王切開を受けた女性では、経膣出産した女性と初乳の微生物が似ているそうです）。

母乳と腸内細菌の関係性として、受け渡しだけではなく、栄養の面からも興味深いことがあります。出産直後に出る初乳には、多くのオリゴ糖が含まれています。オリゴ糖は単糖が数個結合した炭水化物の総称で、ヒトの母乳には多くのオリゴ糖が含まれています。ヒトはあまりオリゴ糖を分解する酵素を持たないため、成人では特にオリゴ糖を必要ともしませんが、オリゴ糖は乳酸菌などの腸内細菌の「餌」になります。母乳に含まれるオリゴ糖により乳酸菌が増えることになります。そして、乳酸菌が作り出した乳酸が赤ん坊の成長に重要な役割を果たします。

赤ん坊では、特定の種類の微生物を選抜し、それを定着させることが重要であり、オリゴ糖はそのことに貢献していると考えられています。粉ミルクで育てられると、腸内細菌の

種類が増えることがわかっています。これは、母乳のように特定の細菌に選択的に栄養を与えることができないためだろうと考えられています。また、出産後、数週間経って腸内細菌が安定してくると、母乳中のオリゴ糖の量が減っていきます。これは、特定の細菌を選択して定着させる、という役割を果たしたからです。

このように、母から子へ、出産や授乳によって、適切な腸内細菌が受け渡され、育まれているのです。帝王切開や粉ミルクは、絶対に必要な場合もあります。しかし、現在は必要以上にこれらに頼っている状況があるのではないのでしょうか。

- ① 出産時の受け渡し（腔内、糞便）
→帝王切開ではうまく受け渡せない
- ② 母乳での受け渡し
→粉ミルクではうまく受け渡せない

図1 母から子への腸内細菌の受け渡し

ヒトの妊娠と薬物

高校の生物の教科書を見ても、「生殖・発生」の単位ではウニ、カエル、イモリ、ショウジョウバエなどは扱われていますが、ヒトは登場しません。ヒトの生殖・発生については「保健」で扱われているためです。しかし、保健で扱われている内容も、生物学の知識があるとより深く理解することができます。

例えば、妊娠中のタバコやアルコールは避けるべきである、と保健の教科書にも記載があります。しかし、その詳しい理由は生物を学習しなければわかりませんし、せっかく生物を学んだのであればこのようなこともわかってほしいと思います。

ヒトは胎盤によって胎児とやりとりしています。胎児は母体の血液から酸素や栄養の供給を受けますが、「血液胎盤関門」と呼ばれるしくみにより、分子量がある程度大きい物質は胎盤を通過できないようになっています。このため、例えば赤血球が混じり合わないようになっており、母子で血液型が異なる場合でも血液の凝集反応は起こりません。

タバコに含まれるニコチンや一酸化炭素、お酒に含まれるエタノールなどは分子量が小さいため血液胎盤関門を通過してしまいます。ニコチンは胎盤の血管を収縮させて栄養の供給を低下させ、一酸化炭素は胎児の血液中のヘモグロビンと

結合し、酸素の運搬を低下させます。また、胎児はアルコールを代謝するための酵素をほとんど持たないため、妊娠中の飲酒により胎児の発育の遅れや器官形成の不全につながる可能性があります（胎児性アルコール症候群）。

図2は、ヒトの発生の危険期を示しています（ここでは受精後第何週ということを示しているため、妊娠第何週という場合には2週プラスして考えてください）。発生の初期段階のほうが先天異常などにつながる影響が大きい時期で、特に第3週から第6週（妊娠第5週から第8週）に特に集中していることがわかります（例えば、発生の分野で学習する三胚葉が分化してくるのは受精後第3週です）。この時期、女性はまだ妊娠していることに気付いていないことも多くあります。ですから、妊娠の可能性があるのであれば、喫煙・飲酒は絶対にしないほうがよいのです。

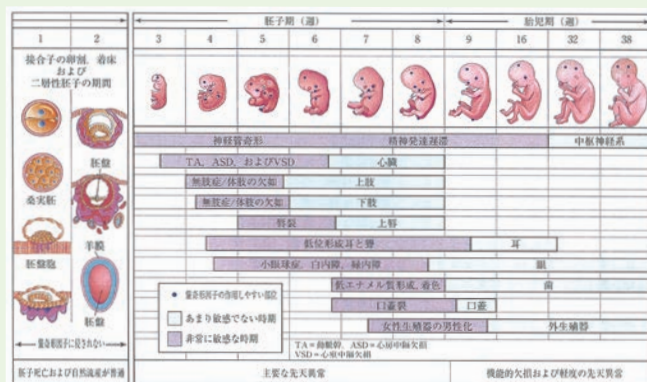


図2 ヒトの発生の危険期を示す模式図『受精卵からヒトになるまで』（医歯薬出版株式会社）より引用

出生前診断と人工妊娠中絶

最後に、出生前診断についての話題を紹介します。出生前診断とは、赤ちゃんが生まれる前に、どんな病気や奇形を持っているかを調べる診断技術のことで、超音波検査などがよく知られています。そこから、例えば性別などの情報を得ることも一つの目的ですが、その他に産まれる前に赤ちゃんの治療を行ったり、お産の方針を決定したり、出生後の赤ちゃんの治療の準備をしたりするという重要な目的もあり、基本的には胎児や母体の健康のために行うものです。一方で、出生前診断は、人工妊娠中絶につながることもあります。

母体保護法では、人工妊娠中絶とは、「胎児が、母体外において、生命を保持することのできない時期に、人工的に、胎児及びその附属物を母体外に排出することをいう」と定義

されています。胎児が生命を継続することができない時期については、妊娠第22週未満となっており、人工妊娠中絶ができる条件は図3のように定められています。

1. 妊娠の継続又は分娩が身体的又は経済的理由により母体の健康を著しく害するおそれのあるもの
2. 暴行若しくは脅迫によつて又は抵抗若しくは拒絶することができない間に姦淫されて妊娠したもの

図3 母体保護法での人工妊娠中絶に関する記載

ここで、ダウン症と人工妊娠中絶に関して考えてみましょう。ダウン症は、細胞分裂時の染色体不分離などにより21番染色体が2本ではなく3本になっていることが原因の疾患です。

妊娠中に羊水から胎児由来の細胞を採取しそれを調べることにより（羊水検査）、胎児がダウン症であるかどうかを調べることができます。また、検査結果が陽性だと、中絶につながる場合があります。

胎児がダウン症だからという理由での人工妊娠中絶に関して、図3に示した母体保護法からは中絶が可能なケースに当てはまらないように見えます。しかし、実際の現場では、「経済的理由」などを適用しての中絶が可能になっているようです。ただし、ダウン症と診断するための羊水検査は、ある確率で流産してしまうことや、検査の費用が高いこともあり、それほど気軽に受けられるものではありません。しかし、2013年4月に日本で「新型出生前診断」と呼ばれる検査が受けられるようになると状況が変わりました。

新型出生前診断の是非

新型出生前診断は、母体の血液中に存在する胎児由来のDNAを調べるもので、胎児がダウン症かどうかを99%の確率で判定することができます。羊水検査とは違い、血液を採取するだけなので、流産等の危険性はありません。また、羊水検査が妊娠第15～18週でしか実施できないのに対し、新型出生前診断は妊娠第10～22週で検査が可能です。人工妊娠中絶との関係でいえば、妊娠第22週以降中絶が認められないことを考えると、新型出生前診断は早期に診断が可能という点も特徴です。

それでは、新型出生前診断と人工妊娠中絶とは実際にはど

のくらい関係があるのでしょうか。2018年3月19日の朝日新聞の記事によると、2013年4月から2017年9月までに5万人以上が検査を受け、933人が陽性。そのうち781人が羊水検査などの確定検査を受け、陽性が確定したのが700人。そのうち654人が人工中絶を選んだそうです。

この数字を高いとみるかどうかはそれぞれの判断だと思いますが、少なくとも新型出生前診断が人工妊娠中絶の選択と関係があるということと言えます。

海外では、「胎児条項」という、胎児の疾患を理由にした中絶を認める法律を持っている国もあります。日本でも胎児条項を導入するべきだという意見もあります。

厚生労働省研究班が日本ダウン症協会の会員に対して2015年に行ったアンケート調査では、「毎日幸せに思うことが多いか」との質問に、「はい」「ほとんどそう」と答えた人が92%だったそうです。クリティカル・シンキングの基本は、「さまざまな視点から考える」ことや「前提を疑う」ことです。何となく「ダウン症」という言葉から、障害、不幸というようなイメージができあがってしまっているかもしれませんが、このアンケート調査からは「ダウン症＝不幸」という前提は成立しないように思います。

命について考える生命倫理は、現在は現代社会で扱われているようですが、生物学的な基盤がなければ思考の深まりや広がりが希薄になってしまうことでしょう。

高校生物の授業では、まずは妊娠・出産に関する生物学的な基礎知識やさまざまな出生前診断の原理を扱うともに、母体保護法などの関連する法律などの知識も活用しながら、例えば新型出生前診断の是非について議論するような授業が展開できるとよいのではないのでしょうか。



参考文献

- アランナ・コリン(2016年)『あなたの体は9割が細菌』河出書房新社
Moore 他(2007年)『受精卵からヒトになるまで 第6版』医歯薬出版株式会社
香山リカ(2013年)『新型出生前診断と「命の選択」』祥伝社新書

教育に
新しい風を

プログラミング教育の可能性と STEAM教育への期待



富山大学 名誉教授

山西 潤一 / やまにし じゅんいち

● プログラミング教育は難しくない

2020 年からの新学習指導要領の全面実施がいよいよカウントダウンに入った。小学校では、外国語教育やプログラミング教育、アクティブ・ラーニングの推進など、新たな教育内容やその方法を巡る議論で、教師の不安が広がっている。

ここで、筆者が長年関わってきたプログラミング教育に関して私見を述べてみたい。プログラミング教育という言葉から、多くの方は、プログラミング言語を用いて、コンピュータに目的の仕事をさせるためのプログラムを作る、コーディングを学ぶことと考えてしまう。ICT 技術の基礎を学び、そのための人材育成の第一歩だという意見も聞かれる。しかし、私はそうは思わない。30 年前、情報化が進むことで、私たちの身の回りには便利なブラックボックスが増え、だれもがボタンを押せば、すべて自動でしてくれる便利な道具が増えることを喜んだ。しかし、ブラックボックスでいいのか、そこに新たな問題が生じる。発達段階に応じて、ブラックボックス化したシステムの中身を考え、どのような仕組みで動いているのかわかることが重要だ。望ましい情報化は一部の専門家のみに任せるのではない。中身がある程度理解できれば、その便利さや危うさも理解できる。そのためには自らシステムを作ってみるのが一番。子供のために開発されたコンピュータ言語を用いて、信号機やロボットを作ってみる活動を行なった。2 時間程度の学習で子供たちは見事な作品を作ったものだ。その創作活動で、論理的に考える力、創造する力が育つとともに、最も大事な、情報システムは人が考えて作り出したものという理解につながった。

プログラミングの経験のない先生方にとっては、コンピュータ言語を覚える、その仕組みまで…という不安がある。しかし全く問題ない。よりわかりやすいコンピュータ言語も開発されているし、日本語で手順が説明できればいいのだ。私の経験から言えば、小学生が 1, 2 時間で理解できる内容だ。

もう一つ、プログラミング教育には道具が必要なことは言うまでもない。安価なタブレットコンピュータの導入も進むが、できれば情報システムをクリアなものにするセンサーやモータなどの入出力装置が欲しい。これも安価でわかりやすいものがたくさん出てきた。当然のことながらプログラミング教育推進のための教材費は必要だ。一昨年、プログラミン

グ教育に先進的に取り組んでいるエストニアの教育事情を視察した。小学校でも情報の授業だけでなく、1年生の算数、3年生の美術、5年生の社会など、多くの教科で教科の内容理解のために子供たちはコンピュータやロボットを動かして課題解決のための作品作りを行っていた。プログラミングを学ぶための学習ではなく、道具としてコンピュータやロボットを活用する。そこに論理的思考力や創造的思考力が育つ姿を垣間見ることができた。日本のプログラミングもそうありたいものだ。

● 論理的思考とコンピュータ的思考の混同

新学習指導要領では、「プログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動」を計画的に実施するようにと示されている。ここで、プログラミング教育を先駆的に実施している諸外国では、Logical Thinking と Computational Thinking をきちんと区別して使っていることに注意すべきだ。論理的思考とコンピュータ的思考である。論理的思考力の育成は、何もプログラミング教育が行われるから実施するものではなく、従来の学習活動のなか、さまざまな教科で実施されてきている。プレゼンテーションでの論理的説明や言語表現活動など数え上げたらきりがない。国語の単元にもなっている。もちろん、この論理的思考とコンピュータ的思考とが全く別ものではない。ただ、私が違和感を覚えるのは、プログラミング教育の背景にある、IoTの進展による情報社会の中で、私たちの生活や社会を支えてくれる便利な機械が「魔法の箱」ではなく、人が考えた「便利な箱」だということをプログラミングを通して児童生徒に理解させることだ。コンピュータは「どのように情報を受け取り、便利な箱にするために、その情報をどのように加工し、動かしているのか」を考えるコンピュータ的思考が不可欠であると思うからである。私が夏休みに行ってきたプログラミング教室では、まず最初に人はどのように外界から情報を受け取り、目的の活動をするのに、その情報をどう判断し考え、最終的には手足をどう動かすのかといった行動モデルを考えるとところから始める。その結果、子供たちは、みな素晴らしいコンピュータを持っていることに気づくのだ。論理的思考をコンピュータ的思考に結びつけることが、ブラックボックス化した「魔法の箱」を透明なも

のにする。コンピュータの持つ機能をよりよい社会のためにどのように活かせばいいか、まさに問題解決学習につながるの、コンピュータ的思考でありシステム思考だ。

● 問題解決能力の育成に STEAM 教育を

新学習指導要領の総則において、「児童生徒の発達の段階を考慮し、言語能力、情報活用能力、問題発見・解決能力等の学習の基盤となる資質・能力を育成するため、各教科等の特性を活かし、教科横断的な視点から教育課程の編成を図る」と示されている。上述したように、コンピュータ的思考は問題発見・解決能力の育成につながるし、そのような問題解決のためのプログラミング教育は、STEAM 教育にもつながる。

STEAM 教育とは、S(科学)、T(技術)、E(工学)、A(アート)、M(数学)などの学習内容を教科横断的に活用して課題解決学習を行わせる総合的学習をいう。次代が求める能力として、アメリカ等先進諸外国で始められた教育である。日本でもようやく STEAM 教育が注目されるようになってきたが、昨今声高に言われるアクティブ・ラーニングの、学びに向かう力・人間性等の視点で「コンピュータの働きをよりよい人生や社会づくりに活かそうとする態度を涵養する」ことにもつながると筆者は考えている。オーストラリアでは、STEAM 教育に国の政策としてたいへん力を入れている。中でも Merrimac 州立高校（日本の中高一貫校：オーストラリアではほとんどの州立学校が一貫校）では、STEAM の E が Engineering ではなく、Enterprise だという。生徒は、いま社会ではどんな ICT を活かすニーズがあるかを考え、分析し、そのようなシステムを実際に制作するのである。当然のこととして、システム作りにはプログラミングは欠かせない。プログラミングをすることが目的ではない、問題解決のためのシステム作りとしてプログラミングが必要なのである。社会のニーズを考え、ものを作る、起業する、進取の精神で取り組むなどの活動が Enterprise である。まさしく、アクティブ・ラーニングに謳われる「学びに向かう力・人間性など」に通じる教育とそれを実践している生徒の姿を見たとき、プログラミング教育の可能性が見て取れた。これから始まるプログラミング教育もそうありたいものだ。期待したい。❖

日本の未来を拓く 科学大好きっ子の育成を 目指して



NPO法人 日立理科クラブ
代表理事

瀧澤 照廣 / たきざわ てるひろ

日本の未来と地域の活性化のために

明治時代から鉱業と電気機械産業を中心に日本有数の工業都市として成長してきた歴史を背景に、日立市は「科学する力」を養い、「科学大好きっ子」の育成を教育目標に掲げ、地域の企業 OB の活力を生かしたユニークな教育活動を展開しています。

工業都市の特色を生かし「国際社会に生きる子どもたちの科学を育む教育の実践」を活動ビジョンとしていた日立市教育委員会、創業 100 周年記念の地域貢献事業として「小中学生の理科教育支援」を計画した(株)日立製作所、さらに職場経験や理科の楽しさを子どもたちに伝え人材育成に役立てたいというシニアエンジニアのボランティア精神が結集して、2009 年に「NPO 法人 日立理科クラブ」が発足しました。

企業 OB からなる「日立理科クラブ」

日立理科クラブは、日立製作所グループの工場や研究所に勤務してきた理工学博士、技術士、製造現場の匠をはじめ教育界のOBも参加し、現在約 100 名がメンバーになっています。科学大好きっ子育成の活動は多岐にわたり、図 1 のよ



図1 活動プロジェクト

うに大きく6つのプロジェクトに分けられます。モノづくりの技能や科学の不思議さ・楽しさを伝えたいという熱意が小中学生への理数教育支援活動の源泉になっています。そして、子どもたちの素朴な疑問や納得の笑顔、現場の先生方のまなざしが我々会員の社会貢献活動の活力源になっています。

6つのプロジェクト

① 理科室のおじさん

活動の最も特徴のあるプロジェクトは「理科室のおじさん」で、学校現場でも大変好評をいただいています。市内25の小中学校すべてに、週2回、理科室のおじさんが常駐しています。先生方と協力して、子どもたちが楽しく理科を学べるように、それぞれの学校で抱える理科教育の課題や学校の要望に沿った活動を展開しています。理科の実験準備、理科室の環境整備、器具のメンテナンス、教材づくりなど、さらに子どもたちの疑問・質問にもやさしくわかりやすく説明したり、自由研究の相談に乗ることも多いです。



図2 小学校での「理科室のおじさん」

② 授業支援・教材作成

小中学校現場の先生方の要望を受け、理科の興味と関心を高めるとともに、身近な製品の技術向上に大きく寄与している事例を紹介し、理科を学ぶ必要性、科学の重要性を理解してもらえるよう教材や説明に工夫をしています。例えば、

- (i) コップの底にコイルを巻いて音楽CDの電流を流し、磁石を近づけるとコップがスピーカーに
- (ii) 赤・青・緑のLEDライトの組み合わせで黄・ピンク・水色・白に変換
- (iii) 懸濁液を入れた水槽で青空や夕焼けの原理を確認
- (iv) 水溶液の電気の通りやすさをLEDの明るさで判別し、両手をつないだ点灯で自分も電解質だと実感
- (v) バasketボールを使って地球と月の運動や月の満ち欠けを実感する体育館での授業や、水ロケットを飛ばすグラウンドでの授業など、理科室の外での実体感授業
- (vi) 発電と電磁誘導の原理と電気のさまざまな利用方法など電気エネルギーの移り変わり



図3 「月と太陽」の体育館での授業支援

③ 理数アカデミー

将来、研究者やエンジニアを目指す意欲のある小中学生を対象にした発展的な内容の講座です。理科や数学の原理や法則の基本を学び、さらに暮らしの中の先端技術とのつながりなどについて、製品開発の経験談も織りまぜながら授業を進めます。教室授業の他にも、JAXA など先端研究開発施設、電力・ガス会社など実機プラントの見学、そして茨城大学・茨城工業高等専門学校、企業研究所などによる特別授業も子どもたちの夢をふくらませます。さらに、講師とマンツーマンで研究体験できる自由研究コースも設けています。物理、電気、機械、生物、環境などのテーマについて1年間研究し、その結果をポスターで発表したり研究論文をまとめ、外部コンクールにも応募しています。また、この理数アカデミーはJST(科学技術振興機構)で推進している「ジュニアドクター

育成塾」に参加している東京大学とも連携しています。



図4 理数アカデミーの自由研究成果発表会

④ モノづくり工房・科学ふしぎ発見教室・地域科学教室

モーターを応用したモノづくり、水ロケットの制作と打ち上げ、科学の祭典などフェスタへの出展などは小学校低学年向けの手作り実体験教室です。水ロケットは成果を持ち寄って飛距離や滞空時間を競う大会を毎年開催しています。また、南極越冬隊員 OB の支援もいただき、南極の暮らしや氷に閉じ込められた1万年前の空気から出る泡音の体験なども子どもたちの興味を引いています。



図5 青少年のための科学の祭典での「モノづくり」教室

■ おわりに

最近では日立市内のみならず近隣からの要請も増えています。子どもたちのおどろき・歓声・笑顔がわれわれシルバーメンバーの喜びであり元気をもらっています。2018年度は創設10年目になりますが、ここまで続けられたのは日立市教育委員会や現場の先生方のご理解と日立製作所のご支援の賜物です。関係者に心から感謝するとともに、さらなる創意工夫を積み重ねて頑張っていきたいと考えています。❖

.....編集後記.....

3月に高等学校の学習指導要領が告示され、これで小・中・高の新しい教育がスタートすることになります。これからの社会では、データに基づいた問題解決や意思決定の重要性が指摘されています。それを受けて、新学習指導要領の算数・数学の教育においては、統計教育が充実されています。今号と次号の2回にわたり、新しい学習指導要領によって小・中・高の統計教育がどう変わるかを特集します。

(財)理数教育研究所 事務局



エイダ・ラブレス ～世界初のコンピューター・プログラマー～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すずむ

モバイル端末とイヤホン、現代の音楽を聴くスタイルです。いったい誰がこのような時代になることを予言できたのでしょうか。驚くべきことに、今から二百年前も昔に予言した人物がいました。世界初のコンピューター・プログラマーとして知られるエイダ・ラブレスです。

1815年12月10日、エイダ・ラブレス (Ada Lovelace) はイギリスの貴族で有名な詩人、ジョージ・バイロンの娘として誕生しました。父親である詩人バイロン卿は、産まれた子が男子でなかったことに失望し家庭を捨てギリシャへ渡ってしまいます。母アナバラは社会革命家ウィリアム・フレンド (1757-1841) に学んだほどの高い教養人でした。娘エイダに家庭教師をつけて幼少期から数学と科学の教育を受けさせます。家庭教師には、内科医ウィリアム・キング (1786-1865)、天文学者であり数学者で王立天文学会の初の女性会員となったメアリー・サマヴィル (1780-1872)、そして数学者ド・モルガン (1806-1871) ——数理論理学のド・モルガンの法則で有名——というラインナップです。飛び抜けた英知に接した少女エイダは彼らに才能を認められ、激励され数学の才能を伸ばしていきました。

1833年、18歳のエイダに運命の出会いが訪れます。ケンブリッジ大学の数学者チャールズ・バベッジ (1791-1871) が行った「階差機関 (difference engine) のデモンストレーションにエイダは招かれました。1832年、41歳のバベッジが発表した論文が "Note on the application of machinery to the computation of astronomical and mathematical tables" (天文暦と数表の計算への機械の適用に関する覚書)。この "machinery"こそ階差機関です。数表作成に必要な多項式の演算を“階差”によってのみ行う歯車式自動計算機をバベッジは階差機関と名付けました。計算間違いだらけの対数表を眺めながら「そうだ、数表作成をすべて機械にやらせよう」と呟いたのがバベッジでした。エイダはマシンに強い興味を持ち、一瞬で虜になりました。いつしかバベッジの弟子のような、秘書のような立場になってい

きました。その頃バベッジはさらなる高性能なマシン、解析機関 (analytical engine) の開発を始めたところでした。新しいマシンは、数値記憶と演算部分を分けた構造で、プログラムとデータの入力用パンチカード、印刷機能を備え、動力源として蒸気機関を用いるというモンスターマシン。バベッジがコンピューターの父と呼ばれる所以が階差機関と解析機関の考案にあります。

バベッジは解析機関についてのフランス語の記事をエイダに翻訳する仕事を依頼します。エイダは単に翻訳するだけにとどまらず、解析機関についての彼女自身の解説・アイデアを盛り込んでいったのです。はたして、元の記事の分量は2倍に膨れ、彼女の格言に満ちた言葉がしたためられた格調高いドキュメントが完成しました。

「解析エンジンは、花や葉の模様を織り込んだジャカード織りのように、代数のパターンを織り込んでいきます」

この中に世界初のプログラム・コードが書かれました。バベッジによるベルヌーイ数を算出するためのプログラミングの記述を読んだエイダはその仕組みを理解し、独自のベルヌーイ数計算コードをつくりあげてしまったのです。さらにエイダは解析エンジンに実行させる計算内容を指定した基本的な命令群——サブルーチン・ループ・ジャンプなど——を考案しました。世界初のコンピューター・プログラマー誕生の瞬間です。しかし、エイダは子宮癌を患い、1852年に36歳の若さで亡くなりました。

それから1世紀後、数学者アラン・チューリング (1912-1954) が1950年の論文の中で、バベッジとエイダの功績は「計算機科学において非常に重要」と結論づけ、エイダは甦りました。1983年に米国国防総省がプログラミング言語「Ada」を開発。毎年「Ada Lovelace Day」が開催され、エイダの栄誉を称えるとともにSTEM分野のキャリアをめざす新しい世代の女性たちを応援しています。

「例えば、これまで音楽学の和音理論や作曲論で論じられてきた音階の基本的な構成を、数値やその組み合わせに置き換えることができれば、解析機関は曲の複雑さや長さを問わず、細密で系統的な音楽作品を作曲できるでしょう」(エイダ)



2012年12月10日のGoogle検索のトップページ