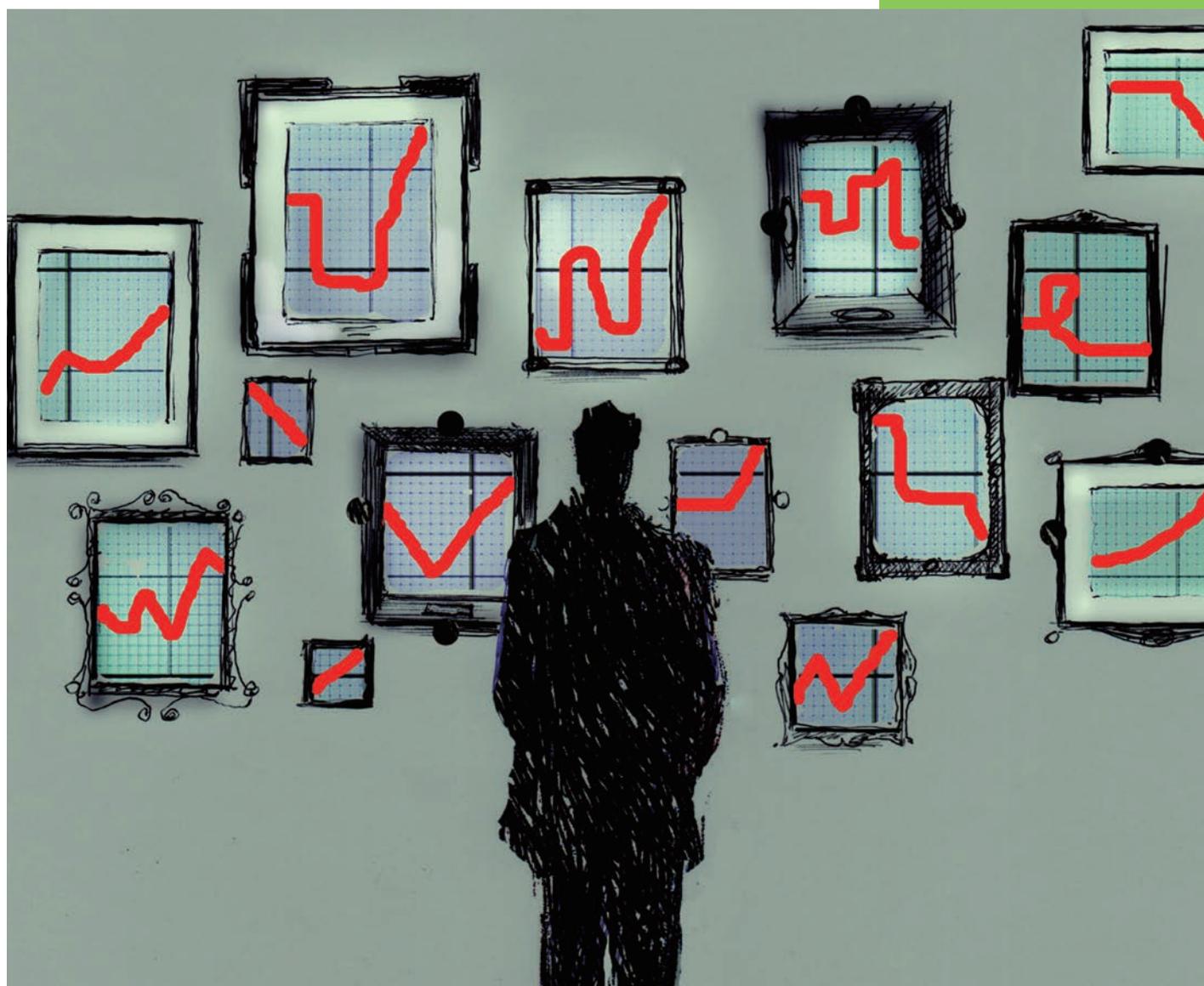


日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. **23**
OCTOBER
2018



特集

統計教育はどう変わるか Ⅱ

Contents

表紙裏

巻頭言

Society 5.0 時代の教養

埼玉大学 理事・副学長 重原 孝臣

特集 統計教育はどう変わるか II

- 2 **I** 中学校数学におけるこれからの統計教育
宮崎大学 教授 藤井 良宜
- 7 **II** 高等学校数学におけるこれからの統計教育
東京学芸大学 教授 西村 圭一
- 12 **III** 人工知能型社会を支える統計教育の役割
～世界が目指すデータ駆動型超スマート社会 Society 5.0
実現に向けて～
慶應義塾大学大学院 教授 渡辺 美智子

連載 数学と音楽の織りなす世界 第12回(最終回)

数学と音楽と人生と

ジャズピアニスト・数学者・STEAM 教育者 中島 さち子

連載 サイエンス・フィクション? 第12回(最終回)

未来と想像

東北大学高度教養教育・学生支援機構 准教授 山内 保典

連載 ヒトの生物学を教えよう 第12回

女性の性周期の生物学

東京都立国立高等学校 主任教諭 大野 智久

教育に新しい風を

東日本大震災からの心の復興

仙台大学 教授 青沼 一民

広場 地域教育で活躍する人々 第22回

自然学校という社会教育の仕掛け

NPO 法人 くろす野外計画社 理事長 高木 晴光

裏表紙

知られざる女性数学者の素顔 第3回

桂田 佳枝

～数学で日本初の女性理学博士～

サイエンスナビゲーター[®] 桜井 進

巻頭言

Kantougen



埼玉大学 理事・副学長

重原 孝臣 / しげはら たかおみ

1960年東京都生まれ。1983年東京大学理学部物理学科卒業、1988年同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了(理学博士)。同年東京大学大型計算機センター助手。1997年埼玉大学工学部情報システム工学科講師。同助教授を経て、2004年同教授。2008～2018年埼玉大学大学院理工学研究科研究部数値電子情報部門情報領域教授。2014～2018年埼玉大学工学部長。2018年より現職。研究分野は原子核理論、量子カオスを経て、現在は数値解析(主として数値線形代数)、ハイパフォーマンスコンピューティング。行列や行列束の標準形を高精度、高速に計算するための数値計算アルゴリズムの設計・実装とその応用に関心がある。

Society 5.0時代の教養

「Society 5.0」という言葉が世の中を賑わしている。狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く「第5の社会」を指す言葉として、内閣府が策定した第5期科学技術基本計画(平成28～32年度)のなかで提唱された。Society 5.0では、人々の活動履歴や、身のまわりにあるさまざまなセンサーから得られる膨大なデータを人工知能(AI)を用いて解析し、その結果をインターネットを介してモノやロボットに伝えることで、さまざまな分野において作業の自動化・省力化等の革新的な変化が起こることが期待されている。Society 5.0を支える中核となる技術がAIである。

昨年、Google囲碁AI「アルファ碁」が世界のトップ棋士を次々と破り、世界に衝撃を与えた。囲碁の文化的価値を考えれば、囲碁棋士という職業は将来も残ると思われるが、他方、AI技術やロボット技術の発達によって消滅する仕事も多いと言われている。2015年の12月に出された野村総合研究所のレポートによれば、2030年までに日本の労働人口の49%がAIやロボット等で代替可能になると試算されている。

理化学研究所の革新知能統合研究センターの目的指向基盤技術研究グループでは、現在24のチーム(ないしはユニット)が、産学連携のもと、具体的課題への適用に特化したAI基盤技術の開発を進めている。チーム名に挙がっているキーワードをいくつか紹介すると、防災科学、インフラ管理ロボット技術、データ駆動型生物医科学、医用機械知能、医用画像解析、分子情報科学、経済経営情報融合分析、空間情報学、観光情報解析等々。実用化にはまだ数年かかるだろうが、AI技術の発達によって、10年先にはこれらに関わる仕事は様変わりしているだろう。AIやロボットによって代替される仕事は単純作業ばかりではない。

AI技術やロボット技術が発達しても生き残る職業は何か？先に挙げた野村総研のレポートでは、アートディレクター、医療ソーシャルワーカー、映画監督、経営コンサルタント、工業デザイナー、社会学研究者、小学校教員、商品開発部員、心理学研究者、放送ディレクター、料理研究家等々を代替可能性が低い職業として挙げている。意外なほどに、人文系、芸術文化系に関わる仕事が多い。技術系でも設計やデザインに関わる仕事は生き残る可能性が高い。数年前、STEM

(Science, Technology, Engineering, Mathematics)という言葉が躍り、人文系・芸術文化系不要論が叫ばれた時期があったが、最近では、STEMはSTEAM(Artが追加)に修正された。Artは広くとらえて教養(Liberal Arts)も含まれると考えてよいだろう。いかに時代が変わろうとも、Artは人間にとって欠くべからざるものという認識はとても大切だ。

教育界でも、確率・統計、データサイエンスを初めとする数学系の重要性、人社系・芸術文化系の重要性が、Society 5.0社会を生き抜くための2つの大切な教養として再認識されてきている。現代的な意味での「知性」と「感性」の融合とでも言えるだろう。

データサイエンティストは、50 Best Jobs in America (Glassdoor, 2018)の1位にランクインしているが、日本では活躍できる場はまだ限られている。しかし、教育現場では確実に状況は変わりつつある。昨年4月には滋賀大学に日本初の、また、今年4月には横浜市立大学に首都圏初のデータサイエンス学部が設置された。高等学校でも、今後、文系・理系を問わずに、確率・統計やそれを学ぶための数学の基礎を教える方向で検討が進められている。文系でもデータサイエンスの素養がないと社会で活躍できない時代がすぐにでも到来するかもしれない。

Society 5.0時代においても、日本人の感性、美意識は世界で重要な役割を果たすだろう。日本人は特殊な地理的要因、歴史、気候風土によって独自の感性、美意識、文化を育み培ってきた。日本文化のなかには「特殊性の徹底した追求の末に到達する普遍性」とでも言える特徴を備えた、世界に通じる感性や美意識に支えられるものが数多いように感じる。源氏物語はドナルド・キーン先生を日本文学へ導いた。葛飾北斎はドビュッシーやゴッホらの創作意欲を強く刺激した。カズオ・イシグロの文学も日本人の美意識と無縁ではない。

グローバル社会は斉一化された社会を意味するのではない。氾濫する情報に飲み込まれて自分を見失い、右に倣えばかりしてはSociety 5.0時代は生き抜けない。感性や美意識の形成は若いときからの生活習慣に負うところが大きい。子供たちの感性や美意識を豊かに育てることも教育の大切な役割である。最も大切な役割といっても過言ではないだろう。❖

I 中学校数学におけるこれからの統計教育

宮崎大学教育学部 教授

藤井 良宜 / ふじい よしのり

1988年九州大学大学院理学研究科数学専攻修士課程修了。1994年九州大学にて博士(理学)を取得。1989年に宮崎大学教育学部助手に採用。その後講師、助教授を経て2008年より現職。放送大学客員教授



1 ■ はじめに

現行の学習指導要領に改訂された際に、中学校数学では領域「資料の活用」が新設され、量的データの分布や標本調査の内容が加わり、統計教育の充実が図られた。今回の改訂においても、小学校や高等学校と連携しながら、統計教育のさらなる充実が図られている。本稿では、最初に中学校での統計教育の意義について触れ、中学校数学科における「データの活用」領域の具体的な内容について紹介する。その上で、授業を実施する際に気をつけてほしいいくつかのポイントについて、取り上げることにする。

2 ■ 中学校での統計教育の意義について

新学習指導要領解説数学編において、「データの活用」領域の指導の意義として2つの面が述べられている。1つは、「目的に応じてデータを収集して処理し、その傾向を読み取って判断することが有用であること」である。統計的な内容は、知識や技能として身につけるだけでなく、それをどのように活用するのかという点が重要である。この点に関連して、平成20年の中学校学習指導要領改訂の際に、「資料の活用」という領域名が用いられた理由が次のように述べられている。

従来の統計の指導においては、資料の「整理」に重きを置く傾向があったことを見直し、整理した結果を用いて考えたり判断したりすることの指導の意義を重視するために、「資料の活用」という領域名が用いられた。

このことからわかるように、現行の学習指導要領においても、活用の重要性は示されていたが、今回は、その部分が統計的探究プロセスという形でまとめられ、具体的な活用の流れが明確に表現されている点が新しいと考えられる。この統計的探究プロセスについては、新学習指導要領では、小学校の第5学年、第6学年の内容として、「統計的問題解決の方法を知ること」が挙げられている。小学校学習指導要領算数編を見ると、統計的探究プロセスとして「問題」「計画」「データ」「分析」「結論」という5つのステップが示され、それぞれの内容について詳しく説明されている。また、青山(2018)ではその指導のポイントについても議論されているので、そちらを参照してほしい。もちろん、これらの内容は小学校で学習していることであるから、中学校においても、このプロセスを意識して授業を進める必要があり、この1つ目の意義の部分にもその流れが見て取れるであろう。

2つ目の意義として、「データに基づいた判断や主張を批判的に考察することが有用であること」が書かれている。この批判的に考察することに関しては、統計教育や数学教育だけでなく、21世紀の教育目標として幅広い分野で求められる能力の1つとして取り上げられている。特に、データを取り扱う際には、どのようにデータを収集したのか、どのようにデータを分析し、どのようにデータを表現したのか、など、結論を導く際にチェックすべき点が数多く含まれている。社会の中では、故意に誤った結論を導いたり、誤った解釈をしてしまうようなグラフ表現が用いられたりすることも少なくない。その意味で、統計的な探究プロセスのそれぞれの段階をしっかりとチェックすることが大切である。ただし、批判的に考察することは不正や誤りを指摘することのみを意味す

るわけではない。あくまで自分自身が行った問題解決の過程や他の人が実施した問題解決の過程が適切に行われているのかを、さまざまな視点から検討することを意味している点を確認しておくことは大切である。

3 ■ 新学習指導要領での「データの活用」の内容

新学習指導要領において、領域名が「資料の活用」から「データの活用」に変更された。この変更の背景には、現行の高等学校の「数学I」の中に「データの分析」があり、それに合わせる形で「データ」という用語が小中学校でも正式に取り入れられたと考えられる。また、それと同時に、小学校にも同名の領域が新設され、小学校から高等学校まで系統的に統計的内容を取り扱うことを明確に示すためであったと考えられる。そして、教育内容を系統的に見直すなかで、中学校での教育内容についてもいくつかの変更が行われている。そこで、「データの活用」領域の内容を学年ごとに見ていくことにしよう。

(1) 第1学年

小学校第6学年において、平均値に加えて中央値や最頻値などの代表値を取り扱うことになっている。これは、第6学年で連続的な量や個数や人数などのように多くの値をとる量的なデータを取り扱っており、その分布を表現する際にドットプロット(図1)が導入されたことに関連している。

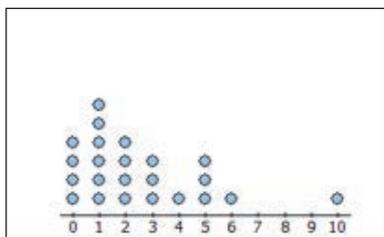


図1 あるクラスの1か月に読んだ本の冊数

これまで、第6学年では量的なデータの分布を調べる際に柱状グラフを中心に用いていたが、ドットプロットを用いることで、階級に分ける前に測定値そのものに注目して、分布を見ることができるといったメリットがある。そして、ドットプロットに表すことで、図1のデータでは中央値が2で、最頻値が1であるというように、これらの代表値を図から簡単に読み取ることができるようになった。そのために、これ

らの代表値を小学校で取り扱うことになったと考えられる。それに伴って、中学校ではヒストグラムを用いてデータの分布を捉え、説明する部分に重点が置かれている。その1つとして、新しく累積度数という用語が加えられている。累積度数はある階級以下の度数の総和を表しており、分布の見方として、各階級の度数に着目するだけでなく、ある階級以下の度数やある階級以上の度数にも着目することが求められている。例えば、病院での待ち時間を調べる場合には、10分以上20分未満の割合だけでなく、20分未満や30分未満の割合などに注目して分布を捉えることで、待ち時間としての程度を想定すればよいのかを考えることができる。このような見方は、第2学年で学習する四分位数とも共通している。例えば、第1四分位数は小さいほうから1/4、すなわち25%のデータが含まれる区間の上限を意味しており、小さいほうからの累積度数の割合を考えていることになる。もちろん、四分位数を取り扱う場合には、階級分けして考えるのではなく、測定値そのものを取り扱う点が異なっていることには注意しておく必要がある。

また、最頻値の取り扱いについて、これまで中学校の学習では、「最も多く表れている値」と「最も度数の多い階級の真ん中の値」という2つの意味を同時に取り扱っていた。そのため、これらを混同している生徒も見られた。しかし、今回の改訂で、小学校において「最頻値は、データの中で最も多く表れている値」として示されており、中学校に入る前に1つ目の意味については学習していることになる。そこで、中学校においては、連続的なデータを取り扱う際の1つ目の意味の問題点を考え、その改良方法として「度数が最大の階級の真ん中の値」を最頻値として用いることを学習することになっている。このように、小学校と中学校で2段階に分けて学習することによって、2つの意味の違いやその使い分けについて身に付けることが期待される。

もう一つの大きな変更点は、確率に関して、多数回の観察や多数回の試行によって得られる確率の部分が第1学年に移動した点である。ここでは、大数の法則と呼ばれている、観察や試行を多数回繰り返すことで、ある事象が起こる割合が一定の値に近づくことを、実感を伴って理解できるようにすることが求められている。しかし、それだけでなく、ある程度多くの観察や試行を行った結果を、不確定な事象の起こり

やすさとして捉え、その傾向を読み取った上で、その結果を利用して判断したり、意思決定につなげたりすることも大切である。例えば、あるイベントで右利きと左利きで異なる道具を準備する必要があるときに、過去のイベントに参加した人の右利きと左利きの割合を調べることで、今回のイベントにおいて準備する道具の割合を決めることなどが考えられる。

(2) 第2学年

第2学年には、高等学校「数学Ⅰ」で取り扱われていた四分位範囲と箱ひげ図が内容として追加されている。四分位範囲を学習するためには、まず四分位数が必要であり、まず四分位数について知る必要がある。測定値を大きさの順に4つのグループに分けることを考える。このとき、四分位数は、それぞれのグループの測定値の数ができるだけ同じになるように分けるときの区切りの値を意味している。具体的には、全体を二つのグループに分ける区切りの値として中央値を用いて、これを第2四分位数とする。そして、中央値で分けた二つのグループにおいて、それぞれの中央値を求め、これらを第1四分位数と第3四分位数とする。そして、四分位範囲はこの第1四分位数と第3四分位数の差として定義されている。そのため、分布の中心の周りにどの程度測定値が集中しているのかを表している。中央値については、小学校第6学年の内容となっており、中学校第1学年の「データの活用」領域においても一つの代表値として利用されている。このような既習内容と結び付けながら、その意味をしっかりと理解する必要がある。また、データのばらつきの大きさを範囲で表すと、最小値や最大値の影響が大きくなってしまいうことも知っておく必要がある。

箱ひげ図は分布の特徴を表す5つの数、最小値、第1四分位数、中央値、第3四分位数、最大値を簡潔に表現した図的表現である(図2)。

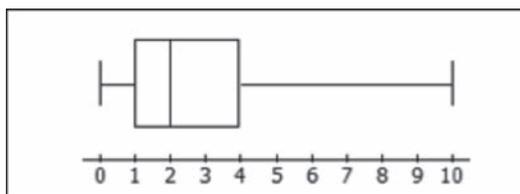


図2 図1のデータの箱ひげ図

基本的にはこの5つの数字で区切られた区間にほぼ同じ数の測定値が含まれており、その区間が狭いほど測定値が

集中していることを表している。小学校で学習する単位当たり量の場合と同様に、含まれる測定値の数が同じであれば、区間の幅が小さいほうが、データが集中していることになる。しかし、生徒の中には区間の幅が大きいほど多くの測定値が含まれるというような誤解をするものもいるであろう、この点には注意が必要である。また、箱ひげ図はヒストグラムに比べると失われている情報も多いが、その代わりに簡潔に分布の特徴を捉える際には箱ひげ図が有効である。ここでは、箱ひげ図とヒストグラムのそれぞれの特徴を捉え、状況に応じてそれらの図的表現を使い分けたり、組み合わせたりしながら、分布の特徴を把握できるようにすることが大切である。

確率については、場合の数を基にして得られる確率を取り扱うことになる。内容としては現行の学習指導要領と大きな違いはないが、ここでも単に確率を求めるだけでなく、不確定な事象の起こりやすさを、確率を用いて表現できることを知り、日常生活や社会の事象を、確率を用いて説明したり、意思決定に活用したりすることが大切である。

(3) 第3学年

第3学年は、内容的には大きな変更点はない。しかし、今回の改訂においては、統計的な内容と確率的な内容をそれぞれの学年で学習しており、そのまとめとして第3学年の標本調査を位置づけることができるようになっている。標本を抽出する際には、確率を利用して無作為抽出することで母集団を偏りなく推定することができることを学習することで、確率の有用性を実感することができるだろう。また、実験的に標本抽出を複数回行い、標本平均あるいは標本比率の分布を調べることが考えられる。その際には、ヒストグラムや箱ひげ図を活用して、ばらつきの度合いを考えることができる。標本調査では、標本の大きさを大きくすることによって、標本平均あるいは標本比率のばらつきが小さくなることや母集団全体を調べないでも母集団の傾向をある程度調べることができることを知ることも大切である。そのために、できれば、標本の大きさを変えて実験して分布を調べたり、コンピュータのシミュレーションを用いて分布を調べたりすることで、生徒が実感をもってこの特徴を理解することが望ましい。

また、標本調査については、標本の抽出の仕方や実際に

調査する際の調査の方法などが大きく結果に影響を与えることがあることを知ることも大切である。その意味で、生徒自身で実際に標本調査を行って、母集団の傾向を推定し、その方法を振り返ったり、社会で実施されている標本調査を取り上げ、統計的問題解決のプロセスに沿って、その結論を批判的に考察したりすることも大切である。

4 ■ 授業を実施する上でのポイント

統計教育では、統計的な知識や技能を身に付けるだけでなく、実際の場面でそれらを活用することで、その有用性を実感することが大切である。そこで、「活用」を意識しながら授業を実施する際のポイントについて述べることにする。

(1) 統計的な問題解決のプロセス

前にも述べたが、今回の改訂の中で、小学校では統計的な問題解決の方法が大きく取り上げられている。小学校学習指導要領解説算数編(p.68)には、「問題」、「計画」、「データ」、「分析」、「結論」という5つの段階からなるプロセスが明確に示されており、第5学年および第6学年では、知識・技能として、このような統計的な問題解決の方法を知ることが求められている。中学校においても、指導に当たってはこの統計的な問題解決のプロセスを意識しながら、授業を進める必要がある。しかし、最初の段階では、生徒自身がこの統計的な問題解決のプロセスに沿って調査を実施することは容易ではない。特に、難しいのは最初の「問題」と「計画」の部分であろう。生徒自身が日常生活や社会の中から課題を見いだす時間を設けても、うまく問題を設定することは難しい。また、面白い問題を設定できたとしても、測定値として質的なデータだけを取り扱えばよい場合も少なくない。中学校での学習内容は量的なデータであり、この量的なデータを意識しながら問題設定をすることは難しいであろう。その意味では、最初の段階では教師が「問題」や「計画」の部分あらかじめ準備をしておき、うまく誘導することも必要である。ただし、その際にも学習のためだけのデータとならないように「目的」を明確にしておく必要があるであろう。ある程度教師のほうで設定された「問題」や「データ」であっても、分析をすることによって、そのデータに対する関心が高まることも多い。その意味では、最初の段階は教師主導でもよいので、

生徒が興味を持てるデータを示すことが大切である。その際、できれば、与えられたデータだけでは最初の「問題」を完全には解決できないようなものにしておきたい。そのことによって、生徒がそれを解決するための新たな問題を見いだし、2回目の統計的な問題解決のプロセスを行うことで、生徒自身が「問題」を設定する場面を体験することが望ましい。

(2) 探索的な問題解決を

第2学年においては、量的なデータを表現する方法として、箱ひげ図とヒストグラムの2通りの方法を身に付けることになる。このとき、この2つの方法をどのように使い分けたらよいのか、という点が問題となる。大きく分けると、集団の分布を詳しく見るためにはヒストグラムが有効であるが、複数の集団の分布の違いを簡潔に見る際には箱ひげ図のほうが有効である。例えば、地域別に分けた場合の2014年の都道府県別の合計特殊出生率の箱ひげ図を見てみよう(図3)。

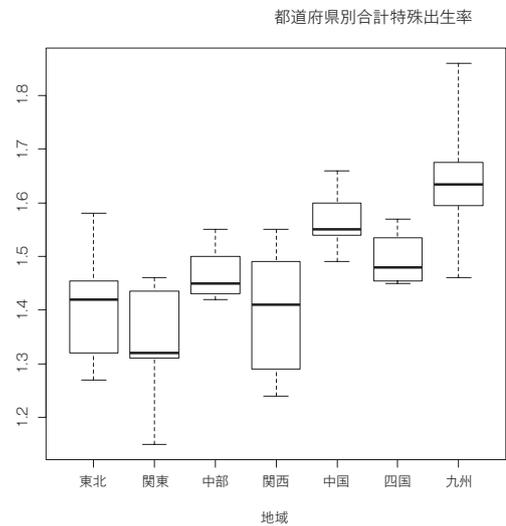


図3 地域別の合計特殊出生率

この箱ひげ図を見ると、九州は比較的高い県が多く、関東、関西、それから東北地方が低い県が多いことがわかる。このように、複数の集団の分布を比較する際には、箱ひげ図は非常にわかりやすい。その意味では、箱ひげ図の基本的な意味を理解したら、このように、実際に箱ひげ図を使って複数の集団の比較を行ってみることが大切である。

このデータの場合、都道府県別の合計特殊出生率、すなわち少子化の状況に興味がある。実際、都道府県別の合計特殊出生率は、最小値1.15から最大値1.86まで、都道府県ごとにかなり違いが大きい。このような違いはなぜ起こるのだ

ろうか、という問いが考えられる。この問いはかなり抽象的であるが、図3ではこの違いを地域差と捉えて、地域ごとの箱ひげ図を考えている。また、この都道府県の分け方を別の要因で分けることによって、さまざまな箱ひげ図を描くことができる。

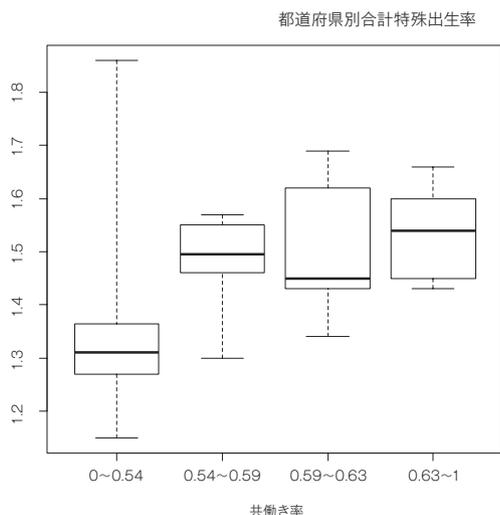


図4 共働き率で分けたときの合計特殊出生率

図4では、共働き率の高さで都道府県を4つのグループに分けたときの箱ひげ図である。このように、あらかじめ結果となる変数を決めて、それに影響すると思われる要因をいろいろ探していくような解析方法を探索的なデータ解析という。このような解析を行う際には、箱ひげ図は有効である。この図4では共働き率の低い地域は合計特殊出生率が低い傾向が見られる。この結果だけを見ると、共働き率を上げることで合計特殊出生率を高くすることができそうに思えるが、この際の解釈には注意が必要である。このようなデータ解析においては、共働き率と合計特殊出生率の間に関係があることは示せるが、どちらが原因かという点ははっきりしない。子供が多いから働きに出ているということも考えられるのである。この点を詳しく見るためにはさらなるデータが必要となるのである。実際の研究においては、このように追加すべきデータを探しながら、統計的な問題解決のプロセスを何度も回していくことになる。できれば、このようなプロセスを授業の中でも体験できることが望ましい。

都道府県のデータについては、総務省統計局のWebページ

<http://www.stat.go.jp/>

からさまざまなデータを入手することができる。また、この

ページには小中学生向けのサイトや教員向けのサイトもあり、授業用のデータを探すのに便利である。

(3) 多面的・批判的に考察する

現在、さまざまな統計データを、インターネットなどを通じて簡単に入手することができるようになっている。しかし、そのようなデータの中には、安易に調査されたものも少なくない。例えば、インターネットのあるサイトを訪れた人を対象にアンケートをとったものであったり、アンケートに答えることで何らかのポイントを入手できるようになっているものもある。このような調査の場合には、偏りのあるデータになっていることも考えられるため、利用する際には気をつける必要がある。また、さまざまな広告や説明書の中には、意図的にゆがめられたグラフ表現が用いられている場合も少なくない。そのようなデータやグラフ表現の問題点をしっかり指摘できるようになるためにも、データを鵜呑みにせず、しっかり批判的に考察することができるようにすることが大切である。

(4) コンピュータの活用

相対度数や四分位数など新しい概念を身に付けたり、箱ひげ図の意味を理解する際には、もちろん手作業でデータを処理することは重要である。しかし、中学校においては、より現実的なデータを取り扱うことも大切であり、サイズが大きなデータや、大きな数値や小さな数値をとるデータを取り扱うことも必要である。その際には、コンピュータのソフトウェアやWeb上にあるアプレット等をうまく活用することが望ましい。例えば、階級の取り方のヒストグラムへの影響や、上に挙げた探索的なデータ解析においては、コンピュータ等の利用は特に有効であろう。統計的なソフトウェアについては、Rのようにフリーで自由に使えるソフトウェアも多い。また、中学校の授業での利用を想定したソフトウェアについても SimpleHist や StatHist などいろいろなものが提案されている。これらをうまく活用することで、統計的な内容の理解を深めたり、より現実の社会に近いデータの分析に挑戦していただきたい。

参考・引用文献

- 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
- 文部科学省 (2017) 中学校学習指導要領解説数学編, 文部科学省
- 青山和裕 (2018) 小学校算数におけるこれからの統計教育, Rimse, No.22, pp.7-11

II 高等学校数学におけるこれからの統計教育

東京学芸大学 教授

西村 圭一 / にしむら けいいち

東京都立高等学校、東京学芸大学附属大泉中学校、同国際中等教育学校教諭、国立教育政策研究所教育課程研究センター基礎研究部総括研究官、東京学芸大学准教授を経て、2016年4月より現職。博士（教育学）。



1 ■ はじめに

「これからの数学教育」のような話をすると、「数学教育は社会の変化に流されるべきではない」という意見をいただくことがある。しかし、教育の目的は人を「自由」にすることにあると考えれば、その人が生きる時代や社会に応じて「自由」になるために必要なことは変わるのであるから、教育も変えざるを得ない部分があると考えるのが自然である。

グローバル化は価値の多様さをもたらし、情報ネットワークの進化によりその更新も早まっている。また、AIによって代替可能な業務が増え続ける一方で、社会的な課題が多様化、複雑化し、かつ、それぞれが密接で複雑な相互関係を築いている。このような社会では、事象を数理的に処理し、リスクや不確実性を考慮し、根拠を明確にして判断や意思決定をするプロセスに参画したり、批判的に検討したりできない人は、他者の示した結論に一方的に従うか、ただ反対の意を唱えるだけしかできなくなってしまう。そのような人が増えれば増えるほど、ポピュラリズムが加速する。

このような話は大袈裟で、高校数学からは遠い話と感じる方も多いかもしれない。しかし、本稿のテーマを考える上では、なぜ、統計教育を充実する必要があるかを考えることは避けて通れない。それをせずに、「統計には時間を割かない」「入試に出ることだけをやる」と考えることは、次世代に対する責任を放棄していることになる。

このような話を書き連ねると、さっとページをめくってしまう方も少なからずおられるだろう。一人でも多くの方に、高等学校におけるこれからの統計教育について考えていただくために、以下では、中堅高校に勤める太郎先生（3年目）と花子先生（12年目）の会話文と、それに関わる「問」を

設けることにした。それらの問いについて考えながら読み進めていただくと幸いです。

2 ■ 高等学校における統計教育のねらい

(1) 学習指導要領の改訂の捉え方

太郎：学習指導要領が変わるそうですね。〇〇先生が、「どうして、こうコロコロ変わるんだ、現場の負担も考えてほしい」と怒っていましたよ。

花子：高校のことだけ、内容の移動だけに目を向けるから、そんなことを言いたくなるのよ。

太郎：どういうことですか？

花子：コロコロではなく、徐々になんか変わってきているのよ。今の学習指導要領でも、数学Ⅰに「データの分析」が設けられたり、数学Ⅰと数学Aに課題学習ができたたりしたでしょ。なぜ設けられたか、わかっている？

問1 現行の学習指導要領に「課題学習」が設けられた意図を考えよ。

現行の学習指導要領、すなわち、およそ10年前の改訂時にも、高等学校では、教師による説明を聞き、類題を解くことを繰り返すだけで、性質を見いだしたり、得られた結果を発展させたりするなどの「数学的活動」をせずに、やがて数学から離れていってしまう生徒が少なからずいることが問題視されていた。このような点を改善する足がかりにするために、平成元年版の学習指導要領から中学校数学科に設けられ成果が見られていた「課題学習」が、数学Ⅰと数学Aにも設

けられた。そして、新学習指導要領では、この「課題学習」が数学Ⅰ、数学Ⅱ、数学Ⅲに拡充される。

統計についても同様で、前回の改訂時に既にその重視の方向性があり、今回の改訂において、小学校に「データの活用」領域を設けたり、中学校で「箱ひげ図」を学習することにしたりするなど、さらに推し進められたと見ることができる。

学習指導要領は、このように、経緯や変遷、小・中学校とのつながりを踏まえて捉えていくことが大切である。

(2) 新学習指導要領における統計教育のねらいの捉え方

花子：これを見て。何年生のものか、わかる？

ア 次のような知識及び技能を身に付けること

(ア) 代表値の意味や求め方を理解すること。

(イ) 度数分布を表す表やグラフの特徴及びそれらの用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。

イ 次のような思考力、判断力、表現力等を身に付けること

(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。

太郎：中学生？

花子：小学校6年生。

太郎：6年生で、こんな力を身につけているなら、高校でやる必要はないですね(笑)。

花子：いやいや。こういう力の質は、知識・技能によって高まるでしょ。逆を言えば、そうなるような授業をしなければならぬということよ。

問2 「知識及び技能」は、「思考力、判断力、表現力」とともに習得されるものである。上の例では、「代表値の意味や求め方を理解すること」にとどまらず、それを用いて問題の結論について判断できるようにすることが求められる。このことを踏まえると、数学Ⅰの

「相関係数」の学習では、その意味や求め方の理解にとどまらず、どのようなことができるようにするとよいだろうか。具体的に考えよ。

新学習指導要領では、「何を学ぶか」だけではなく、「何ができるようになるか」が重視されている。例えば、相関係数については、どのようなことを知りたいときに、どのようなデータに対して使うのか、相関係数をもとに判断する際に留意することは何かなどがわかってはじめて、「相関係数を用いることができるようになった」と言える。換言すれば、ある結果に対する要因を探る目的で、その要因と結果がともに量的データのときに用いることや、相関が高いからと言って因果関係があるとは限らないことなどを理解する必要がある。また、このような学習の過程では、因果を探る対象のデータが量的データ同士でない場合、すなわち、質的データ間や、質的データと量的データ間の場合はどうしたらよいかを整理することも必要となろう。

新学習指導要領では、すべての内容について、「知識及び技能」と「思考力、判断力、表現力等」が項立てして示されている。上で見たように、これらの相補関係を踏まえ、それぞれの科目における統計教育のねらいを捉えることが大切である。

3 ■ 現行学習指導要領との相違点

(1) 数学Ⅰ

太郎：数学Ⅰの「データの分析」は、どう変わるのですか。

花子：こうなるのよ。

ア 次のような知識及び技能を身に付けること。

(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 **あ** の考え方を理解すること。

イ 次のような思考力、判断力、表現力等を身に付けること。

- (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。

[用語・記号] 外れ値

太郎：「コンピュータなどの情報機器を用いるなどして」とありますね。

花子：少ない数のデータで計算ばかりしているのでは、思考力、判断力、表現力が養えないでしょ。

太郎：ということは、当然、教科書もそうなるということですね。

花子：そういう教科書を、生徒たちのために、私たちが選ぶことが大切なよ。

問3 「イ(ウ)」をもとに、**あ**に入る統計的手法を考えよ。

新たに「仮説検定の考え方」が加わり、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ができるようにする。必修科目である数学Iに、このような学習が位置づけられたことは、「1. はじめに」に述べたような、データに基づいて判断や意思決定のできる市民を育成するという点からは極めて意義があると言えよう。例えば、私たちは、次のような場面において、どのような判断をしているだろうか。

ある栄養ドリンクを飲んだ50人中34人が、疲労が回復した。このドリンクは効果があるだろうか。

「個人差があるので何とも言えない」「サンプルが小さいので判断できない」という回答が多いだろうか。それはそれ

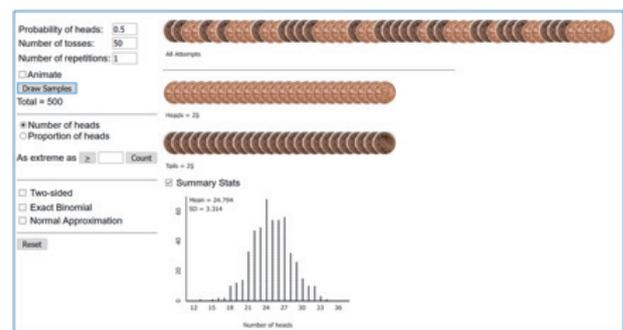
で大切な批判的な考え方であるが、きちんと条件を整えて行った結果で、疲労の回復の有無も医学的データに基づいて判定されているとしたらどうだろうか。

仮に、このドリンクには何の効果もなく、疲労が回復したのも、しなかったのも単なる偶然だとしたら、「50人中34人」が回復するということはどのくらいの頻度で起こりうるのだろうか。それが滅多に起こりえないことであることがわかれば、効果があると言える。

そこで、50枚の硬貨を投げ、表が出た枚数を「効果あり」として数えることを繰り返す。その結果を表やグラフに整理し、表が34枚以上になることがどのくらい起こるかを調べる。その結果が起こりやすいか否かの判断の基準として、実験結果の平均値と標準偏差 σ を求め、平均値から 2σ あるいは 3σ 離れた値を用いると判断の客観性が増す。

このような考え方は、確率分布を利用するformalな統計的推測に対して、informalな統計的推測と呼ばれ、統計教育先進国では既に重視されている。そこでは、図1のようなコンピュータによるシミュレーションも多用されている。

下は、コインを50枚投げるシミュレーションを行った画面。実験結果の平均 m が24.794、標準偏差 σ が3.314なので、 $m+2\sigma = 31.422$ になり、「34回」は滅多に起きないことであると判断できる。



<http://www.rossmanchance.com/applets/OneProp/OneProp.htm?hideExtras=1>

図1 海外の統計教育プロジェクトのアプレット

用語・記号にある「外れ値」も新しい内容である。「他の値から極端にかけ離れている」ことを目安として、四分位範囲の1.5倍以上離れた値や、標準偏差 σ を用いて、平均値より $\pm 2\sigma$ （事象によっては $\pm 3\sigma$ ）以上離れた値とすることを理解し、判断や意思決定の中で活用できるようにしたい。

(2) 数学B

太郎：数学Ⅰの仮説検定の考え方では、実験などを通して判断したり批判的に考察したりできるようにするというんですけど、反復試行の確率を求めれば実験をする必要はないのではないですか。

花子：仮説検定の考え方の学習を、数学Aの学習と関連付けることで、生徒が確率を求めることに必要感をもつと思うわ。その考えが数学Bの確率分布にもつながるといことね。これが、数学Bの「統計的な推測」よ。

ア 次のような知識及び技能を身に付けること。

- (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。

イ 次のような思考力、判断力、表現力等を身に付けること。

- (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。

[用語・記号] 信頼区間, 有意水準

問4 中学校における学習と、数学Bの「統計的な推測」とのつながりを考察せよ。

中学校第3学年では、標本調査の必要性や意味について理解するとともに、コンピュータなどの情報機器を用いるなどして無作為に標本を取り出し、整理することや、簡単な場合

太郎：数学Bの統計って、これまで一度も教えたことがないんです…。今の数Bの教科書を見ると、確率変数の話から始まって、二項分布、正規分布とやって、ようやく区間推定なんですね。

花子：そう。私は教えたことがあるけど、区間推定にいくまでが長いよ。生徒には、確率分布の平均や標準偏差を求めたり、その関係を調べたりする目的がわからないから、なかなか辛かった。

太郎：さっき花子先生が言っていったことの意味がわかりました。数学Ⅰでやった「仮説検定の考え方」をより精緻化していこうという流れで、数学Bのこの学習を展開することが大事だということですね。

について標本調査を行い、母集団の傾向を捉え説明することなどができるようにすることが目指される。

この点を踏まえ、数学Bでは、標本調査の考え方について理解を深め、目的に応じて標本調査を設計したり、標本調査の方法や結果を批判的に考察したりできるようにする。例えば、母集団を地域などの特性に応じて複数のクラスターに分割し、そのクラスターを無作為抽出し、さらにその中から標本を無作為抽出する「二段抽出」などの方法を理解したり、信頼区間の考えをもとに抽出数を決定したりできるようにする。

他に、数学Bでは「(3) 数学と社会生活」の内容の取扱いに、「散布図に表したデータを関数とみなして処理することを扱うものとする」と示されている。数学Ⅰの二次関数や数学Ⅱの指数関数・対数関数で挙げられている「二つの数量の関係に着目し、日常の事象や社会の事象などを数学的に捉え、問題を解決したり、解決の過程を振り返って事象の数学的な特徴や他の事象との関係を考察したりすること」と関連付け、思考力、判断力、表現力をいっそう高めることが求められる。

(3) 数学C

花子：数学Cの「数学的な表現の工夫」にも、統計に関わる内容があるのよ。

ア 次のような知識及び技能を身に付けること。

- (ア) 日常の事象や社会の事象などを、図、表、統計グラフなどを用いて工夫して表現す

ることの意義を理解すること。

(イ) 日常の事象や社会の事象などを、離散グラフや行列を用いて工夫して表現することの意義を理解すること。

イ 次のような思考力、判断力、表現力等を身に付けること。

(ア) 図、表、統計グラフ、離散グラフ及び行列などを用いて、日常の事象や社会の事象などを数学的に表現し、考察すること。

太郎：YouTubeで海外の高校生のプレゼンを見たことがあるんですけど、時間の経過に伴って変化していく散布図を使ったりしていました。

花子：グラフを工夫することによって、わかりやすくなることもあるからね。

太郎：でも、それって数学なんですかね。

花子：いろいろと表現を工夫することによって、隠れていたり、気付かなかったりした傾向や特徴を発見できることがあるから、やっぱり分析する力を高めるとい意味で大事なんだと思うわ。

問5 上の下線部の発言に対するあなたの考えを述べよ。

4 ■ 学習指導に当たって

統計が数学かどうかという議論と、統計を高等学校数学科で教えるかどうかの議論を混同してはいけない。生徒に求められている資質・能力であり、学校教育にその育成が任されている以上、最善を尽くす教師でありたい。なお、新学習指導要領においては、統計教育は、教科「情報」や「理数探究基礎」等でも充実が図られる。例えば、教科「情報」で、表計算ソフトを用いて、乱数によるシミュレーションの設計を学習することで、上述の数学Iのシミュレーションがブラックボックスにならなくなる。生徒に何ができるようにするかを優先し、教科間で連携していくことも求められている。

太郎：これまでの話からすると、授業を相当変えないといけない気がしてきました。いままで、数学

Iのデータの分析は、穴埋め式のプリントで計算ばかりやっていたので…。

花子：さっきも言ったけど、どんな思考力や判断力をつける必要があるか、その授業でつけられているかを考えないとダメ。生徒が明確な目的や問題をもってデータを分析し、結論を出したり判断をしたりするといったストーリー性のある授業展開が必要な気がするわ。

太郎：でも…。

花子：時間がないと言いたいんでしょう。今の数学Aも、目標を達成する上では3つのうち2つをやれば十分なのに、大学入試の影響もあって、急いで3つすべてをやる学校が多いのよね。それが本当に生徒の力を伸ばすことになっていればいいんだけど…。3年生になって演習をやると、結局、やり直しだもの…。

太郎：確かに。数学Iに1年間かければ、データの分析もじっくりできますね。

花子：そう。生徒に、どんな思考力、判断力、表現力を、どのようにしてつけるかを第一に考えて指導計画を立てないと何も変わらないわ。

太郎：教科内でもカリキュラム・マネジメントが大切ということですね。

新学習指導要領における統計教育の成否は、学校教育の締めくりである高校教育にかかっていると言っても過言ではない。日本の高校は、今も大学入試の影響を大きく受けており、そこには構造的な問題もある。例えば、本音の部分で依然として大学合格実績に頼りがちな学校経営、そのためには早く教科書を終わらせることが不可欠と考え、過度にペースを速める授業、そのことを助長するような教科書の構成や模試の出題範囲、受験者数減少を避けることを優先しがちな大学の入試科目設定、社会の実態に合わない文・理の区別などである。このような構造的な問題を解消するには、個々の教師だけではなく、教科書会社、受験産業を含め、高校数学、高校教育に関わるすべての人が力を合わせて取り組むことが不可欠である。それが、次世代に対する責任ではないだろうか。



Ⅲ 人工知能型社会を支える統計教育の役割

～世界が目指すデータ駆動型超スマート社会

Society 5.0 実現に向けて～

慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科 教授

渡辺 美智子 / わたなべ みちこ

慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科教授。理学博士。放送大学客員教授（TV「身近な統計」主任講師）。統計グラフ全国コンクール審査会委員長。「算数・数学の自由研究」作品コンクール中央審査委員。専門は統計学と統計教育。2012年度日本統計学会賞受賞，2017年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞受賞。



1 ■ 新学習指導要領と人工知能型社会

新しい学習指導要領の解説の冒頭に、「改訂の経緯」が、人工知能の進化を背景として、次のように記述されている。『今の子どもたちやこれから誕生する子どもたちが、成人して社会で活躍する頃には、(中略)グローバル化の進展や絶え間ない技術革新等により、社会構造や雇用環境は大きく、また急速に変化しており、予測が困難な時代となっている。(中略)こうした変化の一つとして、人工知能(AI)の飛躍的な進化を挙げることができる。人工知能が自ら知識を概念的に理解し、思考し始めているとも言われ、雇用の在り方や学校において獲得する知識の意味にも大きな変化をもたらすのではないかとの予測も示されている。』

さらに解説では、『このような変革のなかで、生徒一人ひとりが将来の社会の担い手として、個人と社会の成長につながる新たな知識や価値を生み出す力をもつことが期待されている。』とある。つまり、既存の知識や技能を単に理解させ記憶させるだけでなく、生徒自らが新しい知識を獲得し、それを個人や社会の価値に結びつける創造力を身に付けさせることが期待されているのである。

そのため、今回の改訂では、小学校において「データの活用」領域の新設、中学校「データの活用」領域における内容項目の拡充、高等学校における数学I、数学Bにおける統計的推測の内容重視など、小・中・高等学校を通じて統計教育拡充が、データ活用に向けたプログラミング教育の充実とともに図られている。特に高等学校では、統計内容に関し数学科と情報科の連携が求められており、共通必修修化される

新科目情報Iにも「データの活用」の単元、選択科目の情報IIにも「データサイエンス」の単元が配置され、情報科がセンター共通試験科目となることも含め注目が集まっている。

これらの改訂内容は、データを活用し、生徒自らが知識獲得に向かう探究のための思考や推論・判断の仕方を、段階を追って高度化するための技法であり、現在の人工知能技術を支える数理・データサイエンスの基礎に繋がる。同時に、人工知能がデータから知識(判断・行動選択のためのルール)を獲得するアルゴリズムを理解する素地ともなる。

これから急激に本格化してくる人工知能型社会の中に否応なく出て行かなければならない児童・生徒に向けて、既に諸外国では教育強化が進んでおり、日本の立ち後れが、政府の経済再生会議や産業界から指摘される中、現在だけではなく遠くない未来を見据えて、統計教育・データサイエンス教育の改訂内容を考えていく必要がある。

2 ■ データ駆動型超スマート社会 Society 5.0 に向けた統計教育の体系的改革

私たちは現在、数百年に一度とも言われる大きな変革期の中にいる。2018年6月、世界の時価総額ランキングトップ10の企業のうちモノを製造する業態は2社のみで、トップ5はすべて米国企業でビッグ5と呼ばれる、アップル(91兆円)、アマゾン(82兆円)、アルファベット(グーグルの親会社、78兆円)、マイクロソフト(76兆円)、フェイスブック(56兆円)である。次いで、6位と7位が中国のIT企業の Tencent(49兆円)、アリババ(47兆円)、韓国はサムソン電

気 (30 兆円) が 12 位, 一方, 日本はこのランキングでかろうじてトヨタ自動車が 37 位 (19 兆円) とはるか下方で初めて登場する。

このため日本政府も, 今やデジタル革命が世界の潮流であること, 稼ぐ力がモノから情報・データサービスへ移行したこと, すなわち, 社会や経済のルールが変わったことを昨年と今年の各国家施策のとりまとめである「未来投資戦略 2017 - 「Society 5.0」の実現に向けた改革 -」及び, 「未来投資戦略 2018 - 「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革 -」で示した。その中で, 膨大なデータの集積 (ビッグデータ) がデータサイエンス・AI 技術によって個別化した最適なサービス価値を社会に提供することや, その可能性があらゆる領域に広がっていることを踏まえ, 日本は今後, データ分析系・データサイエンス系人材, AI 人材の育成に力点を置くことが経済再生と成長戦略の柱となると言及した。

未来投資戦略 2018 が審議された官邸の未来投資会議 (2018 年 5 月 17 日) で, 「AI 時代の人材育成」が議題となっているが, その際に文部科学大臣提出資料「Society 5.0 に向けた人材育成の推進」資料の一部が図 1 である。今回の学習指導要領での初等中等教育の拡充が, 単に初等中等教育の段階に限られたことではなく, 初等中等から大学・大学院, 社会人に至る体系的な教育政策の枠組みの中で一斉に推進されるものであり, 初等中等段階での統計教育がその基盤となっていることが示されている。さらに言えば, 初等中等教育におけるプログラミング教育の目的も, データと統計処理を意識した情報活用能力の育成が目的であることもわかる。



図 1 第 16 回未来投資会議 (2018.05.17)

文部科学大臣提出資料より

3 ■ 第 4 次産業革命の始動と Society 5.0

私たちはこれまでに, 産業の有り様を一変させ人間の働き方そのものを変革させた産業革命を 3 度経験している。それは, 18 世紀後半の工業化の黎明期を語る第 1 次産業革命で, このとき蒸気機関による自動化が推進された。次いで, 19 世紀後半の大量生産と文明化を語る第 2 次産業革命が, 電気による自動化によってもたらされた。そして, 20 世紀後半に, 電子化による製品・生産設備システムが進化し, いわゆるコンピュータによる自動化によって第 3 次産業革命が起こっている。

現在, これらの産業革命に次ぐ第 4 次産業革命の時代に入っているというのがグローバルな認識である。第 4 次産業革命技術は, IoT (Internet of Things, モノとモノとがインターネットで繋がり, 互いにセンサー等で検知したデータ, もしくはデータから判断した知識を更新し, 更に新しい判断ルールを構築, それに基づくレコメンドや行動選択をモノ (機械) が自動で行う仕組み), ビッグデータ, ロボット, 人工知能等である (図 2)。



図 2 産業革命の変遷 (放送大学「身近な統計」第 15 回)

日本政府も, 2018 年 6 月, 総理大臣によって, 現在第 4 次産業革命に入っていること, そのための人材育成の改革が急務となっていることの政府方針が下記のように表明された。

「デジタル革命が急速に進展する中で, 価値を生み出すデータや人材をめぐる熾烈な争奪戦が世界で繰り広げられています。このまま手をこまねいてはならない。Society 5.0 に向かって, 我が国こそが, 世界をリードしていかなければなりません。正に, この数年が我が国にとって勝負です。本年を第四次産業革命元年とする。生産性革命の実現に向けて, あらゆる分野で, その社会実装を進めていきます。そのために, 自動運転, ヘルスケア, デジタルガバメントなどの重点分野について, 産官協議会を設けて官民の叡智を結集し, 変

革の牽引力となるフラッグシップ・プロジェクトを推進します。加えて、こうした社会変革を実現するための基盤となる、大胆な規制改革に挑戦するとともに、AI人材の育成を始めとした教育システムの改革、大学改革などイノベーションを生み出すエコシステムづくりを進めます。」

Society 5.0とは、狩猟社会(Society 1.0)、農耕社会(Society 2.0)、工業社会(Society 3.0)、情報社会(Society 4.0)に続き、人類が初めて経験する第5番目の新しい社会、「データ駆動型超スマート社会」とされている。この新しい社会は、先述のIoT、ビッグデータ、人工知能、ロボット等の第4次産業革命技術であるデータ駆動型技術が基盤となって、多様なサービスが結合してより最適なサービスの自動化が進行する社会である。



図3 社会の変遷(放送大学「身近な統計」第15回)

4 ■ サイバー・フィジカル・システム(CPS)とデータ駆動型超スマート型社会

既に、Googleの人工知能搭載のコンピュータ棋士(アルファ碁)が名人イ・セドル九段に勝利したことで、人工知能技術に関して一般の認知度も上がっている。また、米国や中国における自動運転車の社会実装化も注目を集めているところである。日本においても2020年までの社会実装を目指して、高齢化が進行する中山間地域における人流・物流の確保のため、「道の駅」等を拠点とした自動運転サービスの実証実験が全国で実施されている。その他にも、自動翻訳、介護ロボット、身体機能の部分麻痺に対して装着者の微弱な「生体電位信号」を皮膚に貼ったセンサーで検出し、装着者の意思に従って身体動作を補助するサイバニクス技術が駆使されたロボットスーツHAL、リストバンドで高齢者の生体ログデータが病院の医療機器に自動送信され、瞬時に疾病リスクが予測されるシステム、普通の医師の診断精度を超える皮膚

がんの人工知能による画像診断、レジのない自動決済店舗Amazon GO、会話を学習し自身で調べて回答や依頼事項に回答するAmazonやGoogleのスマートスピーカー等、これまでSFの世界とされていたことが急速に現実化している。

経済産業省は、このような新技術が結集して実現されるデータ駆動型超スマート社会をサイバー・フィジカル・システムCPS(Cyber Physical System)によって社会全体が変革される社会として、図4のように示している。ここでは、現実の断面(フィジカル、実体、現実世界)から小型化・高性能化したセンサー等計測機器でデータを収集し、そのデータが示すサイバー(デジタルな)空間上で成立する行動選択や判断の高度化・最適化、自動制御のためのルール(法則)を推測し、それを現実世界にサービスとして適用する、さらにデータを収集する…を巡回させ、生活や社会システムサービスの最適化がどんどん進んでいく社会が期待されている。

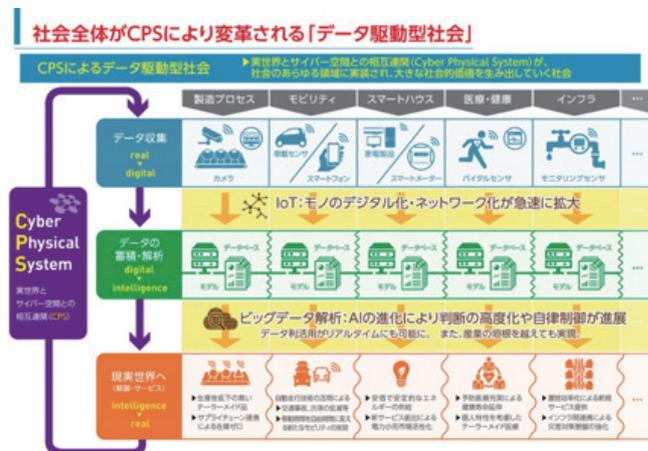


図4 情報経済小委員会中間取りまとめ(METI/経済産業省)

サイバー・フィジカル・システムにおける循環の3ステップは、以下のとおりである(図4)。

- ① データ収集：リアルな(現実の)対象からデータを収集：対象を多次元のデータを要素とするプロフィールで捉える。(例)交通事故が対象であれば、状況や車種、運転者の属性、事故の種類、事故の程度、死亡者を出したかなどがデータ項目となり、1件1件の事故のプロフィールとなる。
- ② データの蓄積・解析：データ化されたプロフィールの蓄積(プロフィールの大量観察)から関連性の解析を通して、社会課題の解決に資する知識(智慧、戦略)を抽出。(例)車

種や状況の違いから事故の程度を説明するモデルや予測するモデルを構築し、人工知能としてアルゴリズム化。

- ③ 解析成果を現実世界へフィードバック：②のモデルを自動制御や自動レコメンド機能としてICT機器に搭載。

5 ■ データからルール（法則）を推測する統計的機械学習と学習指導要領

人工知能技術が一気に実用レベルに至った背景には、前節で示したように、状況を示す多次元かつ大量のデータから次々と予測や判断のためのルール（法則）を推測していく統計学の数理モデリングの技法と、それを演算可能にしているコンピュータの能力拡大がある。データから予測や判断のためのルール（数理モデル）を推測していくことを学習といい、特にビッグデータを背景にし、モデル選択の自由度や誤差に関する評価を含めてアルゴリズム化させ、コンピュータ機器内で実行させる手法を統計的機械学習（マシーン・ラーニング）と言っている。機械学習によって得られたルールが機械を最適な方向へ制御し動作させている。

この技術は、既にメールのスパム検知、クレジットカード請求や保険請求等の不正検知、数字や顔画像の認識、Amazonの書籍や商品の自動レコメンドーション、医療診断、信用リスク予測、自然言語処理などで多く活用され、ビジネス用途での成功を機に爆発的に普及が進み、今日の人工知能の社会実装化を本格化させている。また、このような限定された範囲と目的での機械学習（統計的な数理モデル）の活用（データアナリティクスの機能）を、IoTによってモノとモノとがデータで繋がる技術を用いることで広範囲に広げ、これまでにない社会全体のスマート化を図ることが、CPSによるSociety 5.0である。

いずれにしても従来、専門知識を有した個人や組織の判断を伴う仕事の多くが、これからはセンサー等データ取得機能とデータアナリティクス機能が同時に備わった、いわゆる人工知能型機能搭載の小型のコンピュータデバイスに代替される社会が到来してくる。同時に、その社会に向けた変革が産官で協力に進められている。

この変革を担う人材育成に向けて、今回の学習指導要領改訂において、小・中・高等学校を通して統計教育とプログラ

ミング教育の充実が謳われている。したがって、プログラミング教育も単なる規定の手順のコードが組めることだけが目的ではなく、データ処理・解析処理を組み込んだプログラミング教育が目指されている。そのため、高等学校では、情報科で、比較や関連性の分析、予測や判断・分類のためのデータ活用や機械学習の内容が含まれ、数学科では、その基礎となる散布図やモデリング、統計的推測の内容が含まれている。

また、予測モデルの構築のためのデータ構造は、データを対象のプロファイル（ベクトル）が繰り返し測定されたもの（行列）として取り扱う。ベクトルや行列を抽象的に学習する前に、その表現の卑近な例として、データ行列とデータ分析を先に学習する流れは、数理・データサイエンスを全学部で強化する大学の数学教育およびデータサイエンス教育の最新の米国のガイドラインでも示されているところである。

6 ■ 知識と価値創造のための統計的思考力・判断力・表現力

前節で述べたように、人工知能はただの機械でデータの分析処理と分析結果に基づく合理的な判断の仕様がプログラミングされているだけである。しかし、身の回りで生起している諸事象をデータで捉え、分析を通して判断のルール（法則）を学習・推論し、実際に判断する方式は、経験を通して身の回りの諸現象間の関連性のパターンを意識し、関連性を法則として捉え判断し行動する、人間の普段の思考パターンと同様である。経験が豊かになればなるほど、関連性のパターンが原因と結果の因果の法則（知識）として高い確信度で私たちの脳に刷り込まれ、それが判断や行動の基礎となる。

ここで言う経験を人工知能は、データ（対象のプロファイル）で行っている。アルファ碁で言えば、碁の1回1回の対戦棋譜（勝敗に至るプロセスと最後の勝敗の結果を繋ぐデータ；対戦のプロファイル）が経験に相当する。また、自動車事故で言えば、事故のプロファイルデータが事故を経験したこと同等となる。経験を実験と言い換えてもよい。勝敗という結果に至る一手一手が、実験の計画（5W 1Hという条件や状況の設定）で、人工知能は具体的にどのような状況が結果を良い方向に動かしていくのかの確率計算を統計でいうところの予測分析のアルゴリズムとして実行しているだけである。

この予測モデルや確率の推定は、実験（プロフィールデータ）が増えれば増えるほどその精度が増していく。これを学習という言葉で表しているに過ぎない。しかし、私たちの身の回りでプロセス（ログ）がプロフィールデータとして記録されるビッグデータ時代、人工知能技術としてのこの予測アルゴリズムの効用は計り知れない。

人工知能を過度に畏怖することなく、限界を理解した上でその進歩発展の効用も概念理解しておかなければならない。そのため、対象のプロフィールを多次元（複数の変数）のプロファイルデータで捉えること、プロフィールを構成するデータ項目（変数）間の因果モデルを仮説として構築すること、原因系の変数の値の変化が結果系の変数の分布にどのような影響を与えるのか、分布の比較で現実の問題を捉え解決する戦略的な思考力、分布や確率に基づく仮説の真偽に対する判断力、思考の過程や判断の根拠を示す表現力を、知識（原因と結果の傾向を示すルール）とそれを価値に結びつける創造力とともに、日常的に意味のわかる文脈で鍛錬しておくことが重要である。

例えば、図5は円グラフを活用した、判断のための決定木の表現である。自動車販売店において、客が契約してくるかどうか、これが重要な不確実性を伴う結果変数で、この分布が客の状況によって変化することを単純な統計グラフの活用で示している。これは、販売員が自身の契約率向上に向けて戦略を考察する上での判断の基礎資料となる。円グラフに限らず箱ひげ図等の分布図の戦略的比較を問題解決に活用する視点は、小学校、中学校、高等学校（数学科：データの分析・統計的な推測、情報科：データサイエンス（機械学習：決定木・予測モデル）、大学・大学院、企業におけるデータサイエンス・人工知能の活用（決定木・予測モデル）など、分析者が手作業で行うのか、アルゴリズム（ソフトウェア）で判別を自動化するかの違いがあるだけで、すべての校種や高等教育・研究、社会で活用できる、問題解決的思考・判断・表現形式の要となる。

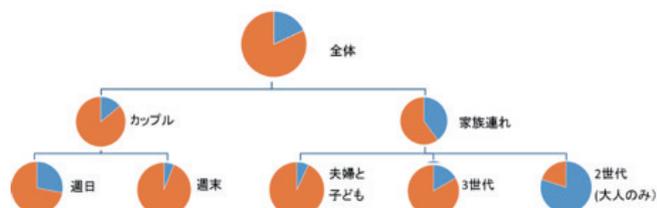


図5 顧客状況に応じた契約率の変化（架空）

7 ■ 大学における数理・データサイエンス教育の強化

図1に示したように、Society 5.0に向けた人材育成の推進と教育改革は、初等中等から大学等高等教育、社会人のリカレント教育に至るすべてのレベルで同時に着手され強力で推進されている。大学においても文部科学省は、Society 5.0の実現に向け、あらゆる産業でより多くの人材が人工知能、IoT、ビッグデータ、セキュリティといった第4次産業革命技術を使いこなす能力を身に付ける必要性があるため、その能力の基礎となる、データを収集し、その本質を見極め、問題を発見・整理分析・解決する力、数学を活用した論理的思考力などを文系理系にかかわらずすべての大学学部生を対象に計画的かつ着実に全国的規模で推進するため、2016年度に図6にある6大学を拠点校として整備し、2017年度より学部の枠を超えた全学的な教育が開始されている。同時に、東京大学を幹事校とする拠点大学コンソーシアムが標準カリキュラムの作成や教材の開発等を進めており、今後全国の大学へ普及・展開が図られる。

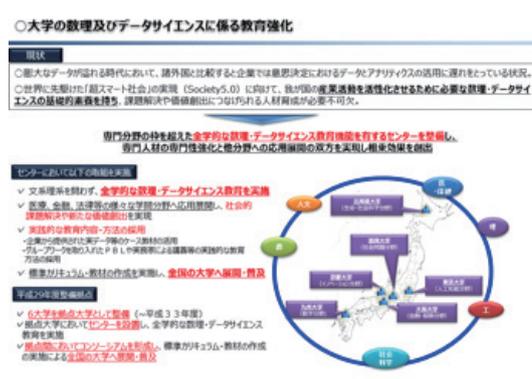


図6 大学の数理・データサイエンス教育強化に向けた取り組み（文部科学省高等教育局）

人工知能型社会を担うデータサイエンス教育自身は、高度なデータアナリティクス系人材の育成だけを目指すためのものだけではなく、基本的な日常の意思決定や判断において、データを客観的なエビデンスとして科学的な思考および統計的な思考で対峙する能力自身を指し、既にデータに基づく科学的意思決定力の強化は、21世紀型スキル教育やグローバルリーダーシップ教育の中でも最重要視されている内容である。初等中等教育段階においてその充実を図り、人工知能に代替されない創造的な思考力を育成することが、来たるべき Society 5.0 におけるデータサイエンス専門職能の育成にも繋がっていく。❖

第12回(最終回)

数学と音楽と人生と



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、ジャズピアニスト。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、卒業後音楽活動開始。アルバム“REJOICE”，“希望の花”，“妙心寺退蔵院から聴こえる音”ほか、著書『人生を変える「数学」そして「音楽」』（講談社），『タイショウ星人のふしぎな絵』（文研出版），『音楽から聴こえる数学』（CD付，講談社）ほか。現在は音楽活動や数学研究，数学×音楽公演，執筆，STEAM教育開発等に携わる。米日財団主催日米リーダーシッププログラムフェロー。内閣府STEM Girls Ambassador。東京大学大学院数理科学研究科元特任研究員。現在は米国NYへ。

数学と音楽と私

ついに、連載『数学と音楽の織りなす世界』も最終回となりました！ ここまで11回にわたり、さまざまな角度から数学と音楽の絶妙な関係について覗いてきましたが、いかがでしたでしょうか。半ば宣伝となり恐縮ですが、8月に、文研出版より私にとっては初めての絵本『タイショウ星人のふしぎな絵』（文：中島さち子，絵：くすはら順子）が出版されました。これは本連載の第6～8回でバッハの音楽を通じて模索した対称性の不思議を「絵」の方向から眺めたもので、老若男女問わず、実際に手を動かしながら（tinkering）楽しんでいただける内容になっているかと思います。くすはらさんの絵がとにかく可愛い！ また、9月には講談社より、

『音楽から聴こえる数学（CD「数学の音」付）』を発売しました。こちらは、本シリーズの内容をより深く具体的に掘り下げ、さらに「耳」からも楽しんでいただける内容になっているかと思います。こちらのえびずさんの絵も可愛いですし、Trio MATHEMATICAの音も正直とても素敵な仕上がりになっていると思います！ ぜひ、いずれも読んで「体験」していただければとても光栄です。



以下、私自身の主観的な話になり恐縮ですが、改めて。私は3歳頃から音楽に出会い、自由な即興や作曲に惹かれたものの14歳でやめ、中高時代は小説や数学に没頭しました。最初は本当に何の数学の先取り勉強もしていなかった私ですが、一つの問題を1週間、1か月と考え続ける楽しさにすぐ病みつきになり（最初の頃の私の証明等を読んでくださった先生方は実にたいへんだったと思います！）、たいへん不器用ながらも数学にゆっくりずぶずぶとはまり込んでいきました。徐々に仲間や師にも出会い、『数論の3つの真珠』（A.Y.Khinchin 著，日本評論社）や『初等整数論講義』（高木貞治著，共立出版），『数論講義』（J.P.Serre 著，岩波書店），『数論序説』（小野孝著，裳華房）などにも出会い、整数・素数の神秘に魅惑された青春時代でした。本を読むだけでなく、ああでもないこうでもない、いや、本質はこういうことではないか…など、寝ても醒めてもずっと何か数学的な神秘に格闘することも多く、未熟ながらも「創る」数学の面白さに惹きつけられていきました。高校では国際数学オリンピックを通じてリアルな「世界」にも出会い、必ずしも「証明できない」混沌とした人間世界の中で、より不可思議な数学的・人間的・音楽的なものを感じ始めました。大学では数学に益々のめりこむと同時に（私の夢の一つは実は畏れ多くも非可換類体論なわけですが、なかなか壮大すぎる山です！）、ジャズという論理と感性が入り乱れる創造的な世界に出会い、徐々に夢中になっていきます。ジャズは、そういう意味では、

証明を基軸とする数学と真逆にあるようで実はとても近いような、数学と小説（人間）が混ざり合ったような、不思議な世界です。最初は音楽でも本当に下手！なアマチュアに過ぎなかった私ですが、それでも感性と感性をぶつけ合いながらその場で音楽を創り出していき、正解のない極めて人間的な協働作業は実に面白く、不器用なりに何度も何度も挑戦を続けるうちに、「音楽（を創り続けること）は、私の人生にとって絶対になくてはならないものであること」に気づきました。

未熟ながらも時にはふと人を喜ばせたり涙させたりもできる音楽とは、「生きる」ということの喜びや苦しみ、哀しさを（言葉や論理を超えて）感性で共有できる素晴らしいものです。でも、実は数学の魅力も、同様に、そんな柔らかい感性的な世界の中に潜んでいるように感じています。数学の中で何かが見える瞬間というのは、まさに論理の苦闘を経た後に感性が突如魔法をかける瞬間です。そして、その感性はとても人間的で不可思議な柔らかいもののはずです。私にとって、数学と音楽はともに「創る」ことが最高に（難しいが）面白い世界です。数学と音楽に通底するものはまさにこの創造性であり、創造とは論理と感性の交差点に生まれるもの。だから、具体的な関連以上に、数学と音楽、あるいは数学者と音楽家に通底するものは興味深々と感じています。そして、私が教育や学びを通して伝えたいのも、私自身が人生を賭けて続けたいと欲するものも、まさにこの創り出すものとしての数学・音楽（の、まるで遊びのような楽しさ）です。私は、まだまだ道半ば。一生を賭けて追究したいと考えています。

数学の未来

最終回、徒然に私のさまざまな所感を書かせていただくことをご容赦ください。皆さんは『無限論の教室』（野矢茂樹著、講談社新書）をご存じでしょうか。本著の中では無限についてのいろいろな不思議が語られていきます。詳細は本を読んでいただくとして、この本が面白いのは「実無限」と「可能無限」の考え方を分けている所です。実無限派は、『無限というものが存在する』と考える（例えば直線は無数個の点からできている等と考える）のに対し、可能無限派は、『ある操作はいくらでも続けていくことができる』（例えば直線は適当な所で「切る」という操作をいくらでも続けられる等と考える）という可能性として無限を捉えます。現代の数学

は、実無限の立場の上によって理論を構築していますが、もし可能無限の立場で数学を創るとどうなるか。…実は無限には可算無限しかなくなり（実数が存在しなくなる）、二重否定は元に戻らず背理法が使えなくなり、ほとんどの数学の概念や定理がガラガラ崩れていきます。でも、カントール以前は、より直感的な「可能無限」の考え方が主でした。二重否定が元に戻らないことも日常ではよくあること（美味しくないわけじゃない≠美味しい?!）。現在の数学は、実無限の上に緻密な論証で構築された壮大な建築で、その景色は非常に美しく神秘的です。でも、もしかしたらもっともっと深い穴から数学を覗くとまた新しい、より複雑で混沌とした壮絶に美しい景色が待っているのかもしれない。

物理学における相対論や量子論の衝撃（光速は一定／ものが存在するかどうかは観測して初めて定まる等）は、ある種哲学的な衝撃ももたらしました。もちろん、数学における非ユークリッド幾何学の衝撃やガロアによる抽象構造を捉える考え方等、数学史の中でも何度もそうした哲学的衝撃があり、その度に数学は深く深く育っています。ゲーデルの不完全性定理（自然数論を含む帰納的公理化可能な理論は、無矛盾ならば自身の無矛盾性を証明できない）などは数学の考え方そのものに大きなショックを与えましたし、最近のディープラーニング等は、非線形関数を間に挟みながら、数学的にはまだ証明されていないが極めて優れた「人工知能」をどんどん世に生み出しています。0と1の間を揺れ動く確率論も数学のあらゆる分野と繋がり始め、数学自身の景色も今大きく変わろうとしています。

私は、数学や芸術・音楽、生物学などは最終的に同じような所に向かっているのではないかと勝手に感じています。20世紀に誕生した複雑系の考え方は今や自然科学全般に浸透していますし、数理生物学の分野は20世紀末から急成長を遂げています。音楽や芸術は今、テクノロジーを飲み込みながら、新しい、よりinteractiveで五感や第六感までを用いるような世界を模索し始めています。

きっと21世紀では、いろいろな分野が融合し互いに交錯しながら、より複雑でより神秘的でより生命的で、より一見矛盾した、まるで禅問答のような世界が、学問でも産業でも社会でも（宗教や政治や教育でも？）繰り広げられるのではないかと私はわくわくしています。100世紀ぐらいにはすべての学問や産業は融合し、一つの壮大な宇宙芸術に

なっているのかもしれない…。とはいえ、もちろん、ポジティブなことばかりでは決してないでしょう。私たちが危惧しなくてはならない倫理上の問題や懸念も沢山あるはずで、避けては通れない議論は山積みです。が、社会や学問、産業、芸術の未来に、より躍動する、驚くような世界があり得ることは、ほぼ間違いないと思いますし、できれば、そうした、明るく、心が躍るような未来を私たちの手で少しずつ創っていければと思います。

そうした中、数学と音楽の狭間に流れる天の川のような不思議な関係に時々思いを馳せるのは、なんだかとても素敵なことではないでしょうか。

数学と音楽と人生と

最終回はかなり抽象的な話題となってしまいました。が、こうした哲学・文化・感性を含めた議論は、21世紀において、もっともっと直球でなされるべきだと私は考えています。私自身、まだまだ未熟で今までこうした議論が十分にできずにいましたが、主観もこめて、さまざまな専門家が境界を横断して自身が見ている景色を社会に積極的に共有し対峙させていくことはとても重要だと考えており、今後はもっともっと文化的な議論へも掘り下げていきたいと考えています。また、日本文化に眠る美意識も今後大切な役割を果たすだろうと思います。

対称性もラプラスアンも分数もユークリッドリズムもランダム性も群論もカオスも、すべて音楽の中の大切な要素の一つです。そうした具体的な数学が音楽にもたらず神秘的な一歩には意義がありますし、数学が数学を問い直し続けるように音楽も音楽を問い直し続ける中で、数学は一つの大きなカギとなるはず。でも、恐らく数学と音楽の関係はもっともっと深い本質的な所にも眠っています。数学や音楽は「世界を眺める自由で多様な視点」を得ようとする人間の衝動に由来するからです。

美しいとは何か、生きるとは何か、喜びとは何か、創造とは、人間とは、社会とは。さまざまな問いが浮かんでは消えていく、この短い人生の中で、数学や音楽を通して大切な「何か」が少しでも感じられたら、それはとっても素敵なことだと思います。だからこそ、数学や音楽は、「昔の天才が作った世界を受け身に利用する」のではなく、むしろ、才能なんて

考えず、苦手でも下手でも、とにかく自由に絵を描くように遊び学ぶ（創る）ものであるべきだと思います。^{*1} そうした主体的な学びの体験＜遊び・発見・失敗・創造・共有＞をうまく具体的にデザインすることが、21世紀では求められている気がします。

私のモットーは、すべての人が独創的な数学者であり創造的な音楽家！だということです。^{*2} もちろん、地球上の各々の数学観、音楽観は極めて多様だと思いますが、だからこそ、自由に数学や音楽の楽しい創造の世界にどこかでこっそり（独自に）出会い、楽しんでいただけたらと願っています。そんな体験があなたや誰かの人生を素敵に彩り、光となりますように。

そして、私自身、まだまだ微力ながらも、大好きで魅力的な数学・音楽・人生を、もっともっと自分なりに追究し、明るく心躍る21-22世紀文化・社会創りに少しでも貢献できればと思っています。スポーツや芸術、他の科学技術や工学、日本の伝統工芸や文化、社会など、他のさまざまな魅力的な世界との興味深い連携を模索しながら…！^{*3}

全12回の連載をお読みいただき、本当にありがとうございました。^{*4}



補足

※1 なお、数学や音楽を鑑賞するだけでも、その中で自身の頭や感性をフルに動かすことができれば、それは立派な創造だと思います。

※2 もちろん、本当は数学や音楽に限らず！です。

※3 例えば、現在は経済産業省『未来の教室』実証事業の一環で、STEAM×Sportsプロジェクトを、ラグビーの五郎丸選手や東北大学の田中香津生助教（物理学者）、Field of Dreamsとともに進めています。同事業では、ほかにもMusic Blocksという音楽×算数×プログラミングアプリの日本版・カリキュラム開発を、学研プラス、Walter Bender（MIT Media Lab 元所長）、Devin Ulibarri（ニューイングランド音楽院）、鶴飼佑さん（未踏ジュニア代表）と進めています。徳島商業高校とは、オンラインをさまざまな形で積極活用し、遠隔のプロフェッショナルと生徒・先生が一緒になって模索するSTEAM project based learningの実証事業も進めています（ロゴやデザイン、渋滞、環境ほか）。また、Follow the MUSE 共同代表として、おもに幼児・児童教育における数学やテクノロジー、アートや音楽を通じたplayful STEAM learningも模索中です！

※4 2018年9月より、フルブライト奨学生として、ニューヨーク大学Tisch School of the Arts、ITP（Interactive Telecommunications Program）にて、おもにArt & Technologyという世界に新たな挑戦を開始しています。日本でのさまざまなプロジェクトや活動・研究も継続したいと思っていますので、みなさま、今後ともどうぞよろしく願いいたします！

第12回(最終回)

未来と想像



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。

『たられば』

「送りバントをしていれば点が取れたのに」。小学生時代、野球を見ていた私がふと口にする、一緒に見ていた人に「たられば」だと一蹴されました。「たられば」?

当時はよく意味がわからなかったのですが、「たられば」は「もし…だったら」「もし…していれば」など、事実とは異なる仮定に基づく話のことを指します。特に悪い結果が出た後、「たられば」の話をするのは、無意味だといわれます。現状の悪い面だけを見て、変えられない過去の選択を後悔するばかりで、建設的ではないからです。また違う選択をした場合でも、良い結果になるとは限らない(例えば、送りバント失敗など)のに、理想的な展開を想定してしまい、仮に良い状態に転じても「違う選択をしていれば、もっと良

かった」と不満から逃れられなくなることもあります。

しかし、「たられば」を考えること自体には意味がありません。とりわけ重要になるのは、不確実な未来に向けて、何をすべきかを考えるときです。過去ではなく、未来の世界という存在しないものについて考えるとき、「たられば」に頼らざるを得ないことが多々あります。そのため、荒唐無稽ではない「たられば」の議論をする能力は大切です。

私たちは現在、諸々の問題を解決し、持続可能な発展を可能にする繁栄への原理を必要としています。今回の作品には、繁栄を求める地球人と宇宙人が出てきます。しかし繁栄を実現するための方針は対照的なものでした。こうした方針の選択は「どのような状態になったら、繁栄した世界と呼ぶか」、「そこに至るために、どのような方針で、何をすれば良いのか」といった問いと関係しています。作品を参考にしながら、どちらの方針が、今の私たちに適しているのか、想像を膨らませて考えていきましょう。

今回のポイントー今、私たちは何をすべきか

この作品は、短い作品ですが、大きな問題を考えさせてくれます。ぜひ、原作をお読みください。

さて、この作品には、地球と同等の宇宙進出も可能な科学力を持ちながら、異なる方針を選んだ星(以下、X星)が出てきます。X星は、宇宙進出をいっさいやめ、冷暖房や消毒などといった生活の向上にすべてを集中しました。

そうした施策に対し、地球人は思い当たりがあるといいます。何に思い当たったのか、考えてみましょう。1つは、着陸時の徹底した消毒や、行く先々でのおだやかな気候といった、X星での体験です。そしてもう1つは、地球で行われている小規模な同様の施策です。「大作業だったことだろう」という言葉からは、地球では作業の大きさが原因となり、実行に至らなかったという過去が推測されます。

作中で、探検隊は、X星を「おとぎの国」と評し、その繁栄への原理を知りたがりました。しかしX星が採用した繁栄への原理、すなわち地球人が宇宙進出した末に発見した繁栄への原理は、宇宙進出を目指すことと引き換えに、自ら放棄した原理でした。宇宙船を作り上げ、それに乗って得たのは、宇宙船は作るべきではなかったという悟りだったのです。

ただし、これはあくまで架空の話です。X星のように、現

作品の概要 「繁栄への原理」 星 新一 『妄想銀行』（新潮社）収録

地球の人びとの大きな期待を背負った探検隊は、いくつかの惑星の調査を行ってきたが、成果はあまりなかった。乾ききった星、氷の星、怠け者の住民しかない星。「地球がいかにいい星かを再認識させてくれたのだから、まんざら無価値でもないだろう」と隊員たちは話していた。

しかし、次に調査する惑星は、人工的と思われる電波を出しており、文明が期待できる。近づくと、都市らしいものがあり、着地地点を指示するように光線が点滅している。攻撃を受けることもなく、宇宙船は着陸した。

すると、住民たちは宇宙船をめがけ、大量の液体を吹きつけた。有害ではないらしい。住民にうながされ宇宙船のドアをあけると、宇宙船の中まで噴霧を続けた。化学分析係が液体を調べると、消毒薬であった。侮辱された感じだったが、筋も通っており、怒るわけにはいかない。

だが不快さを感じたのはその時だけ。住民たちは友好的で、心からもてなしてくれた。隊員の意思を尊重し、どこへでも案内してくれた。どの地方もおだやかな気候で、貧しさや争いはなく、病人さえいなかった。見学すればするほど、文化生活がゆきわたった、すばらしい星だとわかった。

次第に言葉がかわせるようになり、隊員たちが、おとぎの国としか思えないと、ため息交じりで感想をのべると、住民は、この星もかつてはごたごたが絶えなかったと答え

た。隊員たちは感心するとともに、嫉妬めいた感情を抱いた。進んだ文明や科学を持っているのに、地球に来て向上の秘訣を指導してくれなかったのは不親切だと、不満を口にしました。

住民は、不親切ではなく、宇宙船がないため、訪れることができなかったと説明した。もちろん、技術的に作れないわけではないが、宇宙進出には費用がかかるので、やめたのだ。隊員たちは宇宙船の研究、実験、乗員の訓練など、関連した費用を思い浮かべた。とても計算しきれない。その巨大なピラミッドの絶頂に立って、この星に到達できたのだ。

一方、この星では、すべてを生活の向上に集中しているという。寒い地方には暖房装置、暑い地方には冷房装置をとりつけ、大消毒をおこない、水中や空中から病原菌を完全になくした。いずれも思い当たることばかりだった。しかし、驚くべき規模のやり方だ。隊員が「大作業だったことでしょう」というと、住民は「宇宙へ進出するよりは安上がりですよ」と答えた。この星の住民は、この一連の方針を選び、星はよくなり、みな満足しているのだ。

隊員たちは顔を見あわせた。ピラミッドを築きあげ、その上に立って得た悟りが、これは作るべきではなかったというようなものだ。隊長はいう。「地球ではみな、われわれのもたらす報告を待っているだろう。宇宙のはてからの、すばらしいみやげを待っている。しかし、この繁栄への原理を報告したら、どう思うだろう…」

在の生活向上に集中すれば、宇宙進出などの新しい将来の可能性を追求することはできません。一方で、宇宙進出を目指せば、生活向上のための施策は小規模となります。いわば「あちら立てれば、こちらが立たぬ」という関係です。

さて現在、地球はごたごたしています。これから考えたとき、X星のように生活向上に集中すべきでしょうか。それとも、作中の地球人と同じように、宇宙進出のような新しい可能性を探索すべきでしょうか。仮に、どちらか一方しか選べないとしたら、どちらにすべきだと考えますか。

「生活向上に集中すべき」という立場

X星は「生活向上に集中する」という繁栄への原理を採用していました。地球人から見て、この作品の結末は、童話「青い鳥」を思い出させます。地球人は、まだ見ぬ繁栄への原理

があると信じ、それを追い求めて宇宙に進出しますが、その原理はすでに手中にあったのです。現状に満足できない場合、既知の方法は有効ではなく、画期的な方法が必要だと思いがちですが、実はよく知られた方法を地道に続けることが、正解ということも少なくありません。

また作品の冒頭に「地球がいかにいい星かを再認識させてくれた」とあるように、ごたごたを抱えているように見える地球は、実は理想に近いのかもしれませんが。私たちが理想を実現するために重ねてきた努力の結果として、現在はあります。もちろん問題も山積みですが、同じように良い点もあるはず。「たれば」の議論で陥りがちな、過剰な理想になっていないかに注意する必要があります。

それとは別に、生活向上に集中することは、繁栄に向けた基盤整備といえるかもしれません。現世代が食うや食わずの生活をしていては、子供を産み育てることはできません。そ

の意味で、現世代の生活水準の向上は、次世代の繁栄の土台となるのです。X星も、このような生活を続ければ、次第に星は豊かになり、宇宙進出も容易になるでしょう。

「新しい可能性を探索すべき」という立場

作品で地球人は宇宙に進出し、繁栄への原理を探し求めました。一般に、私たちが知っていたり、考えついたりできるアイデアは、非常に限られています。その意味で、よりよい繁栄への原理を探することは、有望な取り組みです。作品では、皮肉な結果となりましたが、次に訪れる星で、さらに素晴らしい原理を発見できる可能性は、常にあるのです。

また、過去の方針が間違っていたという知見を持ち帰る場合でも、遠回りではありましたが、今後はX星のようになるという確信をもって、施策を進めることができます。同様に、地球が良い星であると再認識できたことも重要です。この知見があれば、「地球の生活は宇宙で一番良いのだ」という満足感を持って生活ができます。宇宙進出することですが、これらの知見は得ることができません。

さらに、宇宙進出を目指す過程で、多くの発見がなされ、科学技術も発展したと予想されます。この発展は、間接的に地球の生活を豊かにしたでしょう。また、将来や宇宙に思いを馳せ協力し合えた時間、あるいは、宇宙調査の進捗に期待して待つ時間も、幸福な時間だったといえそうです。

現代の私たちとのつながり

さて、今、私たちはどうすべきでしょう。何らかの方針を採用すれば、何かを得る可能性とともに、何かを失う可能性も生じます。多かれ少なかれ、私たちの選択は、常にこうした性質を持っているように思います。何かを前（どちらが前なのか、大きな問題です）に進めることはもちろん、現状を維持することも安全でも、容易でもありません。

これは世界が、不安定で、不確実で、複雑で、曖昧であることに起因しています。科学技術の進展もあり、こうした世界の性質が顕著に表れるようになっていきます。こうした世界では、正解は1つに決まらず、何をするにしても、正解かどうかを事前に知ることはできません。難しい状況ですが、逆にいえば、何をしても正解にできるという可能性と希望も常

に存在することになります。過去の選択は変えられませんが、未来は現在の私たちの行動で変えられるのです。

私たち人間は、自由な意思や想像力を持っています。どのような状態を理想としたらよいのか。どうすれば、その状態に至ることができるのか。私たちは単に現状に適応するのではなく、理想を共有し、それを生み出す努力を自分たちに課し、望む未来をつくり続けてきました。そして現在、科学技術の発展により、未来をつくる力はより強くなっています。逆に言えば、間違っただけで使ってしまうと、未来は瞬く間に台無しになります。また強力な科学技術を使えば、一部の人のみで自分たちにとって都合の良い未来をつくれるかもしれませんが、それでは大多数が不幸になります。

私たちは、どのような未来を目指すべきでしょうか。例えば、近年の持続可能な開発という考え方は、節度ある開発を重要視する点で、X星の方針と通じる点があります。ただし、持続可能な開発が提起される背景には、現在の生活スタイルに対する反省もあるため、現在の価値観に立っただけで生活向上を進めては、X星のような繁栄は望めません。その点では、作中の地球人のように、新しいアイデアを探する必要もあります。どうやら未来像を描くためには、さまざまなアイデアを組み合わせる必要があります。そのために、私たちは、同時代の異なる地域に住む人や、異なる世代の人と議論することができます。また教育を通じて、私たちの知を乗り越える次世代を生み出し、ともに考えることもできます。教育は、未来をつくることに他なりません。

さらに、「たれば」を使えば、人間以外の存在や架空の存在からもアイデアを引き出せます。昆虫や微生物などが注目されていますが、人間以外の営みを、人間社会に応用したらどうなるかと考えることは興味深い試みです。また過去を振り返ることで、過去の人物の考えや「〇〇が起きたら、どうなっていたか」という時間を越えた想像が可能になります。この時間を越えた想像力は、未来を考える際にも役立ちます。そして科学もまた思考実験に代表されるように、「光と同じ速度で人が移動したら」など、ありえない状況を想定することから、新しい理解や刺激を得ています。

さて、この連載では、サイエンス・フィクションを通して、未来を描くために想像を刺激することを目指してきました。まさに、「たれば」の話ばかりでしたが、いかがでしたか。お読みいただき、ありがとうございました。◆

第12回

女性の性周期の生物学



東京都国立高等学校 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。

「性教育」は、「ヒトの生物学」を考えるうえで外せないものの一つです。日本では保健の授業で扱うことが通常ですが、世界各国では生物の教科書にも性教育に関連した内容が掲載されています。さまざまな内容が取り上げられていますが、今回はその中でも、女性の性周期とホルモンについて取り上げ、「ヒトの生物学」に関するコンテンツとして紹介したいと思います。

性周期とは

女性の性周期には、卵巣周期と月経周期の2種類がありますが、これらは連動しているため、まとめて性周期といいます。この性周期を図示したものが図1です。ここでは、月経の出血開始を第1日としています（一般には生理という用語もありますが、医学的には月経といいます）。

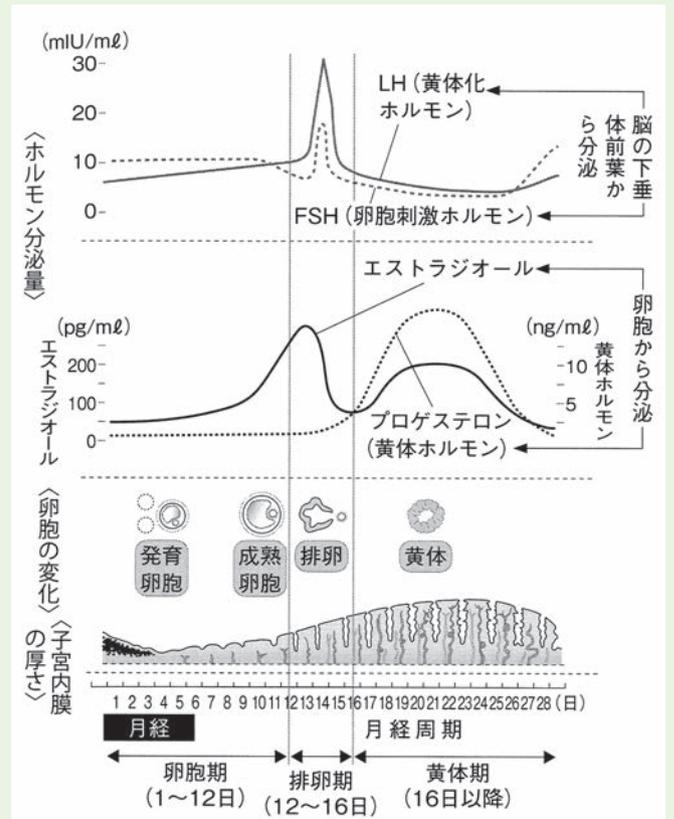


図1 月経周期に伴うホルモン分泌量や卵胞の変化 『不妊治療を考えたら読む本』（講談社ブルーバックス）より引用

性周期は平均28日で、図2のように視床下部—下垂体—性腺系により制御されています。

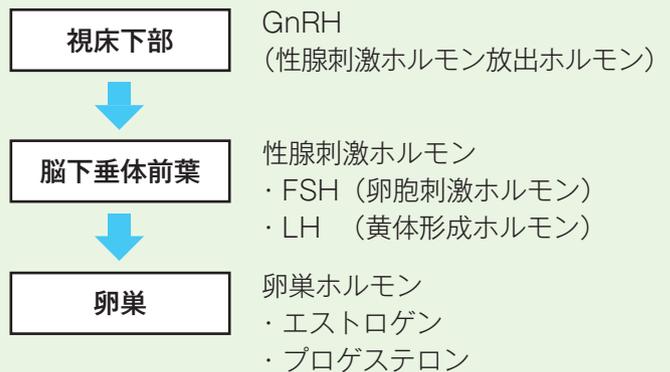


図2 視床下部—下垂体—性腺系

卵巣周期で「卵胞期」と呼ばれる月経から排卵までの時期には、下垂体前葉から分泌されるFSH（卵胞刺激ホルモン）の働きにより、卵巣内の卵胞が発達していきます。卵胞は、図3のように卵子とそれをとりまく顆粒膜細胞、さらにその外側にある卵胞膜の細胞からなり、卵巣ホルモンは顆粒膜の細胞から分泌されます。

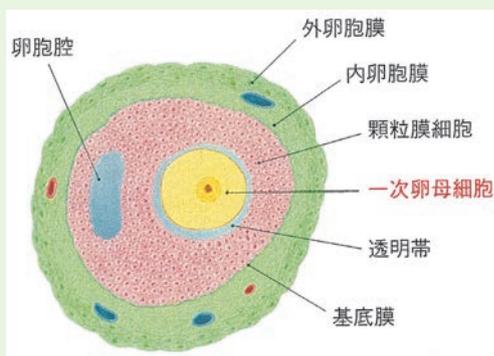


図3 二次卵胞の模式図 『人体の正常構造と機能』（日本医事新報社）より引用

卵胞が発達してくると、卵胞細胞からエストラジオール（エストロゲンの一種）が分泌されるようになり、子宮内膜に作用します。子宮内膜は増殖し、受精卵の着床に備えます。

2種類のフィードバックのしくみ

図1を見ると、エストラジオールの分泌量が増加するとFSHの分泌量が低下していることがわかります。これは、図2の系に負のフィードバックのしくみがあるためです。エストラジオールの分泌量が増えると、視床下部からのGnRH（ゴナドトロピン放出ホルモン）の分泌が抑制され、脳下垂体前葉からのFSHやLH（黄体化ホルモン）の分泌も抑制されるのです。

このような負のフィードバックのしくみを理解して再び図1を見ると、不思議なことに気づきます。排卵期に入り、エストラジオールの分泌量が増えているにも関わらず、FSHやLHの分泌量が増加しているのです。これはなぜでしょうか。実は、図2の系には負のフィードバックのしくみだけでなく、正のフィードバックのしくみもあるのです。一定以上エストラジオールの濃度が上がると、負のフィードバックから正のフィードバックへと切り替わります。

この切り替えをきっかけに、視床下部からGnRHが大量に分泌され、それに伴い脳下垂体前葉からは大量のLHとFSHとが分泌されるようになります。特に、LHの大量分泌はLHサーージと呼ばれ、これをきっかけに卵巣内の成熟した卵胞が刺激され、排卵が起きます。

排卵後の変化

排卵後、卵胞はLHの作用により黄体と呼ばれるようにな

ります。黄体からはプロゲステロンが分泌されます。プロゲステロンの作用により子宮内膜で腺分泌が始まり、子宮内膜は厚く、水分に富んだ、受精卵の着床に適した状態になります。また、プロゲステロンには体温を上昇させる働きもあります。このため、黄体期には体温が上昇します。

また、プロゲステロンには子宮内膜を保持する作用もあります。その後、もし妊娠が起これなければ、排卵後14日目には黄体は退縮して結合組織に置き換わり、白体となってしまいます。プロゲステロンの分泌が減るために、子宮内膜を保持できなくなり、子宮内膜は剥離し、出血を伴い排出されます。これが月経です。

妊娠が成立すると、黄体は退縮せずに維持され、引き続きプロゲステロンを分泌し子宮内膜が維持されます。着床後、原始胎盤が発達し、そこから、ヒト絨毛ゴナドトロピンというホルモンが分泌されるようになります。このホルモンはLHのような作用があるため、黄体からのプロゲステロンの分泌が継続することになります。その後、妊娠の進行に伴い黄体が縮小すると、妊娠8週以降は胎盤からプロゲステロンが分泌されるようになります。

ピルのしくみ

ここまで、女性の性周期とホルモンの関係の概要を見てきましたが、その知識をもとに、いくつかの事例を考えてみようと思います。まずは「避妊」についてです。

避妊にはさまざまな方法がありますが、基本的なしくみは、「精子と卵子が出会わないようにする」か、「出会っても子宮内膜に入り込まないようにする」かのいずれかです。

日本の保健の教科書には、代表的な避妊法としてコンドームと低用量ピルが紹介されています。コンドームは精子の侵入を防ぐということで高校生にもわかりやすいと思いますが、ピルのしくみは理解しにくいのではないのでしょうか。

ピルの成分は、卵巣ホルモンであるエストロゲンとプロゲステロンです。なぜこの2種類のホルモンを摂取することが避妊につながるのでしょうか。その秘密は、先ほど紹介した「負のフィードバック」にあります。

ピルを摂取することによって、負のフィードバックにより視床下部からのGnRHの分泌が抑制され、脳下垂体前葉からのFSHやLHの分泌も抑制されることで、LHサーージが起こ

らなくなり、排卵が抑制されます。

これ以外にも、ピルには、子宮内膜の発育不全により着床をしにくくさせたり、子宮頸管の粘液分泌が不良となり精子の侵入を防いだりする働きもあります。

ピルの避妊率は98%といわれ、女性が主体的に選択できる避妊法という点でとても重要です。しかし、日本ではコンドームのみでの避妊が主体であり、ピルの使用率では、ヨーロッパで約30%~40%の国が多い中で、日本では1%しかありません (United Nations, World Contraceptive Use 2013)。

ピルには、血栓症のリスクが高まるなどの副作用も報告されています。一方で、ピルには、「将来妊娠しづらくなる」などの誤解もあるようです。

ピルがどのようなものか、正しい知識を持って主体的な選択ができるようになることがとても重要だと思います。

不妊検査と排卵検査薬

次に「不妊」についてです。国立社会保険・人口問題研究所によると、不妊治療もしくは不妊検査を受けたことがあるカップルは6組に1組だそうです。これは結婚年齢が上がり子供を持つとする女性の年齢が高くなってきたことがおもな原因と考えられます。不妊検査や不妊治療を理解するうえでも、性周期とホルモンの理解はとても役に立ちます。

はじめに、不妊検査についてです。LH-RHテスト (GnRH負荷テスト) と呼ばれる検査があります。これは、不妊の最も基本的な検査で、月経周期3日目前後に行われます。GnRHを血液中に注入し、30分後にFSHやLHの濃度がどう変化したかを調べます。GnRHはFSHやLHの分泌を促すので、濃度が上がるはずですが、その場合には、視床下部からのGnRHの分泌異常の可能性があり、逆に、濃度が上がらない場合には脳下垂体の異常の可能性が考えられるということになります。

別な検査にプロゲステロン検査というものがあります。これは、排卵の5~7日後に行われます。妊娠の維持には黄体から分泌されるプロゲステロンが欠かせません。このプロゲステロンが十分に分泌されているかを調べる検査です。

また、排卵検査薬のしくみは、LHの濃度を調べるというもので、排卵のきっかけとなるLHサージをとらえることで妊娠しやすいタイミングを知るために使用されます。

排卵誘発剤

不妊治療では、排卵誘発剤が使われます。排卵誘発剤の成分はFSHやLHと同じものです。卵巣ホルモンの分泌に異常がある場合、排卵誘発剤により卵胞の成長を促し、排卵が起きにくい人に排卵を促すことができます。

また、体外受精の場合、複数の卵胞を育てて妊娠率を高めるためにも使用されます。通常のプロセスでは、卵胞が発達したある時点で、1番大きくなっている卵胞が選択されます。選ばれた大きい卵胞は自身の分泌するエストロゲンの作用によりFSH受容体が増え感受性が高まっているため発達し続けます。一方、選ばれなかった卵胞からはインヒピンという物質が分泌され、視床下部からのFSH分泌を阻害します。これに加えてエストロゲンによる負のフィードバックがあるため、選ばれなかった卵胞はFSHの作用を十分に受けることができず、最終的にアポトーシスによりしぼんでしまいます。

これに対して排卵誘発剤は、セレクションで選ばれなかった卵胞もFSHを与えることで救おうというものです。卵胞が複数育てば子供になれる卵子と巡り会う確率が増えます。

また、人工的なホルモンの波を作ることで、卵胞の発育を十分に促したり、排卵・採卵のスケジュールを人為的に決定したりするためにも排卵誘発剤は使用されます。

おわりに

女性の性周期とホルモンについて紹介しましたが、生物学的な背景知識があれば、さまざまなことが発想できることがわかっていただけたと思います。授業で扱うのであれば、「避妊」や「不妊検査・治療」に応用するとしたらどのような方法があるかを生徒に考えさせても面白いと思います。

また、『生物基礎』では体内環境の単元で負のフィードバックも扱います。チロキシンの調節がおもに取り上げられますが、卵巣ホルモンを取り上げてみてもよいのではないのでしょうか。性教育にも是非生物学の視点を取り入れてほしいと思います。❖

参考文献

坂井建雄他(2017年)『カラー図解 人体の正常構造と機能』日本医事新報社
浅田義正, 河合蘭(2016年)『不妊治療を考えたら読む本 科学でわかる「妊娠への近道」』講談社
日本生理学会「一步一步学ぶ医学生理学」 <http://physiology1.org/>

教育に
新しい風を

東日本大震災からの心の復興



仙台大学 教授

青沼 一民 / あおぬま かずと

● あれから7年

平成23年3月11日(金)14時46分、突然5階建てのビルが、電車に乗りつり草にしがみ付いていないと揺さぶられるような、地面が突き上げてくるような、これまでに経験したことのない大きな揺れを体験しました。

平成に入って、今後30年以内に宮城県沖を中心に大規模地震が発生すると専門家から警戒予報が出されていた矢先でした。今回の東日本大震災と大津波によって、東北地方太平洋沿岸では、多数の犠牲者と家屋流失で戦後最大級の被害を受けました。

災害復興には、沿岸部の防潮堤を中心とした土木工事等が10年以上かかるといわれ、7年経過した今でも復興道半ばという状況であります。

この大地震発災2か月前に仙台市立小・中・高校に防災無線が配備されて運用開始されていた矢先でした。

発災直後、余震が頻繁に発生している中で、200校余りと連絡を取りながら被害状況を全容把握することに時間がかかりましたが、特に、児童・生徒の安否確認が1週間以上もかかりました。

その理由として、被災者の方々が危機的状況の中で、一刻も早く被災地から宮城県外の親戚、知人を頼って避難したことで、安否確認が取れにくい状況であったため、報道各社の協力を得て、避難している家族に呼びかけて「直ちに在籍校に連絡を取るよう」と強く要請しました。

● 緊急時の児童の引き渡し

発災当時、金曜日の下校時間か諸活動中でほとんどが学校管理下のもと教職員の指示で、ほぼ全児童・生徒の安全確保ができましたが、たいへん厳しい状況下での対応が求められました。

東日本大震災では、児童・生徒の安全確保の観点から多くの課題が浮き彫りになりました。特に、児童・生徒の人命に関わる重要な課題を突き付けられました。

沿岸部周辺の学校では、災害時の避難誘導ならびに家族に児童を引き渡す訓練を行ってきましたが、10mを超える大津波を想定しての引き渡し訓練をしていませんでした。今回は、発災後に引き渡した後に、親子が乗った車が津波に巻き込まれ

て犠牲になってしまいました。

仙台市内の小・中学校では、学校管理下での児童・生徒の安全確保を最大限に努力して適切な指導のもとで被害はなかったことは、日頃の避難誘導等の訓練の成果が実ったものと考えています。

このことは、発災後は、引き渡しの状況等を十分に検討してさまざまな事象をシュミレーションして、場合によっては、終日学校施設に留まる措置を含めて検討しなければならないことです。

また、中学校では、学校が避難所になっていることから、終日中学生が避難所運営の中心的役割を行い、初動体制が十分機能していない段階から中学生によるボランティア活動が活発に行われたことも特筆すべきことです。

親への引き渡しの時期、災害規模と状況等によっては、引き渡しをしないで、そのまま親子とも学校施設に避難させて状況把握を徹底して対応していくことが求められています。

宮城県内で、震災発生後、小学校に避難してきた住民に近隣の児童を引き渡し、学校の判断で帰宅させて大津波に巻き込まれて犠牲になっています。

その後、東日本大震災関連訴訟では、学校側が取った措置が争われています。仙台地裁の判決は、「その安全が確認できない限り引き渡しをしてはならないという注意義務に違反した過失が認められる」として、校長の過失を肯定しています。また、控訴審判決が既に下されて、控訴は棄却されて、一審判決が支持されています。

心の復興

沿岸部が大津波によって甚大な被害を受けましたが、仙台市内陸部の学校施設でも、3月11日の地震と4月7日の余震により校舎施設の倒壊の恐れ、ひび割れで校舎使用ができなくなり、教育環境の急変悪化による児童・生徒への影響が甚大でした。

大震災発災後、各学校では臨時休校として早期の授業再開を目指していましたが、校舎使用不可の小・中学校15校では、授業再開に向けて授業場所の確保に苦慮し、使用できる体育館を間仕切りにして授業を行いました。

「段ボール教室で授業」として全国的に報道されましたが、隣教室の音が聞こえ、児童・生徒が授業に集中できないケー

スが見られ、子供の不安定な状況が続きました。

また、被災校では、児童・生徒を学年別に3つの施設(市民センター、2中学校)に分散して学年別授業を行うという非常に厳しい状況でありました。仮設プレハブ校舎完成までの8か月間分散した生活で子供も教職員も相当苦勞され、学校全体として子供のケアが厳しかったと思います。

さらに、内陸部の中学校では、校舎・体育館とも使用不能となり、1・2年生が隣接の小学校に間借り、3年生が自転車通学で高校を間借り、仮設プレハブ校舎に入居できるまでの9か月間分散生活を余儀なくされました。その後、しばらくぶりに3学年一同で生活すると、異変が現れました。

3年生がしばらく高校生と生活したことで、最上級生の役割を身に付けられない、2年生が小学校での最上級生としての役割を担っていたことで、2年と3年の心構えが逆転し、3年生全体が不安定な状況に陥りました。その後のケアが大変であったと聞いています。 ❖

自然学校という 社会教育の仕掛け



NPO法人 くろす野外計画社
理事長

高木 晴光 / たかぎ はるみつ

■ 自然と人、人と人、社会と自然のつながりづくり

自然体験活動というと、ボーイスカウトやガールスカウトを思い起こす方が多いと思います。日本の経済が大きく曲がり角を迎えた1990年前後より、「自然を舞台にした野外教育」という観点よりも「自然に親しむ活動により人々の感性を育み、自然と人、人と人、社会と自然のつながりづくり」を活動目標にした自然学校を標榜する団体が現れてきました。自然学校は次のような概念をもって生まれています。

「21世紀は持続可能な地球社会を未来へつなげる環境問題の世紀と言われる。中でも限られた自然を保護・保全し、その多様性を次世代に引き継いでいくことは、人類の生存にも関わる重要な社会問題であることに、広く多くの人々が理解を深める必要がある。そのために、まず人々が自然の中で過ごす楽しさ、心地よさを体験することにより自然に対して感動する心を養い、その神秘さに思いを寄せ、畏敬の念を育てることがとても大切である。さまざまな手法による自然体験活動は、それらを育むためにとても重要な役割を果たすものである。この目的をもって、人々を専門家として自然に出会わせ（自然と人）、自然の中で感動を分かち合える仲間をふやし（人と人）、人々が自然とバランスよく暮らすための新しい社会の仕組み（自然と社会）を提案・提示する役割を自然学校は有する。」

こういった考え方は欧米に古くからあり、欧米のNature Schoolやそこで展開される活動が日本へも数々と紹介され、自然ガイド・インタープリテーション手法が導入されましたが、日本の自然学校は、日本型とも言えるような独自の路線を進んできたように思います。それは、自然の細やかな事象について感性をもって体感知識として学ぶ場ではあっても、自然学校が立地する地域に住み暮らす人々・農山漁村のなりわいともつながり、新たなコミュニティをも形成する存在としての発展です。こういった理念に基づく自然学校という仕組みは、

今や日本に何百も登場しています。

■ 黒松内ぶなの森自然学校

私どもの黒松内ぶなの森自然学校は、日本の広葉樹の代表格であるブナが自然状態で自生する北限の地域に立地しています。朱太川が南から北に流れる黒松内低地帯と呼ばれる太平洋静狩海岸と日本海寿都湾を結ぶ地域は、北方と南方型の生物分布が重なる多様な生物相があり、海・山・川・森、酪農業、漁業が半径10km圏内に広がる自然体験活動や環境学習を展開するのにさまざまな素材がある豊かな地域です。黒松内ぶなの森自然学校は、そんな地の旧作開小学校の校舎・敷地を拠点に1999年、環境庁(当時)、黒松内町、NPO法人ねおす、(公財)日本環境教育フォーラムの協働が実り、「都市農山漁村交流」と「自然体感型環境学習の提供」を事業の柱としたエコツーリズムづくりを目指し、「笑顔と子どもの歓声があふれる場づくり」、若者には、次代を担う力を自らが育てられる場として人材育成にも貢献することを目指して開校したNPOです。



スタッフも On the Job Training で育ちます。

ぶな林や地域の自然・産業を案内するエコツアーガイド、小学校から大学やさまざまな社会人団体の受け入れ事業を行っています。なかでも7月から8月の3~4週間に渡り開催され

る、子ども向けの長期自然体験村は、当校のメイン活動であり、校舎に宿泊しながら、時には野外泊を組み入れて連日、海山川に出かける自然体験と生活体験プログラムを提供しています。この期間には子どもの参加者に加えて高校・大学生から60代、海外からのボランティアを含め50人もが合宿生活を送っています。参加子ども数と同じくらいのボランティアを募るのは、活動に関わる人すべてがお互いに学び合える環境「そだちば」「大家族」を活動のコンセプトにしているためです。また、国際交流も盛んで、海外からの若者やJICAの研修等で東南アジア・中国・台湾・アフリカ・ヨーロッパから多くの人々が訪れています。

そして、勝組・負組、上流・下流と分けられるようなグローバル社会に翻弄されることなく、自然の中で暮らし心豊かになれるコミュニティづくりを目指しています。

■ 育みたいチカラ

文部科学省は、子どもたちに育みたいチカラとして「生きる力」という概念を提唱しています。それはさまざまな言葉で表現されていますが、私たちは、それらを総合してDSR(どうか・する・力)と呼んでいます。今まで体験したことがない場面、直接知らないような困難なことに遭遇しても、それを何とか乗り越えるチカラです。

今、目の前にいる小学5年生が私と同じ年齢になるには、あと50年もあります。地球環境問題も人間社会問題も21世紀はますます混迷を深めていくことでしょう。今を生きる子どもも若者もその未来を生きることは決して楽なことではないと容易に想像できてしまいます。しかし、生きていくのが運命なのです。その時、今を彼らと生きる私たち大人は何ができるのでしょうか……。

■ C-zoneの拡大

人は、それぞれ安心安全なココロの領域(Comfort zone)をもっています。それは場でもあり、例えば家庭の自分の部屋などは、その最も安心安全なゾーンです。このC-zoneを広

げてあげると、たとえ、それまで体験したことがない困難、知らないような出来事に出会っても、それに対処して乗り越えていくことができると言われています。自分が周囲に影響を与える存在であることを認識する「自己効力感」、そんな自分自身であることを認める「自己肯定感」、自分の強い面も弱い面も含めて受容する「自己受容」といった概念形成が大人になる過程には必要です。これは、幼児期であれば、とても単純な身体活動でその基礎となるといえるチカラを獲得していくことができます。例えば、鬼ごっこで逃げ通せた、捕まえることができた、かくれんぼで見つけることができた、隠れ通せたといった小さな成功体験を積み重ねるといったことです。小学生ともなると、高い場所からの海への飛び込み体験が典型的な活動です。もちろん飛び込めたことは強い自己肯定感となり自信につながりますが、それよりも、自分の身の安全を図りながら飛び込むか飛び込まないかを逡巡し、自分で決めることが自主性をも育むと考えています。

■ 知識と体験

数年前の小学校5年生の全国学力テストで、150平方cmは次のうちどれかという四択問題がありました。問題は①はがき、②切手、③教室、④教科書でしたが、その正答率が20%を切ったということで話題になりました。計算の仕方はわかるが実体験とリンクしていないという衝撃的な結果とも評定されましたが、若者と体験活動をしているといろいろな体験不足に出会います。例えば、「カヌーが水に浮かぶことを説明しなさい」→「浮力です」。これはテストであれば正解でしょう。しかし、国立理系の大学生であっても「浮力がなぜ発生するか」を答えることができない人が少なからずいます。しかし、もっと身近なことで、テコの原理を実際に応用できない、虫眼鏡の焦点を合わせられないなど、ビックリする場面に遭遇することが実はしばしばあります。子どもの頃の実体験の希薄化は、将来の科学、産業の発展にも影響を与えるほど深刻になっていると私には思えます。体験を通じて学ぶ活動が学校教育でも普通に行われていくことを強く望んでいます。❖

編集後記

6月の大阪での地震を皮切りに、西日本豪雨、台風21号、北海道での地震と、立て続けに大きな自然災害に見舞われました。被災されました皆様には謹んでお見舞い申し上げますとともに、1日も早い復興を心よりお祈り申し上げます。今号では、「統計教育はどう変わるか」の第2弾をお届けします。統計教育指導の参考になれば幸いです。次号では、これからの教育において注目されている「課題研究」を特集します。(財)理数教育研究所 事務局



知られざる

女性数学者の素顔

第3回

桂田 芳枝

～数学で日本初的女性理学博士～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すむむ

「高次元空間の非ホローム系に於ける extensor のオペレーションについて」。桂田芳枝はこの論文で1950年に我が国初の数学的女性理学博士となりました。桂田芳枝は1911（明治44）年北海道余市郡赤井川村で生まれ、ニッカウキスキーで知られる余市町で育ちました。もともと算数が大好きだった彼女は、1924年に小樽高等女学校に入学すると数学への思いはさらに大きくなります。その女学校に勤務していたのが芳枝の姉、静枝でした。芳枝は教鞭を振るう姉の姿に自分も姉のように好きな道に進む女性になりたいと願ったといいます。1929年、18歳の芳枝は両親のもとで家事手伝いを始めます。しかし、芳枝は数学者になる夢を諦められませんでした。そんな妹の姿を見抜いた姉、静枝は芳枝に大学の聴講生になることを勧めます。1931年に東京物理学校、現在の東京理科大学の聴講生となります。そこには姉のみならず、小学校校長だった父の芳枝の夢への理解と応援がありました。ちょうどこの頃、北海道大学に理学部が創設されました。22歳の芳枝は北大への入学を夢見ます。ところが、受験資格である高等女学校の教員資格取得の受験に不合格、北大へは行けなくなりました。姉、静枝が北大数学教室の勤め口を探してくれたことで事務補助員となりました。2年間、雑用の仕事をした後、今度は東京女子大学数学専攻部に入学。在学中に教員検定試験に合格、北大入学を果たします。29歳になっていた芳枝は10代の学生の中で数学を学び続け、優秀な成績で卒業。同時に北大理学部数学科幾何学教室の助手に採用されました。

敗戦直後の混乱の中、芳枝は学位取得の目標に向かって突き進んでいきます。かくして1950年、冒頭の論文“On the operations of extensors referred to a nonholonomic system in a space of higher order”を発表、芳枝に我が国初の数学での理学博士の学位が授与されたのです。芳枝、39歳のときでした。夫と3人の子供に先立たれていた芳枝の母は、娘の学位取得のニュースに

涙を流し喜んだといいます。

この年、1950年に芳枝は北大の助教授に任命されます。いよいよ夢にまで見た数学者としてのスタートを切ることにになりました。ところが、職場である北大の数学教室は、教授が一人しかいないという状況に陥っていました。芳枝は研究と同時に学生の育成にも力を注ぎました。一人でいくつもの講座を担当し学生たちに情熱あふれる指導を続けていったのです。研究者・教育者の道を目指す教え子が大勢巣立っていきました。芳枝の努力のおかげで数学教室には活気が戻り始め、世界中の数学者を集めた研究集会を開催するまでになりました。

論文の数は1950年1本、1951年8本、1952年4本、1953年2本、1954年2本、1955年1本、助教授になって6年間で18本を仕上げました。これらの業績が評価されついに1956年、芳枝はローマ大学国立数学研究所に招聘されました。そしてその半年後にスイス連邦工科大学に行くことになり、そこで数学者ホップ（Heinz Hopf, 1894-1971）に出会い共同研究を始めます。ホップ代数、ホップ多様体、ポアンカレ-ホップの定理、ホップ不変量などで知られる微分幾何学の大家です。

二人の共同研究は最先端の研究でした。1957～1958年にかけて1年間に渡り繰り広げられた巨匠との議論は「リーマン空間における閉超曲面の或る合同定理」に結実したのです。次は二人によって得られた結果の一つです。

定理 2.1. S, \bar{S} は 3 回 differentiable な orientable closed hypersurface, 曲面上のすべての点において $n_1, \bar{n}_1 \neq 0$ とする,
 $\bar{H} = \bar{H} \Rightarrow S \equiv \bar{S} \pmod{G}$.

閉曲面の大域的性質に関するHopfの拡張問題とRiemann空間の或る合同定理（『数学』1960年）

この結果は1958年エディンバラで開催された国際数学者会議で発表されました。数学者になりたいという芳枝の夢が大きく花開いた瞬間でした。このときのことを芳枝は次のように語っています。

「そのときの喜び、感激は言葉では言い表せません。それまでの先生との血のにじむような討論の毎日、純粋に学問一筋に研究のみに没頭した生活の充実感、それらは苦しいが素晴らしいものでした」

数学の魅力、それこそが立ちだかった幾多の障害・困難のすべてを芳枝に乗り越えさせたのです。

Rimse (リムセ)

No.23

編集・発行 (財)理数教育研究所

大阪オフィス

〒543-0052 大阪市天王寺区大道4丁目3番23号
 TEL.06-6775-6538 / FAX.06-6775-6515

東京オフィス

〒113-0023 東京都文京区向丘2丁目3番10号
 TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail : info@rimse.or.jp

http : //www.rimse.or.jp

※本冊子は、上記ホームページでもご覧いただけます。

印刷所：岩岡印刷株式会社

デザイン：株式会社 アートグローブ

本文イラスト：株式会社 アートグローブ

表紙写真：アフロ