日本の理数教育をサポートする

# Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.45
February
2026

## 特集　就学前の理数教育 Ⅱ

塩野直道記念　第 13 回「算数・数学の自由研究」作品コンクール　受賞作品の発表


Rimse（公財）理数教育研究所

# Contents


表紙裏 **巻頭言**
快刀乱麻を断つ
東北大学 名誉教授　村上 斉

**特 集**　就学前の理数教育 Ⅱ

2 Ⅰ 幼児期における遊びは人生に何をもたらすか
～小学校の校長と幼稚園の園長を経験して～
元公立小学校校長･元私立幼稚園園長　小野 清司

6 Ⅱ 幼児期に育てたい健康な心と体
～幼児期の運動遊びを小学校教育へつなぐ～
公益社団法人 全国幼児教育研究協会 理事長　福井 直美

9 Ⅲ 幼児期の協同性と数理的思考の芽生え
～リレーの取り組みを通して～
日本女子大学 家政学部 児童学科 特任教授　粂原 淳子

**特別寄稿**

12 ① 塩野直道と『緑表紙』の現代的な意義
東邦大学 理学部 教授　塩野 直之

14 **塩野直道記念**
第13回「算数・数学の自由研究」作品コンクール
受賞作品の発表
15 受賞者一覧
20 作品の審査を終えて －中央審査委員からのメッセージ－
22 表彰の集い
23 最優秀賞・優秀賞・特別賞 ―受賞作品の紹介と講評―

33 **連 載**　やさしい電気化学 ～化学変化で起こす電気，
電気で起こす化学変化～ 第９回
電解質に求められる性能　―水系電解質
東京学芸大学 名誉教授／国際基督教大学 客員教授　鎌田 正裕

36 **連 載**　確率の現代的活用 第 10 回
確率を樹形図で表現する
東京大学 名誉教授／（株）ベイズ総合研究所 代表取締役　松原 望

39 **連 載**　物理用語の成り立ち ～万物の根源を求めて～ 第 10 回
陽子（プロトン proton）
元徳島県公立高等学校 教諭　西條 敏美

**特別寄稿**

42 ② 探究学習における「問い」の役割と構造
～世界が目指す“問いを起点とした学び”への転換～
立正大学 データサイエンス学部 教授　渡辺 美智子

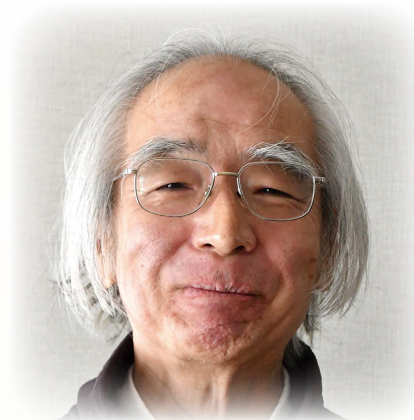
46 **教育に新しい風を**
NIE とメディアリテラシー
神戸親和大学 教授　竹内 弘明

48 **広 場**　地域教育で活躍する人々 第 44 回
算数を愉しむ場を創る：熊本県「わくわく！ 算数ラボ」
熊本大学大学院 教育学研究科 准教授　吉井 貴寿

裏表紙 **数学と言葉** 第 13 回
数学用語その 8
P ならば q
なぜ p は十分条件，q は必要条件なのか
サイエンスナビゲーター®　桜井 進


# 巻頭言

*Kantougen*

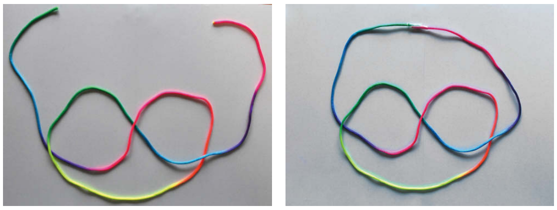



東北大学 名誉教授
**村上 斉** / むらかみ　ひとし

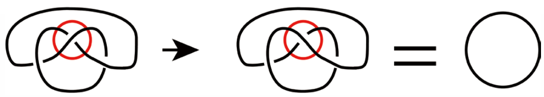

1958 年兵庫県明石市生まれ。
京都大学理学部卒業。大阪市立大学（現 大阪公立大学）大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。
大阪市立大学助手，同助教授，早稲田大学助教授，東京工業大学（現 東京科学大学）助教授，准教授を経て，2013 年から 2024 年まで東北大学大学院情報科学研究科教授。専門は低次元位相幾何学，特に結び目理論。
著書に『結び目のはなし』（日本評論社），『結び目理論入門（上）』（岩波書店），『Volume Conjecture for Knots』（Springer, 共著）などがある。30 年以上にわたり啓林館小学校算数教科書に関わる。
推しはレッサーパンダ。ものがつかめる，二足歩行できる，好奇心旺盛など，将来が楽しみ !?

# 快刀乱麻を断つ

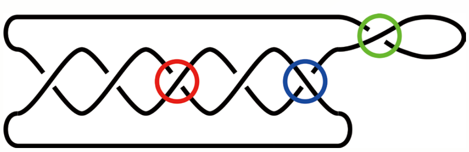
数学で言う「結び目」は空間内のもつれた輪のことです。



これは，紐に結び目を作って両端を貼り合わせたものと考えられます。紐を切らない限りもつれた輪がほどけないことは経験上明らかだと思います。結び目を机の上に置くといくつかの交差ができます。この交差を入れ替えることを「交差交換」と呼びましょう。このとき一瞬紐を切る必要がありますが，切った後はすぐにつなぎなおすことにします。



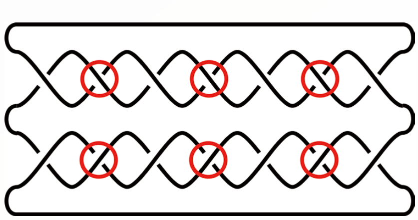
上の図のように三つ葉結び目(一回ひねりの玉結び) は一回の交差交換でほどくことができます。同じ三つ葉結び目でも次のような置き方をするとどうなるでしょう？



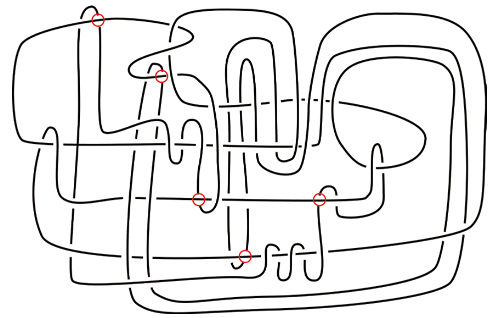
赤い丸で囲った部分で交差交換をするとほどけますが，青の部分だとより複雑になります(二回ひねりの玉結び)。また，緑の部分で交差交換をしても結び目自体は変わりません。(机の上から離して空間内で同じ形になる結び目は同じだとみなします。)

ほどくために必要な交差交換の最少回数を，「結び目解消数」と呼びます。ただし，机への置き方をすべて考えた上での最少です。このような最少を考えることで，(平面の図ではなく) 空間内の結び目の性質を考えることになります。結び目解消数を決定する問題は，結び目理論の発展度合いを測る試金石の役割を果たしています。

では，次の図を見てください。



これは３回ひねりの玉結びを２度，ひねる方向を逆にして作った結び目です。赤い部分で示した６回の交差交換でほどけることがわかります。この図を見ているだけでは６回未満ではほどけそうもありません。



上の図は，一見するとそれこそ「乱麻」にしか見えませんがさっきの結び目と同じものです(皆さんも確かめてみてください)。5か所の赤い丸で交差交換をすればほどけることが実際にやってみるとわかります！ 僕は 12mのひもで試しました。本当にほどけると快感です。

この大発見は昨年なされたもので，M. Brittenham氏とS. Hermiller氏の共同研究によります。また，上の図はC. Wang, Y. Zhang両氏の論文を参考にしました。さて，この発見は数学者でなくてもできたはずです。上のような紐の置き方をして5回の交差交換でほどけることを実演すればいいだけですから。もし，小学生が紐で遊んでいるうちに見つけた，などということであればなんと痛快なことだったでしょう。なお，上記のことから結び目解消数が 5 だと結論付けてはいけません。5 以下であることがわかっただけで，2, 3, 4 である可能性も残っています(1 でないことは知られています)。誰か 5 より小さい回数でほどく方法を見つけてみませんか？

数学の研究は特別な実験器具などを必要としません(コンピュータはあったほうがいいですが)。つまり専門家でなくても手を出せる余地があるのです。もちろん現代数学は高度に抽象化された部分が多く専門家の手助けが必要でしょう。それでも興味と意欲さえあれば理解できるよう，問題をわかりやすく説明することが大発見につながる可能性はあります。できるだけ日常語を使って数学を広める工夫をしていきたいものです。

そういう意味でも「算数・数学の自由研究」のような取り組みは重要なことだと思います。

# Ⅰ　幼児期における遊びは人生に何をもたらすか

## ～小学校の校長と幼稚園の園長を経験して～

元 公立小学校校長・元 私立幼稚園園長

**小野 清司**　／　おの きよじ

1952 年生まれ。立命館大学産業社会学部卒業，佛教大学通信教育課程修了。大津市公立小学校教諭，大津市教育委員会体育課，学校保健課指導主事，滋賀県教育委員会保健体育課指導主事，大津市教育委員会学校保健体育課課長補佐を経て，教頭，校長。退職後は学校法人純美禮学園，滋賀短期大学付属幼稚園園長を 11 年間務める。この期間，滋賀県私立幼稚園協会会長を務める。現在は全国小学校体育研究連盟副会長，大津市スポーツ協会会長の職にある。

## 1　はじめに　「今はたっぷり遊んでおこう」

小学校に勤務していたころ，山形市の公立小学校のＴ・Ｓ校長先生がある教育月刊誌に「若い教師を育てる」ことの理念や技術について述べておられ，氏の考え方に大変共鳴していた私は随分と参考にさせていただいた。そのＴ・Ｓ校長先生が私と同じように私立幼稚園園長として，再び，上記教育誌の「幼児教育と学校」の中でこのように述べられた。

「**もし，小学校までにつけておいたほうがいい力があるとすれば，どんな力ですか？**」の問いに「やっぱり，仲間と遊ぶ力。友達との集団生活を楽しいと思える気持ちを育てる」「大切なことは遊びの中に詰まっている」「体を通して遊ぶことで，心がほぐれていって，満足感も違う」「**今はたっぷり遊んでおこう**」でした。これまた，共感です。

幼稚園教育の基本は，幼児期の特性を踏まえ，「環境を通して行う」ことを基本とする。このため教師は「幼児の自発的活動としての遊びは，心身の調和のとれた発達の基礎を培う重要な学習であることを考慮して，遊びを通しての指導を中心とする」とある。（幼稚園教育要領　第１章　第１節　幼稚園教育の基本）より

「遊び」は，幼児にとって重要な「学習」である。

## 2　「6つになった」～発達の道筋～

1つのときは　なにもかも　はじめてだった。
2つのときは　ぼくはまるっきり　しんまいだった。
3つのとき　　ぼくはやっとぼくになった。
4つのとき　　ぼくはおおきくなりたかった。
5つのとき　　なにからなにまでおもしろかった。
今は6つで　　ぼくはありったけおりこうです。
だから　いつまでも6つでいたいと　ぼくはおもいます。

（AA　ミルン　訳　周郷　博）

入園説明会では保護者の皆様へ，幼小の連携についての研修会では教師によく話をした詩である。

２歳頃になると，自我も芽生え始め他の子供に関心をもつようになるとされる。他の子供は「心ひかれる不思議な存在」という。他の子供が近くにいても互いに関わらず一人で遊ぶ「平行遊び」の姿だ。しかしながら，自分以外の人に対しては一緒に遊んではいないものの，十分に刺激があり，いつか一緒に遊びたいという気持ちが生まれてくるようだ。

自我が芽生え，友達への関心がより強くなる３歳児の姿を「ぼくになった」とし，人とつながる喜びや共にいることの楽しさなどの共同性の芽が生まれてくる。

目の前の世界が急にひろがりだした４歳児を「おおきくなりたかった」と，自分の世界を相手と共有したいと思い，相手に賛同したり折り合っていくことを学ぶ。

園生活を自分のものにし始めた５歳児を「なにからなにまでおもしろかった」と。「自分の役目や役割を考え，新しいアイデアや遊びのルールを生み出しながら，共同して遊びや作業を進めていくことができるようになる。

この**共同して遊ぶ**ということがとても大事なことで，この経験が小学校での**【共同して学ぶ】**ことに繋がる。

そして仕上げの６歳児は「おりこうで自信にみちて」いて，園生活で中心的な存在を十分に楽しんでいる。

私は園や学校を活性化させるためには，それぞれの最上級生に役割と責任と自主性をもたせ，賞賛と評価を適切に行い，自尊感情を高めることだと考える。このことで，園や学校が大変落ち着いていくと考えている。

「年長さんになりたい」という憧れの気持ちが大切だ。

「憧れ」という字の忄（りっしんべん）は心を表し，童はわらべを表す。すなわち，「憧れ」は「わらべのこころ」である。

また，「子供は子供の中で，もまれて子供になる」とも言える。


**図 1　遊びや生活を堪能する幼児**

## 3　夢の懸け橋は大丈夫ですか。

子供たちの甲斐性が育ち，群れて遊びながら力の貸し合いを体験から学び，リーダー性を十分に発揮している生活が小学校へうまくつながっているのだろうか？

教師側からすれば幼保と小学校が「子供の学びを連続して捉えること」ができているのだろうか？

私は小学校の校長時，自らが幼保の運動遊びの講師に数多く携わり，日常の保育をも目にする機会にも恵まれ，小学校低学年の教科体育が幼児期の運動遊びから連続した発展であるという確信から，新 1 年生の担任を集めて「年長のときに友達と力を合わせて立派な甲斐性をもっている」「年少の憧れであった」「ゼロからのスタートではない」「赤ちゃん扱いをしないこと」と話をして小学校教師側の意識の変化を促してきた。

具体的には，①さまざまな工夫を凝らして，早く教科的学習へ②なめらかな接続と緩やかな段差を考えての当初のカリキュラムが大切③そのためには「足でかせぐ幼小連携」と称して（何度も幼保へ足を運び，幼小の垣根を低くしながら），幼稚園で付けた力，大切にしてきたことの理解をする。

③「小学校の強みを生かす」と称して，当時，県教育委員会より言語力向上の指定を受け，「言葉のキャッチボールによる学び合い」を進めていることもあり，一日入学はその成果を試す（1 年生の活躍を想定して）絶好の機会と捉える。幼保小連携は小学校側にも大きなメリットがある。

③小学校教師が入り込み保育をすることを促してきた。幼稚園で行う太鼓の指導に 1 年生担当教諭が何回が入る。

（幼児の育ちの道筋が理解できた）（幼児期の子供の伸びに驚く）との感想があった。

次に円滑な接続を図るための根拠について記す。

「幼稚園教育要領」第1章　第3節「教育課程の役割と編成等」の5の（2）小学校教育との接続

幼稚園教育において育まれた資質・能力を踏まえ，小学校教育が円滑に行われるよう，小学校の教師との意見交換や合同の研究の機会などを設け，「幼児期の終わりまでに育ってほしい姿」を共有するなど連携を図り，幼稚園教育と小学校教育との円滑な接続を図るよう努めるものとする。

小学校学習指導要領　第1章　総則　第2　教育課程の編成の4　学校段階等間の接続の（1）幼児期の教育との接続及び低学年における教育全体の充実

幼児期の終わりまでに育ってほしい姿を踏まえた指導を工夫することにより幼稚園教育要領等に基づく幼児期の教育を通して育まれた資質・能力を踏まえて教育活動を実施し，児童が主体的に自己を発揮しながら学びに向かうことが可能となるようにすること。

また，低学年における教育全体において，例えば生活科において育成する自立し生活を豊かにしていくための資質・能力が，他教科等の学習においても生かされるようにするなど，教科等間の関連を積極的に図り，幼児期の教育及び中学年以降の教育との円滑な接続が図られるよう工夫すること。特に小学校当初においては，幼児期において自発的な活動としての遊びを通して生まれてきたことが，各教科等における学習に円滑に接続されるよう生活科を中心に，合科的・関連的な指導や弾力的な時間割の設定など，指導の工夫や指導計画の作成を行うこと。（下線は筆者）

と，踏み込んだ記述である。

さて，この考え方が全国に行き渡っているのだろうか。令和 4 ～ 6 年度にかけて，架け橋時期として義務教育開始前

後の5歳児から小学校1年生の2年間にふさわしい主体的，対話的で深い学びの実現を図るために，文部科学省は「幼保小の架け橋プログラムに関する調査研究事業」で，カリキュラム開発や実施に取り組む全国19自治体を採択した。

採択自治体の成果や課題に学んでいかねばならない。

最後に「学びに向かう力に関わる幼小接続～幼小の教員同士の理解を深める視点～」として私なりにまとめる。

【視点1】

幼稚園・小学校教育の違いを知る

- 互いの教育の良さを知る
- 互いの文化の良さを知る
- 受け入れの小学校がよく学ぶべし
- 互いの教育の特徴（違い）を知る

幼稚園・小学校教育の特徴（違い）

| | 幼稚園 | 小学校 |
|---|---|---|
| **教育のねらい目標** | **方向目標**<br>（「～味わう」「感じる」等の方向付けを重視） | **到達目標**<br>（「～できるようにする」といった目標への到達度を重視） |
| **教育課程** | **経験カリキュラム**<br>（一人一人の生活や経験を重視） | **教科カリキュラム**<br>（学問の体系を重視） |
| **教育の方法等** | **個人，友達，小集団**<br>「遊び」を通じて総合的な指導<br>教師が環境を通じて幼児の活動を方向付ける | **学級・学年**<br>教科等の目標・内容に沿って選択された教材によって教育が展開 |

【視点2】

発達の道筋を知る

- 憧れの年長―年長さんの甲斐性をさらに育てる
  →小学1年生でも活躍

【視点3】

幼児教育と学校教育との接続の根拠を明確にする

- 教育要領・学習指導要領を読み込む

【視点4】

組織で取り組む

- 校長先生の役割
- 教頭先生の役割
- 教務（主任）の役割
- 1（2）年生担任役割

小学校側の意識の変化

小学校の強みを生かす

幼稚園先生の学びを喚起

保護者・地域に好影響

【視点5】

学びにむかうスタートカリキュラムの作成

- 幼・保・小の共同作業
- 子供が「安心して生活」できる
- 子供の「学習意欲」を高める
- 子供の「学習集団」をつくる

## 4 言葉で子供を育てる

前回の小学校学習指導要領（平成20年）では「各教科等における言語活動の充実」が求められた。この背景には，PISAや全国学力・学習状況調査等の国内外の種々の学力調査において，「思考力・表現力・判断力」が求められる「論述」問題に対して日本の子供の成績が好ましくないという結果を受けたものである。

筆者は当時校長職にあり，「言葉で子供を育てる～言語力向上から学力向上へ～」をテーマとして組織的に取り組んだ。「言葉で子供を育てる」ということを3つのステージで考え実践してきた。

第1のステージは，授業の場面である。教師として最も大事にしたいもので，子供の学び合いから，子供の言葉で，子供の発見で，子供同士の話し合いから「わかった」「一人で学習するより仲間でしたほうがわかりやすい」「みんなで勉強したら楽しい」という授業を一つでも多く実践したいものである。

教師の深い教材研究がないと，このような場面はなかなか構築できないのも事実である。

第2のステージは，学校生活全般の中でよい活動や係活動，縦割り活動，児童会活動等において子供がやり切ったことを認め，賞賛して自信や自己肯定感をもたせることである。そして，そのことを記録，まとめ，発表，論述，討論等の言語活動化をさせる場面を多くつくることである。

メールやスマホでは海外の人とまで交流できるのに，すぐ隣の人には話しかけない。疑問や質問をインターネットで調べても人には問いかけない。問いかけないから人と話すことが出来ない。話さないから話すときの礼儀や常識がわからない。このような傾向は加速こそすれど後戻りはしない。

豊かな言葉で人と人とのコミュニケーションが図れるような基盤の力を小学校期で身に付けさせたい。

第3のステージは，子供たちの生涯に渡ってのものである。言葉は生きる力そのものである。言葉が荒れてくれば生活や人生が荒れてくる。反面，人間の交わりが豊かになれば言葉も自然と豊かになる。言葉を大切に，上手に使える人間になりたいものである。

その力を育成するためのポイントは，子供が「話したくなるような豊かな経験や感動体験の場」と自分の思いを受けとめてくれて，言葉を交わし合える環境（保護者・教師等の大人）が不可欠だ。子供の話をじっくり聴くことが大切になる。ちなみに「聴く」という字は長い耳に十四もの心と書くことからも忍耐が必要だ。

このことは，幼・保においても全く同じことが言える。

現行の小学校学習指導要領（平成 29 年）では「社会に開かれた教育課程」「主体的・対話的で深い学びに向けた授業改善（アクティブ・ラーニングの視点に立った授業改善等)」が重視されているが，すべての学習基盤である言語能力を向上させることは必要不可欠である。

## 5 まとめにかえて

筆者は永く健康教育の充実を学校・園活動の根幹に置き実践してきた。令和 2 年からのコロナ禍においてはさまざまな発達の遅れを危惧している。

例えばマスクである。感染症対策には大きな効果があったことは事実であるが，マスクの常時着用に2つのことが言われた。一つは，2歳前後の子供の言葉の獲得についてである。この時期の子供たちは大人の目より口の動きに注目し，表情を見て言葉を獲得していく。言葉の獲得が一般的に遅いようだ。

もう一つは「人見知りしない子が増えてきた」ということである。子供の発達段階において，人見知りは正常な発達であるが，知っている人とそうでない人との区別がつきにくくなっているようだ。その結果，あまり警戒せずに近寄ってくることになる。

丸 3 年以上のマスク生活等から見失っているものが多々あるように思う。外出や運動機会の減少から体力の低下や肥満の増加，ネットいじめ，不登校，自殺の増加等の報道がある。コロナ渦で子供の成長・発達において大事なことが抜けてしまっているので，一つずつ取り戻していくことが必要だ。

令和 5 年 11 月の後半に大阪で開催された「子供みらいフォーラムおおさか」に参加し，京都大学元総長でゴリラ研究者の山際寿一氏のご講演を拝聴した。彼は，「スマホを捨てたい子供たち」の中でこのように述べている。

「対面コミュニケーションの大切さを説いてきた・スマホを使って頭だけで友達とつながるのではなく，面と向かって声で話し相手の表情や態度をきちんと付き合うことが必要だ。人間の五感は人とあって身体で共感しあうためにつくられていくのである。その最も原始的な行為が食事だ。時間をかけて人々と食卓を囲み，対面しながらさまざまな話題を交換する。視覚，聴覚，臭覚，味覚，触覚，を皆で共有して楽しい時間を過ごすごとは，信頼という財産をつくることに他ならないのである」述べている。

さらにコロナ後は，人間は五感を通じた交流と対話を心掛け，人間らしさを取り戻してほしい」と語られた。

子供のときの遊び，絵本，体験，見た景色，愛された経験，やさしい言葉等のすべてが原体験となる。「子供時代は大人を生きるための大切な時間」とも言える。

筆者は幼稚園園長時代に見てきた「ど真剣に遊びに夢中になって，オトモダチと群れながら話し合いや交流を通し楽し気になっている子供の姿こそが，主体的で対話的で深い学びの源流だと思っている。

そしてさまざまな体験を通して，「**好きで好きでたまらないもの**」**を見つけ**，有意義な人生を送られようこれからも子供たちの応援者でありたい。 ❖

**参考文献**
- 幼稚園教育要領
- 小学校学習指導要領
- 教育ジャーナル　2023 年 21 号
- 『スマホを捨てたいこどもたち』山極 寿一（ポプラ新書）

# Ⅱ 幼児期に育てたい健康な心と体

## ～幼児期の運動遊びを小学校教育へつなぐ～

公益社団法人 全国幼児教育研究協会　理事長
福井 直美 ／ ふくい なおみ

日本体育大学女子短期大学保育科を卒業後，東京都公立幼稚園教諭として採用され，担任・管理職を務めた。退職後，明治学院大学特命教授５年，日本体育大学非常勤講師５年，現在は十文字学園女子大学にて非常勤講師をしている。また，公益社団法人日本学校体育研究連合会参与として幼児教育に携わっている。

### 1 はじめに

私は長年保育現場で子供と共に過ごす中で，修了式の近い園内に子供たちの活気のある声が響きわたっているようすや声を聴くと，心が満たされた。３年間友達と遊びや直接体験を通して心も体も健やかに育ち，小学校に送り出すことができる安堵感とともに，ここまで育つ過程を振り返り，思い出がよみがえってくる。ストーリーを作る遊びで自分の意見が友達に伝わらず悔しい思いをしても，次には立ち直りまた遊び始める姿，何度頑張っても縄跳びが跳べず，繰り返しチャレンジしてできるようになったときの笑顔など，その子がさまざまな体験をして育ったことが嬉しくもあり，自分の保育や園経営を見直すときでもあった。

本協会では今，一人一人にレジリエンスを育むことをテーマに研究や研修に取り組んでいる。困難な場面でも倒れず，倒れても立ち上がり，しなやかな心で向かっていくことのできる子供を育てることがレジリエンスを育むことではないか。そのような育ちが小学校以降の学習や生活に繋がり，さらにはその子の人生を豊かなものにしていくと考える。

### 2 今，子供の体が危ない!

幼児教育は小学校教育のように教科ではなく総合的な教育であり遊びの中にさまざまな学びがある。その中で今回は「運動遊び」を通してテーマに迫っていきたい。

国立青少年教育振興機構の調査結果に外遊びはチャレンジする意欲や規範意識を育むことが報告されているように，運動遊びのような外遊びで思い切り体を動かして友達と遊ぶことは仲間との接し方や社会のルールが身に付くとともに体力向上につながると報告されている。しかしICTの普及や地球の温暖化・コロナなどの感染症の広がりで，今，子供たちは直接体験がしにくくなり体を動かす機会が減少している。自然の中で伸び伸びと遊ぶことにより身体の諸機能は発達していくのに，その機会が奪われることは幼児期の子供たちの心と体の健康に大きな影響を与えている。今，子供たちの体は危ない！と言っても過言ではない。そこで子供たちが長い時間生活をしている幼児教育施設で今以上に運動遊びの環境を整え，楽しく取り組む活動の充実が望まれていると考える。

### 3 自ら心と体を動かして楽しむ

江戸川区立船堀幼稚園で園長をしていた頃，体力がなくすぐに疲れたり，ケガをしたりすることが気になっていたが，東京都でも体力や運動能力の低下は大きな課題の一つにあげられていた。幼児期運動指針（文部科学省）が制定され，幼児期の遊びを中心とした運動が，運動能力の発達及びさまざまな活動への意欲や社会性，創造性を育むことに大きな役割を果たすことが明記されたこともあり，園で「健康な心と体を育てる運動遊び～運動遊びの環境と指導の工夫～」をテーマに研究に取り組んだ。その中で，幼児が自ら体を動かしてみたくなるような体験のできる環境と指導の工夫をすることにより，遊びを通して体を動かすことを楽しむことから運動量が増加するとともに体力が向上することがわかった。繰り返し楽しめる環境を工夫し，年間何度かチャレンジする遊びの場をつくることで，幼児が自分の成長を実感するとともに次への挑戦意欲がわき，結果として体力の向上につながった。また，体を動かす機

会の少ない幼児が遊びへ取り組むことで身のこなしが機敏になりケガも減った。この他にも多様な体験の機会を保障するには園内だけではなく地域の環境を活用することが必要と考え，幼児の興味や体験の場を広げることにも積極的に取り組んだ（図1）。

図１　ブランコをロープに変える・地域環境の中で忍者の修行をする

また，運動遊びの中には多くの学びがあり，特に勝敗にかかわる数や量があると遊びがさらに楽しくなるということで，勝敗がわかりやすくなるように環境や並べ方の工夫，教材開発をした。5 や 10 ずつの山にして並べる，戦利品を数えるなどしながら勝敗を意識するなかで，数量・図形に触れ，感覚が磨かれていく（図 2）。


図２　チームの勝敗をわかりやすく

この研究を通して，やらせるのではなく，幼児のやってみたいという心を動かし，楽しく運動につながる遊びを積み重ねることが大切であることを実感した。その成果として次年度の体力測定の結果も上がったことは嬉しいことである。

## 4 靴を正しく履くこと

私は現在，体を動かして遊ぶ基本として「足育」の重要性に着目して活動をしている。心も体も元気になるためには，足自体が健康であることが重要である。最近の幼児は土踏まずがない，浮指である，外反母趾の疑いがある，豆などのトラブルがあると公益財団法人日本学校体育研究連合会の足育推進委員会で報告されている。たくさん運動しても疲れず，敏捷・機敏に動くためには足育を通して健康な足裏を育てることが大切である。

そのために，

①足に合った靴を履く

②靴を正しく履く

③体を動かして遊ぶ

ことを推奨している。

しかし靴を選ぶときにはキャラクターやデザインなど子供が欲しがる靴を選び，さらに，足はすぐ大きくなるから大きめを選ぶという傾向がある。靴選びは小学校以降でよいのではないかと思われがちであるが，「足育」のスタートは幼児期が一番適している。足育推進委員会足育推進事業特別顧問の吉村眞由美先生によると「足は人が立つ姿勢の土台であり，毎日の活動における移動をつかさどる重要な器官。人間は乳幼児・児童・生徒・学生と成長する中で，歩いたり走ったりする運動を積み重ねて体が発達する。」と述べている。特に脳神経系の発達が盛んな乳幼児期に足育を経験しておくと，楽に正しく靴を履く習慣ができるのである。

① 足に合った靴…足と靴のかかとを合わせ，前に 1cm 程度のゆとりがあると，靴の中で足指が動きやすくなる。足長と足幅を図り，子供にあった靴を選ぶこと（図 3）。

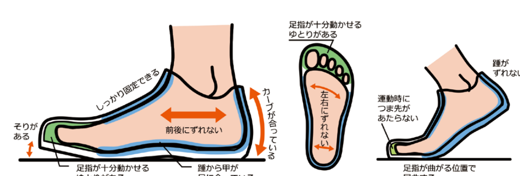



図３　足に合った靴の選び方

② 靴を正しく履く…かかとをトントンして，かかとを靴の後端に合わせ，足首をベルトでしっかり固定すること。足と靴がピッタリくっつき，心地よく動くことにつながり，楽しく運動遊びをすることが可能となる（図 4）。


図４　靴の正しい履き方

幼児期に「足育」を身に付けることは，しっかり動ける力強い足を作り，困難があってもくじけず諦めない粘り強く折れないたくましい心を育み，小学校以降も運動する楽しさを味わえる子供に育つことにつながる。幼保小の接続が求められている今，足育もその一つである。子供たちが乳幼児教育→小学校教育→中学校教育へと足育がつながる活動を通して，自己を発揮し自己実現しながら未来までウエルビーイングに生きていかれることを願っている。

## 5　小学校との接続を考える

幼児教育で育まれた資質・能力を学校教育につなげていく５歳から１年生終了までの２年間を架け橋期ととらえ，さまざまな連携がとられるようになってきた。運動遊びにおいても小学校の体育とのつながりを考えていく必要がある。

幼児期の運動遊びは，

○明るく伸び伸びと行動し，充実感を味わう。

○自分の体を十分に動かし，進んで運動しようとする。

○健康，安全な生活に必要な習慣や態度を身に付け，見通しをもって行動する。

小学１年生では，

○簡単なきまりや活動を工夫して各種の運動を楽しくできるようにするとともに，その基本的な動きを身に付け，体力を養う。

○だれとでも仲よくし，健康・安全に留意して意欲的に運動をする態度を育てる。

というねらいがそれぞれにある。

どちらにも共通していることは，技術を身に付けることより，自ら楽しく取り組み，体を動かすことの楽しさを味わうことであり，さらに自ら健康・安全に生活ができるようになることであろう。

日本学校体育研究連合会では保育者と小学校の先生が共に研修をする機会を作っている。その中で幼児期の運動遊びを小学校のスタート時期につなげるにはどのような活動がよいのか，つながりを意識して子供が夢中になる運動遊びを研修した。小学校での取り組み事例からどこを変えたら幼児教育施設で実践できるか，参加者が自園の幼児の実態をイメージしながら取り組むことができた。架け橋期には動物や忍者などイメージを伴うことで，動きがわかりやすくなり楽しんで取り組めるという共通の実態があり，絵本から導入する，ストーリー性をもたせて動くことなどがつながるとよいことがわかった。

また，幼児は１・２・３・４と数字を数えながら体操をすることは少ないが，８・８・４・４・２・２・１・１のリズムで手や肩を叩く，ケンケン，屈伸など動作を伴うリズムで動く歌遊びなどは，数字を言いながら動くことで自然に数字とリズムが結び付き，実践が可能になる。小学生が６人組で動く UFO 遊びなどは幼児だけでは円で移動することは難しいが，親子3組で体験した後には，幼児だけでも楽しめるなど考えながら実践できた。入学当初にこのような楽しく無意識のうちに踊ったり，数を数えたりする運動遊びがあると段差を感じずに学校生活になじめることを実感した。

6人組で円になり，リーダーが中央に立つ。リーダーが指を上にあげたら全員で回る。指さした方へ移動する。手を下ろしたら全員止まるなどグループで動く。

図５　UFO 遊び

## 6　おわりに

体を動かして遊ぶ楽しさを十分に味わった子供は，失敗しても諦めず，自分の力でチャレンジしていく。できたかできないかで評価するのではなくその子の頑張りを見て応援する大人や友達がいてこそ，次への意欲がわく。幼児期にレジリエンスを育み，育ちを小学校につないでいくことが未来につながる健康な心と体を育むことになると考え，今後も運動遊びの楽しさを追求していきたい。

**参考文献**
・幼稚園教育要領
・小学校学習指導要領
・国立青少年教育振興機構資料
・日本学校体育研究連合会 JASPE 足育指導資料
・江戸川区立船堀幼稚園研究資料

# Ⅲ 幼児期の協同性と数理的思考の芽生え

## ～リレーの取り組みを通して～

日本女子大学 家政学部 児童学科 特任教授
**粂原 淳子** / くめはら じゅんこ

東京学芸大学教育学部幼稚園教育教員養成課程を卒業後，1987 年より東京都公立幼稚園教諭，副園長，園長を務め，2022 年度より現職。専門領域は教職課程，人間関係，子供家庭支援等。公益社団法人 全国幼児教育研究協会専務理事，NPO 法人 JACOT 理事。

## 1 はじめに

幼児期の遊びの中には，数量や形，空間，規則性などを意識する機会が豊かに存在している。それは単に算数につながる知識にとどまらず，幼児の「協同性」の育ちにも深く関わっている。幼稚園教育要領では「協同性」について，「友達と関わる中で，互いの思いや考えなどを共有し，共通の目的の実現に向けて，考えたり，工夫したり，協力したりし，充実感をもってやり遂げるようになる」と示されている。

幼児は遊びの過程で問いをもち，友達と共に考え，思いの違いに気付きながら折り合いをつけていく。その過程の中で，数量や関係性に目を向け，状況を判断しようとする“数理的思考の芽生え”が生きた感覚として育まれていく。

本稿では，5 歳児クラスで展開されたリレーの事例をもとに，幼児が遊びの楽しさを根底にしながら，仲間と協力して課題に向き合う過程で，どのように数理的なものの見方・考え方が現れるのかを紐解いてみる。幼児期に育みたい「協同性」の育ちと「数理的思考の芽生え」の関連性を考えるとともに，学びを支える保育者の役割についても考察したい。

## 2 リレーの事例から見える数理的思考の芽生え

**事例 1 「いつになったら勝負がつくの？」**

秋，年長児たちは，遊びの中で“エンドレスリレー”を楽しんでいる。バトンを渡しながら走ること自体が楽しいようで，勝敗の意識はあまりないようす。

ある日，保育者は学級全体でエンドレスリレーを行いながら，繰り返し走ることを楽しむ子供たちに，「このリレー，いつになったら勝負がつくの?」と問い掛けた。子供たちは「本当のリレーは，一番後ろの人が先にゴールしたほうが勝ちだよ」「アンカーっていうんだよ」など，昨年の年長児の姿を思い出しながら話す。保育者は「じゃあ，今日は本当のリレーをやってみよう」と投げ掛け，チームの人数が違うことには触れず，そのままリレーを行う。結果は赤チームが先にゴール。白チームはさらに 2 人走った。保育者が「赤チームの勝ち!」と言うと，白チームの子供たちは「何か変だよ!」「だって白チームの方がいっぱい走ってる!」「人数が違うんだよ, ずるい!」と強く主張した。保育者が「人数が違っていたらいけないの?」と問うと，「人数が多いといっぱい走らなくちゃいけないから負けちゃうよ」と言って，子供たちは人数を数え始めた。「白チームは 12 人」「赤チームは 10 人」と確認すると，「ほら, 人数が違う」「同じにしないと」と言う。

**○公平性への気付き…数量の比較・対比と論理性の芽生え**

「人数を同じにする」というルールは当たり前のこととして最初に提示しがちであるが，本事例はなぜ人数を同じにしなくてはならないのか，子供たち自身が「ルールの必要性に気付く」ことをねらいとして保育者が行った援助である。それまでは，一緒に走る相手との曖昧な勝敗意識であったり，中には途中で歩いたりする子もいた。保育者が「いつになったら勝負がつくの？」と問い掛けたことにより，子供たちの

思いは“走る楽しさ”から“競う意識”へと移っていく。“本当のリレー”に取り組む中で，「人数が違うと不公平」という判断を導き出し，「勝敗を決めるには条件を揃えなければならない」という公平性への気付きが見られる。子供たちが自らその必要性に気づき合意していく過程の中に，数唱するだけでなく対比させて論理的に考える思考の芽生えが見られる。「人数を同じにする」というルールの必要性を実感するとともに，「勝ちたい」というチームの共通の目的に向かって，競争意識も高まっていく。

**事例２　「Bちゃんが遅いから負けるんだ！」**

運動会に向かって，学級を４チームに分け，２チームずつでリレーをする。青チームは，どのチームと戦っても負けることが多い。C児は，「Bちゃんが遅いから，いつも負けるんだ！」と，悔しさのあまり強い言葉をぶつけてしまう。「でも，Bちゃんだって一生懸命走ってるよ」「Bちゃん，何回も走ると速くなるからね」「腕を早く振るんだよ」「私が挽回するよ」と励ます子もいる。

数日たったある日，C児はB児が走るのを見て，「Bちゃん，ちょっと早くなった…」とつぶやいた。保育者は，そのつぶやきを聴き取り，「ほんとうだね。よく気が付いたね」と声を掛けた。

**○走力（速さ）の量的変化への気付きと心情の育ち**

リレーには勝敗が伴い，悔しさや葛藤を生み出す。勝ちたいという思いから，思わず強い言葉をぶつけてしまったC児。周りの幼児の中にも，同じように思う子がいたかもしれない。B児への励ましや助言の言葉が自然に出てきたことで，保育者はC児への直接的な言葉を飲み込み，しばらくようすを見守る判断をした。

C児も感情的に発した自分の言葉に，後ろめたさを感じていたかもしれない。心情の揺れの中でB児を気に掛けていたからこそ，B児の走力（速さ）の量的変化に気付くとともに，否定から肯定へと受け止め方も変化していたのだろう。保育者も，C児に期待をもちながら見守っていたことでつぶやきを拾うことができ，C児の心情の揺れに共感的に寄り添うことができた。幼児の葛藤を，他者理解やよりよい方法を探っていく協同性へと，根気強く導き支えることが大切である。

**事例３　車いすのD児「私も１周走りたい」**

黄色チームには車いすのD児がいる。比較的走力の高い幼児が多いチームであるが，それでも1周以上の差がついてしまう。リレーの振り返りで，「車いすって早く走れるんじゃないの?」「Dちゃんが走る距離を短くしてあげて，残りは他の人が走ればいいんじゃないかな」「誰かが押して走る?」など意見が出る。

そのときE児が，「Dちゃんはどうしたい?」と声を掛けた。皆の視線がD児に集まる。D児は少し考えたあと，はっきりと「自分で走りたい。私もみんなと同じように1周走りたい」と答えた。子供たちは一瞬，戸惑いの表情を浮かべながらも改めて考え始めた。F児が「そうだ！みんなが走るコースの中に，Dちゃんの小さいコースを作るのはどう?」と提案した。保育者はホワイトボードに楕円を描き，「これは，みんなが今，走っているコースね。Fちゃん，Dちゃんのコースを描いてみて」とペンを渡す。F児が楕円の内側にコースを描き，「Dちゃんの１周はここ」と言う。皆が「いいね～！」と拍手で賛成し，D児も小さく笑いうなずいていた。

D児の１周は短くなったが，それでも差は開く。その差を縮めようと子供たちは皆一層力いっぱい走り，声援を送り合った。

**○多様性を受け止める中で生まれる数理的思考と新しいルールづくり―距離，速度，空間への気付きから**

リレーの振り返りで，子供たちはD児の状況を考慮しつつ，勝ちたいという思いの中でさまざまな方法を模索している。「距離を短くする」「誰かが押す」など距離や速度の視点から差を縮めるために5歳児なりの思考をめぐらせている。

ここで，E児の「Dちゃんはどうしたい？」という問いは協同性の育ちにおいて大きな意味をもつ。子供たちは，D児にとってよい方法を考えているつもりであったが，この問いによって初めてD児の思いを知る。そこから，話し合いの方向は「自分たちが勝つために，D児にどうしてあげたらよいか」から「どうすれば，D児もみんなも満足できるリレーになるか」へと転換していく。

F児の「内側に小さいコースをつくる」という発想は，距離の違いを空間的に捉え，コースを再構成するというものである。F児の考えが言葉だけでは伝わりにくいと感じた保育

者は，F 児の直感的な感覚を図で視覚化している。その援助により「内側の円は短い」という空間と距離の数理的な理解が子供たちに共有され，F 児の提案に納得して賛同することができた。

こうしたプロセスには「みんなと同じように私も 1 周走りたい」という D 児の願いを尊重しながら，皆が納得できる方法を考えるという協同性の育ちが見られる。

子供たちは，多様性を受け止める中で，他者の視点に立ち，その願いに耳を傾け，既存のルールを新しいルールに作り替えるという創造的なものに高めている。同じであることを求めるのではなく，多様な一人一人が共に参加できる方法を創り出す過程に，理数的思考も育まれていく。

**○車いすのD児の成長した姿から**

車いすのD児は，今，中学生になっている。幼稚園の運動会にボランティアとして訪れ，車いすで園児係を務めていた。その姿が嬉しく，私はD児に「リレーのこと覚えてる？」と声を掛けた。幼稚園で「私も 1 周走りたい」と思いをはっきり伝え，それが皆で考えるきっかけになったことを話すと，D児は，穏やかな笑み浮かべながら，ためらうことなく「教えてくださってありがとうございます。今でも，きっと 1 周走りたいって言うと思います」と答えた。そこには，今を生きる主体としてのD児がいた。幼児期の経験は記憶としてだけでなく，成長の過程の中に深く刻み込まれていくものなのだと改めて感じさせられた。現在，D児は車いすバスケットに打ち込んでいる。

## 3 保育者の役割

幼児の主体的な学びを支え，協同性と理数的思考を育む保育者の役割について，本事例の保育者の関わりから整理してみる。

**○子供の気付きを促すための問い掛けをする**

保育者は，子供の思考を深めるために意図的な問い掛けを行い，論理的に考えたり，自分の判断を言葉で説明したりする姿を引き出すようにする。

**○子供の思いを受け止め，見通しや期待をもって見守る**

遊びには衝突や葛藤が伴うが，それは大切な学びの機会である。保育者は子供の何気ない言葉や表情に心を寄せ，心情の揺れを丁寧に受け止めながら，自己肯定感や他者理解が育つよう見通しと期待をもって支える。

**○子供の関係性をつなぎ，協同性を支える**

日常的に安心して思いを語り合える学級の雰囲気をつくり，思いの違いや葛藤を，よりよい方法を共に探る協同的な学びへとつないでいく。

**○子供の発想を可視化し，理解の共有を図る**

子供の直感的な発想や考えを，図などを使って可視化することで，空間や距離といった数理的な見方・考え方を全体で共有できるようにする。

**○多様性を尊重し，皆が参加できる方法を共に創る**

一人一人の特性や願いを尊重し，インクルーシブな学びを支え，遊びを通して多様性を当たり前のこととして受容する文化をつくっていく。

**○数理的思考の芽生えを支える**

遊びや生活の中にある数量・図形・空間・規則性といった概念に子供自身が気付くことができるよう，環境や活動を工夫しながら，数理的思考の芽生えを育む。

## 4 終わりに —遊びや生活を豊かにする数理的思考—

数理的思考は，社会生活の中にある不均衡や違和感を，よりよく作り替えるために欠かせない資質・能力である。幼児期には，遊びの楽しさをもとに自分ごととして主体的に考える中で，数理的思考と協同性が相互に育まれていく。保育者は，子供が自ら問い，考え，仲間と学ぶプロセスを丁寧に支え，小学校以降の学びの基盤となる幼児期の教育を大切に実践していきたい。

特別寄稿
1

# 塩野直道と『緑表紙』の現代的な意義


東邦大学理学部 教授
**塩野 直之** ／ しおの なおゆき

1971年生まれ。東京大学大学院総合文化研究科博士課程満期退学。専門は現代英米哲学。共著・共訳書に『野矢哲学に挑む：批判と応答』『哲学がわかる　因果性』（ともに岩波書店）など。現職では，外国語を含むリベラルアーツ教育全般の運営を行っている。


算数教育にはまったくの門外漢ながら，このたび貴重な機会をいただき，思い切って寄稿することにした。祖父，塩野直道は明治31年に生まれ，昭和44年に亡くなった。昭和46年生まれの私にとっては，家族というより歴史上の人物である。しかし『緑表紙』[*1]とその関連文献のいくつかを読んでみると，不思議なほど共感することが多い。

## 1 『緑表紙』の特徴と二つの目標

『緑表紙』は，昭和10年の1年生向けからスタートし，昭和18年をもって5・6年生向けの使用が終了するまで用いられた，国定の小学校算数教科書である。可愛らしいイラストに満たされたこの教科書は多くの人に好まれ，世界的にも高い評価を受けた。『緑表紙』の特徴は，それに先立つ『黒表紙』[*2]が専ら実用的な計算練習に努めるものであったのに対し，「数理思想の開発」と「日常生活を数理的に正しく行う訓練をなす」という二つの目標を掲げたことにある。

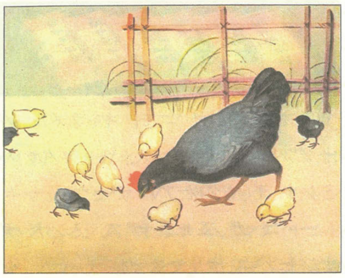


図1　2年上 p.22

第一の目標，「数理思想の開発」とはどういうことであろうか。私の見るところ，『緑表紙』の基本姿勢は「経験から抽象へ」である。子供たちはまず，身の周りの生活や自然環境の多様な現象に関心を持つように促される（図1）。つまり，身近なものごとへの純粋な好奇心が出発点であり，その意味で「実体験ファースト」である。体験の場面を切り取る絵の美しさが不可欠なことも，自ずと納得できるだろう。次いで，それを入り口として，現象に潜む数理的な規則性へと導かれる。経験に与えられる多様性の背後に抽象的な秩序を見出す，この能力がまさに「数理思想」だと考えてよいだろう。

高学年になり思考力が発達してくると，数理が実体験を離れてそれ自体の秩序を持つことも示唆される。例えば円周率は，まず実際に円形の物体の周を測り，次いで円に外接する正方形と内接する正六角形の辺の長さから推測する。そのうえで，数学の厳正な研究によりそれは無限に続く小数であることがわかっていると教えられる。このように数理思想は，経験に近い場所からスタートし，それを超えた抽象へ向かう方向性を持つのである。

第二の目標，「日常生活を数理的に正しく行う訓練」は，ひとことで言えば計算練習である。私が思うに直道はプラグマティストであった。革新性の陰に隠れがちだが，『緑表紙』には相当量の練習問題が含まれる。類似の文章題が数多く用意され，そのあとに筆算などの練習が続く構成である。十分な反復練習なくして算数が身につかないこと，そして計算能力が社会のニーズであることは，当然の前提だったはずである。

また，珠算を取り入れ，4つ珠算盤を採用したことでも『緑表紙』は知られている。ここには実用的なツールの使用に積極的な姿勢が見られると同時に，最もシンプルで無駄のない4つ珠の採用に科学者としてのこだわりも感じられる。加えて邪推かもしれないが，直道の出身地の出雲地方は江戸時代から算盤の名産地だったから，珠算に格別の関心があったとしても不思議はない。

『緑表紙』は以上の二つの目標を柱とするが，そのユニークさはもちろん，第一の目標にあった。私たちの生活環境は，知的な興味を向けることのできる社会現象や自然現象で満ち溢れている。だがそれらはいずれも多様で複雑なものであり，

それをどうすれば算数的に扱えるかは，あらかじめ与えられているわけではない。むしろその扱い方を自ら考え，多様性の中に秩序を見出す能力が「数理思想」である。

『緑表紙』には随所に，単にその時点での学習内容を運用するのではなく，その先を考えさせる試みが見られる。6年生用の応用問題を集めた「色々ナ問題」では，「伸び続ける木」という例をもとに，無限等比級数の総和を通じて極限の概念にふれるようになっている。実は1年生向けの下巻，足し算と引き算を習っている途上で，早くも次の問題が現れて驚かされる（図2）。子供たちは当然，どう答えたらよいか困るはずだが，きっとそこに何か数の問題があることを感じ取り，それをいつか扱えるようになると期待するだろう。そのような感受性と創造性が数理思想を支えるのである。

オカアサン　ガ，
「フタリ　デ　タベ　ナサイ。」
ト　イッテ，大キナ　マンヂュウ　ヲ
クダサイマシタ。
マンヂュウ　ハ，一ツ　シカ　アリマセン。ドウ　シマス　カ。

図2　1年下 p.14

## 2 ユニークさの源と現代的な意義

それにしても，このユニークな教科書が創作される源には，何があったのだろうか。直道に帰される私の好きな言葉に，次のものがある。「人類の進展して行く彼方における人間の生活は芸術と学問と遊びとであると考える。すなわち美を感じて快を感じ，真理を把握して喜びを感じ，人間相互間の交渉による遊びによって（勿論そこには自然を取り入れることもあろう）楽しんで生きる。これを人間の理想の境地と考える。」これはきっと，直道のゆるぎない人生観であっただろう。学問を通じての真理の把握に，美と遊びが不可分の要素として結びつくという全体像は，1年生の冒頭に置かれた球入れの美しい絵からも明瞭に察せられる（図3）。そしてこの価値観を原点に置けば，そこから『緑表紙』の世界が生み出されることは必然の流れだったに違いない。

しかし，このことは一つの問題を投げかけるようにも思われる。人生観や価値観は，どれだけ高尚であっても「万人向け」のものとはなりえない。『緑表紙』の理想に心から共感する者もいれば，そうでない者もいて当然である。実際，この教科書で学び，家庭で直に手ほどきを受けたはずの長女玲子，そして私の父である三男宏も，数理の道に進むには至らなかった。そして不運なことに，理想とは真逆の戦争という現実に直面して『緑表紙』は短い命を閉じた。だが仮に戦争がなかったとしても，全国民に提供される国定教科書として，これが正解だったかどうかはわからない。

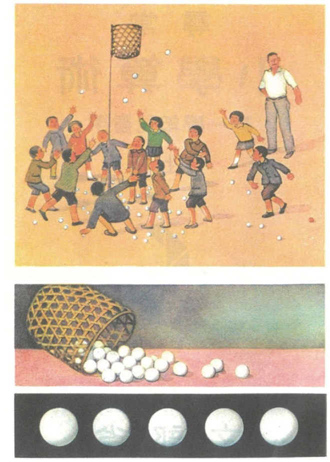


図3 1年上 p.2

幸いいま，私たちは差し迫った戦争の危機に瀕してはいない。しかし，多くの未知の困難が待ち受けていることは確実である。その一つはAIの急激な発達である。電卓やパソコンは，かつての算盤と同様，実生活に資する有用なツールだと言ってよい。だがAIをこれと同列に論じられるかは別問題である。AIはさまざまな能力において人間を凌ぎ，人間と対等以上の存在になりつつある。遠からず，独自の目標を持ち，自らの意志で行動するに至るだろう。これは人間の存在価値を根底から揺るがす事態である。私たちが人間らしく生きるとはどのようなことか，私たちはどのような価値観を重んじ，子供たちにどのような教育をすればよいか，前例のない課題を突き付けられている。「芸術と学問と遊び」という人間生活の理想と，そこから生み出された『緑表紙』は，一つのヒントを与えてくれるかもしれない。しかし，もとよりこの課題にただ一つの正解があるわけではなく，私たちはそれに自ら手探りで取り組むしかないだろう。以上が私の考える『緑表紙』の現代的な意義である。

最後に，『緑表紙』と直道の業績を今日まで絶やさず伝えてくださった教育史研究者や出版社の方々にお礼を申し上げたい。また，この拙文からきっとお察しいただけるように，塩野直道記念「算数・数学の自由研究」作品コンクールが，直道の理想と価値観を現代に引き継ぐものであることを私は確信している。

**脚注**

*1 国定教科書『尋常小学算術』の通称
*2 国定教科書『尋常小学算術書』の通称

塩野直道記念 第13回 「算数・数学の自由研究」作品コンクール

# 受賞作品の発表

MATHコン 算数・数学の自由研究 作品コンクール 2025

公益財団法人 理数教育研究所では，児童・生徒が日常生活や学校での学習などから興味をもった事象を，算数・数学的な見方・考え方を活用して主体的に探究していく姿勢を培うために，2013年度から塩野直道記念「算数・数学の自由研究」作品コンクールを開催しています。今回は第13回となります。

塩野直道記念 第13回「算数・数学の自由研究」作品コンクールには，全国の小学生，中学生，高校生の皆さんから合わせて13,935件の作品が届きました。海外からも51件の応募をいただきました。ありがとうございました。

作品は各地域で選考後，中央審査委員会で最終審査を行い，p.15〜17のとおり受賞者が決定しました。

●塩野直道賞 顕彰委員会

吉川 弘之　東京大学名誉教授 / Rimse 名誉理事
岡本 和夫　東京大学名誉教授 / Rimse 理事長
鈴木 宗一　公益社団法人 全国珠算教育連盟理事長
[ 特別顧問 ]
塩野 宏　東京大学名誉教授

中央審査委員

| | | |
|---|---|---|
| 委員長 | 根上 生也 | 横浜国立大学 名誉教授 |
| 委 員 | 伊藤 由佳理 | 東京大学 教授 |
| | 銀島 文 | 国立教育政策研究所 生涯学習政策研究部 部長 |
| | 桜井 進 | サイエンスナビゲーター® |
| | 中島 さち子 | (株) steAm代表取締役，音楽家 / STEAM教育者 |
| | 西村 圭一 | 東京学芸大学 教授 |
| | 藤田 岳彦 | 中央大学 教授 / 一橋大学 名誉教授 |
| | 吉川 成夫 | 國學院大學 教授 |
| | 渡辺 美智子 | 立正大学 教授 |

（五十音順）

主催：公益財団法人 理数教育研究所
協賛：株式会社 学研ホールディングス
株式会社 新学社
後援：文部科学省
国立教育政策研究所
読売新聞社
公益財団法人 日本数学検定協会
公益財団法人 文字・活字文化推進機構
公益社団法人 全国珠算教育連盟

中央審査委員会（2025年11月23日，東京・東大前 HiRAKU GATE）

## ＜受賞者一覧＞ 塩野直道記念 第13回「算数・数学の自由研究」作品コンクール

### 最優秀賞

| | |
| --- | --- |
| 塩野直道賞 小学校低学年の部 | いろんな形の箱づくり ～カエルチョコの箱をヒントにして～<br>京都府　京都聖母学院小学校 ３年　武田　紗奈 |
| 塩野直道賞 小学校高学年の部 | かたつむりのカラはなぜ美しい？<br>茨城県　つくば市立秀峰筑波義務教育学校 ４年　中山　拓磨 |
| 塩野直道賞 中学校の部 | 分度器を使わずに正五・七・九・十一角形の角度を作る！<br>茨城県　つくば市立谷田部東中学校 ２年　須田　まひな |
| 塩野直道賞 高等学校の部 | 重回帰分析による熱中症の危険予測と部活動の在り方<br>奈良県　奈良女子大学附属中等教育学校 ４年　北村　優季 |
| 文部科学大臣賞 | 未来を変える教育支援 ―世界人口とGDP(国内総生産)から考える―<br>鹿児島県　鹿児島大学教育学部附属中学校 ３年　森山　幸菜 |
| Rimse 理事長賞 | 角の二等分線で構成される入れ子多角形の列<br>東京都　お茶の水女子大学附属高等学校 ３年　濱門　雪菜 |

### 優秀賞

| | |
| --- | --- |
| 読売新聞社賞 | 大屋根リングの秘密をときあかせ！<br>福井県　福井大学教育学部附属義務教育学校　後期課程 ８年　宇山　明里 |
| 学 研 賞 | はっけん！　ひだりききのあいうえおひょう<br>秋田県　五城目町立五城目小学校 １年　石塚　仁翔 |
| 日本数学検定協会賞 | ペンローズパターンの規則性の拡張<br>兵庫県　灘高等学校 ２年　翟　潤奇 |
| 新学社賞 | 生きてる！　動いて感動！　iPS 心筋シート<br>宮崎県　宮崎市立大塚小学校 ５年　大曲　悠歌 |

### 特別賞

| | |
| --- | --- |
| 中央審査委員特別賞 | プラレールが橋の上下ですれちがうダイヤグラムをつくろう<br>大阪府　四天王寺小学校 ２年　島﨑　善悠 |
| 中央審査委員特別賞 | 手作り測量機で地図を作る 自分だけの『オリジナル伊能図』を作ってみよう！<br>愛知県　名古屋市立表山小学校 ６年　溝渕　結彩 |
| 中央審査委員特別賞 | みんなのエアコンの最適温度<br>京都府　京都聖母学院小学校 ５年　長山　深音 |
| 中央審査委員特別賞 | 双心四角形の3次元立体への拡張 特に四面体・五面体について<br>東京都　筑波大学附属駒場高等学校 １年　森住　剛士 |

# 奨励賞

## 中央審査委員奨励賞 小学校低学年の部

| 作品タイトル | 学校名 | 学年 | 受賞者氏名 |
|---|---|---|---|
| 16マスのオセロでかつ方ほう | 茨城県 虹色学園つくば市立研究学園小学校 | 2 | 伊形　慧介 |
| 剣道の面打ち，きれいに打つには何秒がベスト？ | 東京都 学習院初等科 | 3 | 黒木　花 |
| おりがみで作った日本一長いちょく方体を作ろう<br>ーおかあさんにかってもらうおりがみのまい数を考えようー | 東京都 白百合学園小学校 | 2 | 藤野　有理佐 |
| 算数の力でこがさずに朝のパンをやく | 神奈川県 関東学院六浦小学校 | 3 | 佐貫　希子 |
| パパのはしご長すぎない？！ | 静岡県 浜松市立神久呂小学校 | 2 | 井内　翔介 |
| 買い物弱者を救う！　ぼくの提案 | 京都府 京都聖母学院小学校 | 3 | 笠井　律希 |
| ゴム鉄ぽうを使って，ゴムをより遠くへ飛ばしたいとき発射角度は何度が良いのか？ | 大阪府 追手門学院小学校 | 3 | 江藤　櫂 |
| ランドセルの中みをかるくしてもらいたい！！ | 鳥取県 倉吉市立西郷小学校 | 2 | 矢萩　太郎 |
| 目指せ！　風船飛ばしマスター！ | 熊本県 熊本市立画図小学校 | 3 | 山内　道 |
| ルービックキューブ，２回パターンはなん回くりかえすともとにもどるのか？ | 鹿児島県 鹿児島大学教育学部附属小学校 | 3 | 味園　佳怜 |

## 中央審査委員奨励賞 小学校高学年の部

| 作品タイトル | 学校名 | 学年 | 受賞者氏名 |
|---|---|---|---|
| ゆがんだサイコロにかくされたひみつ | 北海道 名寄市立名寄小学校 | 6 | 先川　柚乃 |
| アップルパイの箱から学ぶ多角形の箱の作り方 | 宮城県 宮城教育大学附属小学校 | 4 | 岡本　千歳 |
| 千代田区の本当の面積はもっと広い？ | 東京都 千代田区立九段小学校 | 5 | 竹内　佐保 |
| ひつじを何匹数えるとねむくなる!?<br>～どのくらいの時間がかかるかな？～ | 奈良県 王寺町立王寺南義務教育学校 | 5 | 桑田　こはる |
| ぼくたちがつくった四角形の面積の公式　～この公式があればどんな四角形の面積も求められる～ | 福岡県 北九州市立河内小学校 | 6 | 三浦　橙真・<br>藤吉　紡久・<br>森　禮 |
| 世界中の人が手をつないだら，地球一周できる？ | 長崎県 長崎大学教育学部附属小学校 | 6 | 市坪　葵 |
| 雨の中を，ゆっくり歩くのと速く走るのでは，どちらが濡れにくいかを考える | 長崎県 長崎大学教育学部附属小学校 | 6 | 新ヶ江　寧々 |
| 一番遠くまで飛ぶ紙飛行機はどんな形？ | 大分県 別府大学 明星小学校 | 5 | 韓　昀哲 |
| どうして分かる？　交通標識カードマジック | 鹿児島県 鹿児島市立南小学校 | 5 | 楠元　咲和 |
| 函館の五稜郭は星型正五角形でよかったのか？ | 海外 ジュネーブ日本語補習学校 | 5 | 香川　陽茉里 |

### 中央審査委員奨励賞 中学校の部

| 作品タイトル | 学校名 | 学年 | 受賞者氏名 |
|---|---|---|---|
| 目指せ！　定時出社！　～エレベーター前の会社員を分配し，母を９時までに出社させよう～ | 北海道 北海道教育大学附属札幌中学校 | 3 | 上野　晴南 |
| 次につながるサーブとは？ | 山形県 山形県立致道館中学校 | 2 | 柳沢　さくら |
| あみだくじで無双する！　～山を基準にあみだくじのサイクル分解を考える～ | 東京都 広尾学園中学校 | 3 | 原田　璃那・<br>原島　初花 |
| 角の三等分は本当に不可能なのか？ | 東京都 安田学園中学校 | 2 | 中野　みさき |
| 折りたたまれた宇宙<br>～折り紙で正多角錐を作ろう～ | 長野県 信州大学教育学部附属長野中学校 | 1 | 依田　恭太朗・<br>大槻　司・<br>髙野　諒太 |
| 正多角形を２種類以上使ってできる多面体の研究 | 長野県 信州大学教育学部附属長野中学校 | 2 | 皆川　恵 |
| 実は不公平なあみだくじ | 愛知県 愛知教育大学附属名古屋中学校 | 1 | 髙橋　縁 |
| 四次元の「球」を自分なりに解いてみた | 奈良県 奈良教育大学附属中学校 | 2 | 越智　丞一郎 |
| 校内を楽に安全に移動したい！<br>～均一コスト探索の応用～ | 奈良県 奈良教育大学附属中学校 | 3 | 藤本　悠吾 |
| 本当に ?!　桜島フェリーの謎を解明せよ !! | 鹿児島県 鹿児島大学教育学部附属中学校 | 2 | 稲留　由茉 |

### 中央審査委員奨励賞 高等学校の部

| 作品タイトル | 学校名 | 学年 | 受賞者氏名 |
|---|---|---|---|
| 高次元におけるナイトツアーの諸考察 | 埼玉県 さいたま市立大宮国際中等教育学校 | 6 | 上村　遼治・<br>浅川　了斗 |
| フェルマー点の拡張 | 千葉県 芝浦工業大学柏高等学校 | 2 | 飯塚　勇真・<br>福原　和真・<br>野間　叶夢・<br>田代　貫太 |
| 三次元空間におけるユングの定理の考察 | 東京都 東京学芸大学附属高等学校 | 3 | 本多　剛欣 |
| 整数値関数の剰余の個数 | 愛知県 愛知県立瑞陵高等学校 | 2 | 柴田　凰雅 |
| 混線内接円の３次元への拡張 | 愛知県 名古屋市立向陽高等学校 | 3 | 鵜飼　竜成・<br>辻　悠惟人・<br>仁科　瑛斗 |
| 折り紙で見る !?　無理数に潜む美しさ | 京都府 京都府立嵯峨野高等学校 | 3 | 湯浅　耀太・<br>宮崎　蒼維・<br>谷口　泰斗 |
| 片想い空間<br>～距離空間に対称律を仮定しない場合の考察～ | 京都府 京都府立洛北高等学校 | 2 | 青山　真河 |
| ｑ多重ゼータ関数の和公式<br>～美しき関数関係式について～ | 大阪府 大阪教育大学附属高等学校池田校舎 | 2 | 横井　杏樹 |
| ビルディングパズルの組み合わせ論 | 大阪府 大阪桐蔭高等学校 | 2 | 阿竹　裕翔・<br>岩下　朔哉 |
| 複素対数の値が実数となる幾何学的条件の考察 | 鹿児島県 屋久島おおぞら高等学校 | 2 | 小川　尚悟 |

全応募作品の中から，最優秀賞，優秀賞，特別賞，奨励賞の受賞者のほか，下記の方々の作品が地区審査から中央審査委員会の最終審査に推薦されました。

### 小学校低学年の部

| | 学校名 | 学年 | 氏名 |
|---|---|---|---|
| 東京都 | 白百合学園小学校 | 3 | 中村　ほの花 |
| | 成城学園初等学校 | 2 | 笹森　桜子 |
| | 豊島区立高南小学校 | 2 | 若月　悠華 |
| | 港区立御成門学園御成門小学校 | 1 | 泉谷　志鶴 |
| 三重県 | 鈴鹿市立神戸小学校 | 2 | 長江　亮哉 |
| 京都府 | 京都聖母学院小学校 | 1 | 伊藤　寛乃 |
| | | 1 | 牧野　仁宣 |
| 奈良県 | 田原本町立南小学校 | 3 | 笹本　秀直 |
| 岡山県 | ノートルダム清心女子大学附属小学校 | 1 | 中口　天稀 |
| 福岡県 | 福岡教育大学附属福岡小学校 | 3 | 秦　弥織 |
| 長崎県 | 長崎大学教育学部附属小学校 | 1 | 道祖尾　昌之 |
| | | 1 | 鳥越　翔太 |
| 熊本県 | 熊本大学教育学部附属小学校 | 3 | 下城　すず |
| | | 3 | 冨永　和奏 |
| 大分県 | 別府大学　明星小学校 | 2 | 大塚　愛真 |
| | | 2 | 佐保　七帆 |
| | | 3 | 河野　麟太朗 |
| | | 3 | 佐藤　志桜里 |
| 海外 | ジュネーブ日本語補習学校 | 3 | 香川　里衣紗 |

### 小学校高学年の部

| | 学校名 | 学年 | 氏名 |
|---|---|---|---|
| 茨城県 | 茨城大学教育学部附属小学校 | 6 | 石井　希宥 |
| 栃木県 | 宇都宮大学共同教育学部附属小学校 | 5 | 速水　智彩 |
| 千葉県 | 千葉市立宮崎小学校 | 4 | 山口　照乃 |
| 東京都 | 暁星小学校 | 4 | 谷本　佳祐 |
| | | 4 | 綿貫　敬太 |
| | | 5 | 近藤　レオ |
| | | 5 | 鈴木　律 |
| | | 5 | 村上　蓮馬 |
| | さくらインターナショナルスクール初等部 | 4 | 竹口　詠夢 |
| | 白百合学園小学校 | 4 | 桑原　喜歩子 |
| | | 5 | 土屋　怜子 |
| | 東京学芸大学附属小金井小学校 | 6 | 江上　乃蒼 |
| 福井県 | 福井大学教育学部附属義務教育学校<br>前期課程 | 5 | 清水　咲希 |
| 京都府 | 京都聖母学院小学校 | 4 | 中嶋　莉愛 |
| | | 5 | 詫摩　彩矢 |
| 兵庫県 | 関西国際学園　初等部 | 4 | 尾崎　菫 |
| 奈良県 | 王寺町立王寺北義務教育学校 | 5 | 大西　史莉 |
| | | 5 | 近藤　園子 |
| | | 5 | 横山　健人 |
| | | 6 | 内村　一心 |
| | | 6 | 矢野　涼菜 |
| | 奈良学園小学校 | 6 | 江川　梨紗 |
| 岡山県 | 岡山市立富山小学校 | 5 | 大尾　咲那 |
| | 岡山大学附属小学校 | 4 | 吉岡　啓 |
| 佐賀県 | 佐賀大学教育学部附属小学校 | 6 | 岩永　有盛 |
| 長崎県 | 長崎市立鳴見台小学校 | 5 | 松尾　紗希 |
| | 長崎大学教育学部附属小学校 | 4 | 堀内　柚花 |
| | | 4 | 籔根　風花 |
| | | 6 | 赤星　東吾 |
| | | 6 | 木村　和香 |
| | | 6 | 諸岡　莉惺 |
| 熊本県 | 大津町立大津小学校 | 6 | 齋藤　由都 |
| | 熊本大学教育学部附属小学校 | 4 | 岡井　智亮 |
| 大分県 | 別府大学　明星小学校 | 6 | 清永　絢 |
| | | 6 | 佐藤　花野 |
| 海外 | カイロ日本人学校 | 5 | 中島　慶太 |

### 中学校の部

| | 学校名 | 学年 | 氏名 |
|---|---|---|---|
| 北海道 | 北海道教育大学附属札幌中学校 | 3 | 神林　栄陽大 |
| 青森県 | 弘前大学教育学部附属中学校 | 3 | 堀内　尚 |
| 山形県 | 山形県立致道館中学校 | 2 | 多次見　生吹 |
| 茨城県 | 江戸川学園取手中高等学校 | 2 | 鈴木　翔也 |
| 栃木県 | 栃木市立吹上中学校 | 3 | 臼井　梅乃 |
| 埼玉県 | 埼玉県立伊奈学園中学校 | 3 | 谷口　創祐 |
| | 埼玉大学教育学部附属中学校 | 1 | 大橋　令旺 |
| 東京都 | 芝浦工業大学附属中学校 | 3 | 坂本　太一 |
| | 世田谷学園中学校 | 2 | 紙屋　優 |
| | 東京都市大学付属中学校・高等学校 | 1 | 田口　直彦 |
| | 東京都立小石川中等教育学校 | 3 | 今枝　駿斗 |
| 神奈川県 | カリタス女子中学校 | 2 | 竹内　美咲子 |
| | | 3 | 野本　杏奈 |
| 新潟県 | 新潟大学附属中学校 | 2 | 浅井　陽向 |
| 石川県 | 金沢市立兼六中学校 | 2 | 津山　環 |
| 福井県 | 福井大学教育学部附属義務教育学校<br>後期課程 | 8 | 松田　薪平 |
| | | 9 | 伊藤　菜々子 |
| | | 9 | 坪川　心優 |
| 長野県 | 駒ケ根市立赤穂中学校 | 3 | 西村　侑真・<br>佐野　絢斗・<br>堀　友也・<br>古樫　舜也 |
| 静岡県 | 静岡大学教育学部附属浜松中学校 | 2 | 中　瑛太郎 |
| 愛知県 | 愛知教育大学附属名古屋中学校 | 1 | 河内　希来里 |
| | | 1 | 桑山　香佳 |
| | | 2 | 丹羽　悠理子 |
| | | 2 | 松場　暁 |
| | 椙山女学園中学校 | 1 | 戸張　花音 |
| | 東海市立上野中学校 | 1 | 榎本　実莉 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 滋賀県 | 立命館守山中学校 | 1 | 樋口　夢 |
| 京都府 | 京都市立西京高等学校附属中学校 | 1 | 寺内　優月 |
| | | 3 | 森田　憲彦 |
| 大阪府 | 大阪教育大学附属池田中学校 | 1 | 百瀬　杏嘉・忌部　望 |
| | 大阪教育大学附属平野中学校 | 2 | 竹内　健悟 |
| | 大阪星光学院中学校 | 1 | 杉浦　秀明 |
| | | 1 | 濱　壮慶 |
| 兵庫県 | 小林聖心女子学院中学校 | 1 | 青木　とわ |
| | | 2 | 中山　美祐奈 |
| | 滝川第二中学校 | 3 | 渡部　美聡・今福　優花・城所　那々実 |
| | 姫路市立白鷺小中学校 | 9 | 八幡　馨心 |
| 奈良県 | 広陵町立真美ケ丘中学校 | 1 | 笹岡　志穂 |
| | 奈良女子大学附属中等教育学校 | 1 | 次田　昇平 |
| 和歌山県 | 和歌山県立桐蔭中学校 | 3 | 山地　奏良 |
| 島根県 | 島根大学教育学部附属義務教育学校後期課程 | 8 | 多田　光佑 |
| 岡山県 | 岡山市立操山中学校 | 1 | 中田　有要 |
| 広島県 | 東広島市立松賀中学校 | 2 | 西亀　花鈴 |
| | 広島市立二葉中学校 | 2 | 下田　侑依 |
| 山口県 | 山口大学教育学部附属山口中学校 | 1 | 髙橋　真梨奈 |
| 香川県 | 香川大学教育学部附属坂出中学校 | 2 | 林　遥斗 |
| 福岡県 | 福岡県立嘉穂高等学校附属中学校 | 1 | 白土　美優 |
| | | 1 | 田中　陽麻里 |
| | 福岡市立高取中学校 | 2 | 勞　紫峰 |
| 佐賀県 | 佐賀大学教育学部附属中学校 | 1 | 菅崎　龍之介 |
| | | 1 | 中里　帆花 |
| | | 3 | 鶴田　孝士 |
| | 武雄市立武雄中学校 | 3 | 冨永　樹璃・藤井　惺那・松尾　真奈美 |
| 長崎県 | 長崎大学教育学部附属中学校 | 3 | 田中　彰・川原　宗一郎・西嶋　一晃 |
| 熊本県 | 熊本大学教育学部附属中学校 | 1 | 岡井　佐知 |
| | | 1 | 髙松　淳平 |
| | | 2 | 近藤　紗良 |
| | | 2 | 須古　桃佳 |
| | | 2 | 竹村　菜乃子 |
| | | 2 | 早田　紳次朗 |
| | | 3 | 河津　智哉 |
| | | 3 | 小谷　一蔵 |
| 大分県 | 大分大学教育学部附属中学校 | 2 | 後藤　壮詞 |
| | | 3 | 西嶋　奏人 |
| | | 3 | 南曲　美音 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 宮崎県 | 宮崎大学教育学部附属中学校 | 1 | 甲斐　心夏 |
| | | 1 | 佐藤　太郎 |
| | | 2 | 大田原　惟斗 |
| | | 2 | 菊池　羽音 |
| | | 3 | 權藤　和孝 |
| 鹿児島県 | 鹿児島大学教育学部附属中学校 | 1 | 池之上　朋花 |
| | | 1 | 髙野　令子 |
| | | 1 | 土屋　黎桜 |
| | | 1 | 藤木　花莉奈 |
| | | 2 | 上下　悠花 |
| | | 2 | 内藤　雄晟 |
| | | 2 | 西　桃花 |
| | | 3 | 泉　郁羽 |
| | | 3 | 川越　連 |
| | | 3 | 竹之内　莉奈 |
| | | 3 | 松元　優奈 |
| | | 3 | 山﨑　陽央 |
| 沖縄県 | 沖縄県立開邦中学校 | 2 | 仲地　凜奈・嶺井　美桜・宮里　莉未 |
| | 久米島町立球美中学校 | 3 | 富永　悠宇 |

## 高等学校の部

| 学校名 | | 学年 | 氏名 |
|---|---|---|---|
| 埼玉県 | さいたま市立大宮国際中等教育学校 | 5 | 松丸　仁輝 |
| 東京都 | クラーク記念国際高等学校東京キャンパス | 2 | 田中　遥 |
| | 海城高等学校 | 1 | 中司　光亮 |
| | 大妻高等学校 | 2 | 奥植　理央 |
| | 千代田高等学校 | 3 | 坪郷　聡太郎・辻　琉介・楊　鋭臻 |
| 福井県 | 福井県立武生高等学校 | 3 | 吉崎　琥珀 |
| 長野県 | 長野県屋代高等学校 | 2 | 宮澤　希成 |
| 京都府 | 京都府立西舞鶴高等学校 | 3 | 吉岡　連 |
| 大阪府 | 大阪桐蔭高等学校 | 2 | 三好　一輝 |
| | | 2 | 山本　龍之介 |
| 奈良県 | 奈良女子大学附属中等教育学校 | 4 | 中嶋　雅人 |
| 長崎県 | 長崎県立長崎北陽台高等学校 | 1 | 今村　天祐・川田　真聖・百﨑　丈竜・山口　原生 |
| | | 2 | 宮内　幹太 |

# 審査を終えて　－中央審査委員からのメッセージ－

根上委員長

今年度の応募総数は 13,935 件でした。これまでの傾向とは異なり，昨年よりもかなり減ってしまいました。その原因は明らかではありませんが，ひょっとしたら「探究活動」が学校現場に広まったことの裏返しなのかもしれません。この「自由研究」は今ほどに探究活動が重視されていなかった頃から始められています。近年は教科の枠を越えた探究活動が推進されているので，算数・数学に特化していた自由研究以外に力が注がれているのでは…。

でも，こういう私の思い過ごしをよそに，今年も中央審査会には面白い作品が寄せられています。特に今回は学年によらず幾何を扱った題材が目立ちました。また，予想通りに大阪・関西万博で話題になったものを扱った作品もありましたし，左利きの人のために文字の難易度を考えた作品や人口やGDPと教育の関係を考察した作品など，社会性を感じる作品もありました。その一方で，高校生の作品の中には純粋に数学の問題を研究したものが多かったようです。もちろん，そういう作品も歓迎なのですが，私たちには数学が得意な人たちだけの「自由研究」にしたくないという思いがあります。逆に，数学が得意な人の力で世界が変わるところも見てみたいですね。

伊藤委員

今年の中央審査委員会に集まった高校生の作品は力作揃いでした。特に入賞した作品の多くは，すでに知られている結果を更に複雑にした場合どうなるかという「一般化」を考え，それを予想として定式化し，証明を試みるという，本当の数学者と同じような研究でした。最近の高校生は日常的にGeoGebraなどを使うようで，いろいろな図形を描きやすくなっているようですが，そこから予想を定式化することは簡単ではありません。毎日眺めたり，見方を変えながら考えたりすることで，何か面白い性質を発見できることがあります。今回は，その証明に高度な数学を用いるのではなく，高校数学で考えている作品が多かったのもよかったです。このコンクールには，小学生から高校生までの作品が集まります。難しい数学に挑戦するのではなく，それぞれの段階に応じて，自分の疑問を算数や数学で解決できるという，通常の授業とは異なる「算数・数学の楽しみ方」を味わってもらえる機会として，より多くの人に参加してもらいたいです。

銀島委員

今年もたくさんの児童生徒の皆さんからすばらしい作品が届きました。惜しくも受賞を逃した作品も力作ばかりでした。数学的な未解決問題につながる研究もありました。社会問題の解決に数学的にアプローチしたり，ご自身の生活や習い事をもとに研究テーマを設定したり，実際に作品を作っている研究もあり，皆さんの発想の豊かさや考えることを楽しむ姿勢から，私たち審査委員にも刺激を与えていただきました。ねばり強く考えたり，仲間と協力したり，丁寧にレポートを作成したりすることの大切さも再確認できたように思います。

これからも，皆さんの「不思議だな」を大切にして，研究を続けていただきたいと思います。感染症や戦争，気候問題など，世界ではいろいろな難題がありますが，きっと，皆さんの研究意欲と探究心が問題の解決につながります。

桜井委員

本コンクールも 13 回目にもなると参加者が選ぶテーマの多彩さ・広がりの充実さに驚かされます。応募総数 13,935 作品が身近に算数・数学があふれている――世界は数学でできている――ことを教えてくれます。参加者の皆さんは HP に公開されている過去の受賞作品を参考にしたことでしょう。テーマ選びだけでなくレポートの書き方・研究手法などたくさん参考になります。ここで大切なことは他人の作品に影響され過ぎないことです。自分が見つけ出して本当に面白いと感じたテーマをじっくり探すことが肝要です。「算数・数学の自由研究」作品コンクールにある「自由」にチャレンジする人が増えてくれることを期待しています。

中島委員

今年もやはり楽しい審査委員会でした！　これほど算数・数学が身近ないろんなところに隠れているのかと改めて驚かされました。社会現象や歴史的な物にも，スポーツや心理や生物の中にも数学あり…，中には“数学”を現実世界で新しく表す道具の開発もあり，とにかく，皆が試行錯誤しながら身近な数学を多角的に引きずり出すようすにワクワクしました。数学は完全論証するもの…，とは言え，現実世界はゆらぎがあり，完全なものはなかなか存在しません。だからこそ，ゆらぎの数学が今面白いと感じています。もちろん，新たな定理を作るのも醍醐味！　一方，数学と生物やスポーツやアートや歴史やものづくりや音や…との出会いも楽しい。皆さんの，益々の多彩な数学探究を応援しています！

西村委員

今年度の「算数・数学の自由研究」作品コンクールには，日々の生活の中で感じた素朴な疑問や解消したいと思った問題点について，さまざまな見方，考え方を働かせて探究を深めていった軌跡が丁寧に刻まれた作品が数多く見られました。特に印象的だったのは，当初の解決で満足するのではなく，条件を変えたり対象を拡げたりしながら発展的に考察する姿勢が，小・中・高校を通じて見られたことです。多くの皆さんが，こうした探究の姿勢を学校での学びの中でも継続的に育み，さらに存分に発揮していくことを期待しています。

藤田委員

いつものように，高校の自由研究を審査しました。レベルの高い作品も多くあり，今回も選考に悩みましたが，十分楽しんで審査できました。中央審査にかけるのは 15 作品ですが，久しぶりにそれより多くの作品を中央審査に提出したいと思いました。大学数学の知識が必要なもの，高校生らしく平面幾何の話題を高次元に拡張しようとしたもの，現実社会からの問題を定式化しデータ分析しようとしたものなど，さまざまな作品がありました。高等学校の部でも，数学と社会や他科学との関わり，数学そのものの研究（もちろん同時にその二つの観点が含まれていると嬉しいのですが）の二つのタイプの作品が揃っていると良いですね。

吉川委員

今年度も中央審査委員として，たくさんのコンクール参加者の算数・数学レポートを読ませてもらい，おおいに楽しませてもらいました。私が読んでみて，良い作品だなと思うレポートは,「作者が楽しんで算数・数学を考えている」「具体物を用いて実物を作ったり，調べたりしている」「考え方や理由について，言葉や数，式，図，表など用いて説得力のある説明や表現をしている」というものです。研究の進め方やレポート作成の一部を家族や学校の先生に少し手伝ってもらうのはよいと思います。ですが，作者が主体となって進めていくことが大切です。また，レポート作成の参考となる本を探し，読んでください。参考にした本の著者名，書名をレポートの最後に示すのも大切な点です。

渡辺委員

今年度の算数・数学自由研究では，どの作品からも「自分で疑問を見つけ，その理由を数や図，実験で確かめようとする姿勢」が強く感じられました。身近な疑問を出発点に，データを集め，モデルをつくり，比較し，結論へと近づいていく過程そのものが，算数・数学の学びの核心です。数学は，“できた答えを覚える学問”ではなく，“身の回りの現実世界を自分の力で読み解く方法”であることを，皆さんの研究が改めて示してくれました。来年度は，さらに多様な自由研究の視点や方法が生まれること，そして生活や社会の中の「なぜ？」を数学で探究しようとする挑戦がよりいっそう広がることを期待しています。

# 表彰の集い

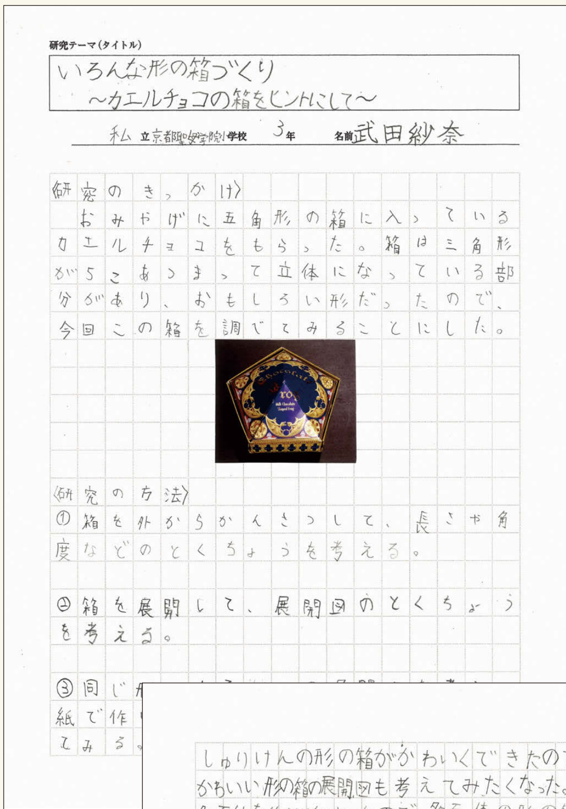

優秀作品の受賞者を招いて，2025 年 12 月 21 日に東京・アルカディア市ヶ谷にて表彰の集い（表彰式・作品発表）を開催しました。


## 塩野直道賞
小学校低学年の部

## いろんな形の箱づくり ～カエルチョコの箱をヒントにして～

京都府　京都聖母学院小学校 ３年　武田　紗奈

全５ページ

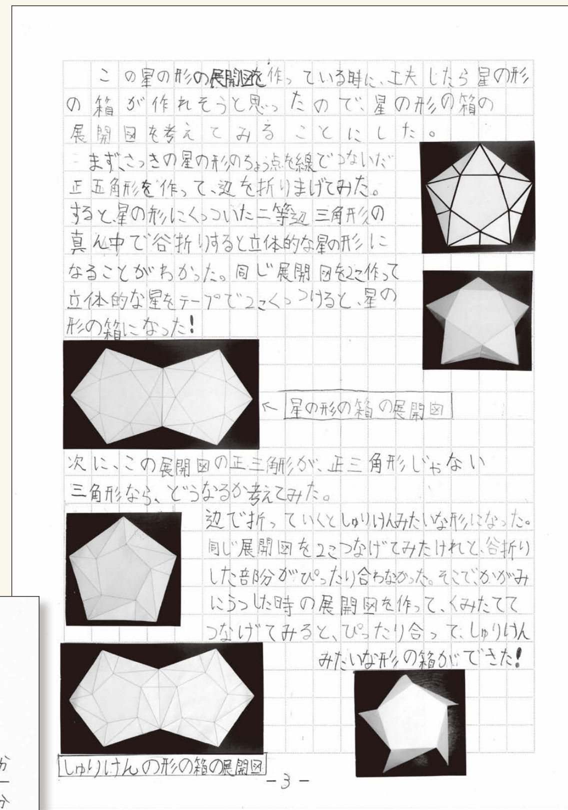


研究テーマ（タイトル）
いろんな形の箱づくり
～カエルチョコの箱をヒントにして～
私立京都聖母学院小学校　3年　名前武田紗奈

〈研究のきっかけ〉
おみやげに五角形の箱に入っているカエルチョコをもらった。箱は三角形が5こあつまって立体になっている部分があり、おもしろい形だったので、今回この箱を調べてみることにした。

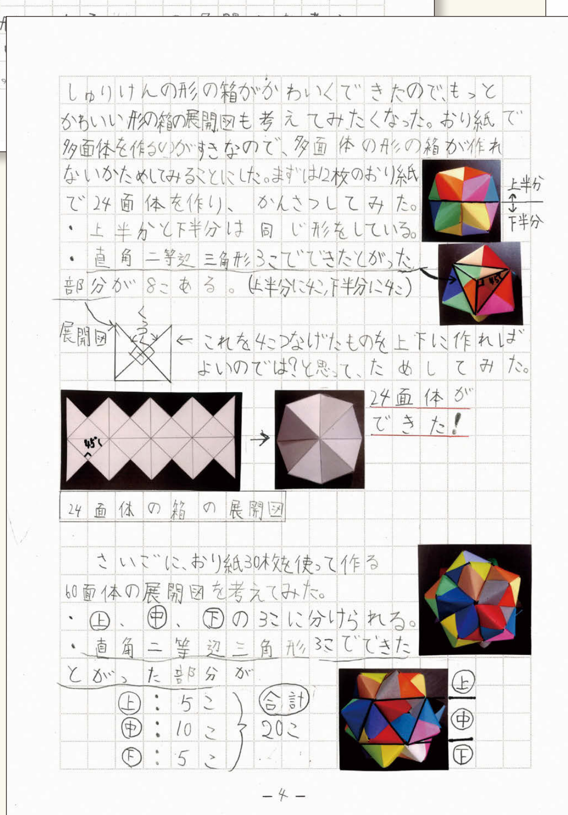
〈研究の方法〉
① 箱を外からかんさつして、長さや角度などのとくちょうを考える。
② 箱を展開して、展開図のとくちょうを考える。
③ 同じ…
紙で作…
てみる。

▲１ページ目



この星の形の展開図を作っている時に、工夫したら星の形の箱が作れそうと思ったので、星の形の箱の展開図を考えてみることにした。
まず、さっきの星の形のちょう点を線でつないだ正五角形を作って、辺を折りまげてみた。
すると星の形にくっついた二等辺三角形の真ん中で谷折りすると立体的な星の形になることがわかった。同じ展開図を2こ作って立体的な星をテープで2こくっつけると、星の形の箱になった！
← 星の形の箱の展開図
次に、この展開図の正三角形が、正三角形じゃない三角形なら、どうなるか考えてみた。
辺で折っていくとしゅりけんみたいな形になった。同じ展開図を2こつなげてみたけれど、谷折りした部分がぴったり合わなかった。そこで、かがみにうつした時の展開図を作って、くみたててつなげてみると、ぴったり合って、しゅりけんみたいな形の箱ができた！
しゅりけんの形の箱の展開図
－3－

▲3ページ目



しゅりけんの形の箱がかわいくできたので、もっとかわいい形の箱の展開図も考えてみたくなった。おり紙で多面体を作るのがすきなので、多面体の形の箱が作れないかためしてみることにした。まずは12枚のおり紙で24面体を作り、かんさつしてみた。
上半分
下半分
・上半分と下半分は同じ形をしている。
・直角二等辺三角形3こでできたとがった部分が8こある。（上半分に4こ、下半分に4こ）
展開図
← これを4こつなげたものを上下に作ればよいのでは？と思って、ためしてみた。
45°
→
24面体ができた！
24面体の箱の展開図
さいごに、おり紙30枚を使って作る60面体の展開図を考えてみた。
・上、中、下の3こに分けられる。
・直角二等辺三角形3こでできたとがった部分が
上：5こ
中：10こ
下：5こ
合計 20こ
上
中
下
－4－

4ページ目▶

### 講評

お菓子の五角形の箱を見て研究を開始し，丁寧に研究レポートにまとめました。五角錐，星の形の箱，手裏剣みたいな形，折り紙の多角形と発展的に考察を進めました。展開図から立体図形を創造し，考えることや物作りを楽しんでいるようすが伝わります。箱や図形を観察して特徴を考えたり，予想した展開図を組み立ててみてうまくいかない部分を変更したり，試行錯誤しながら研究が進んでいます。立体を部分に分けて考えたり，基本のパーツをもとに考えたり，筋道を立てて考えてわかったことを一つ一つ明らかにしながら研究を進め，優れた自由研究になりました。

中央審査委員会

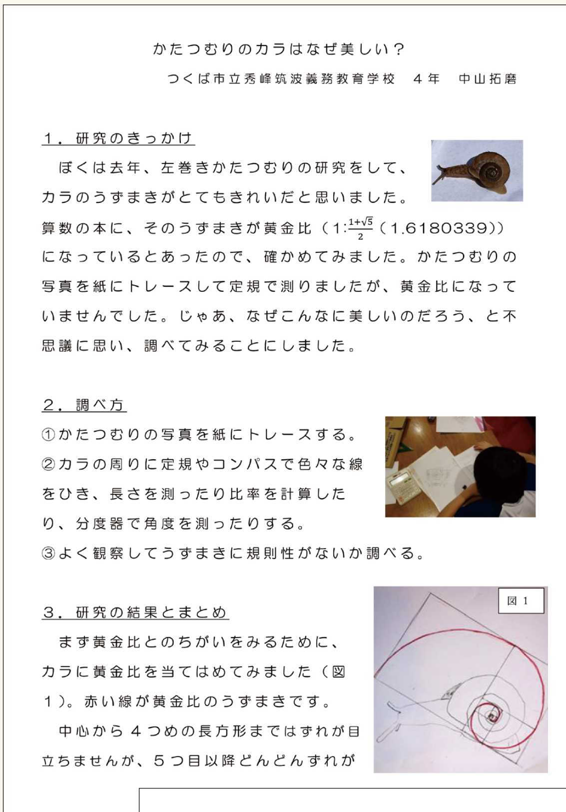
※紙面の都合で，受賞作品は一部のみを紹介しています。理数教育研究所のホームページで，作品のすべてをご覧いただけます（https://www.rimse.or.jp/）。

**塩野直道賞**
**小学校高学年の部**

# かたつむりのカラはなぜ美しい？

茨城県　つくば市立秀峰筑波義務教育学校 ４年　中山 拓磨

全５ページ



かたつむりのカラはなぜ美しい？

つくば市立秀峰筑波義務教育学校　４年　中山拓磨

１．研究のきっかけ

ぼくは去年、左巻きかたつむりの研究をして、カラのうずまきがとてもきれいだと思いました。算数の本に、そのうずまきが黄金比（$1:\frac{1+\sqrt{5}}{2}$（1.6180339））になっているとあったので、確かめてみました。かたつむりの写真を紙にトレースして定規で測りましたが、黄金比になっていませんでした。じゃあ、なぜこんなに美しいのだろう、と不思議に思い、調べてみることにしました。

２．調べ方

①かたつむりの写真を紙にトレースする。

②カラの周りに定規やコンパスで色々な線をひき、長さを測ったり比率を計算したり、分度器で角度を測ったりする。

③よく観察してうずまきに規則性がないか調べる。

３．研究の結果とまとめ

図１

まず黄金比とのちがいをみるために、カラに黄金比を当てはめてみました（図１）。赤い線が黄金比のうずまきです。

中心から４つめの長方形まではずれが目立ちませんが、５つ目以降どんどんずれが

▲1ページ目

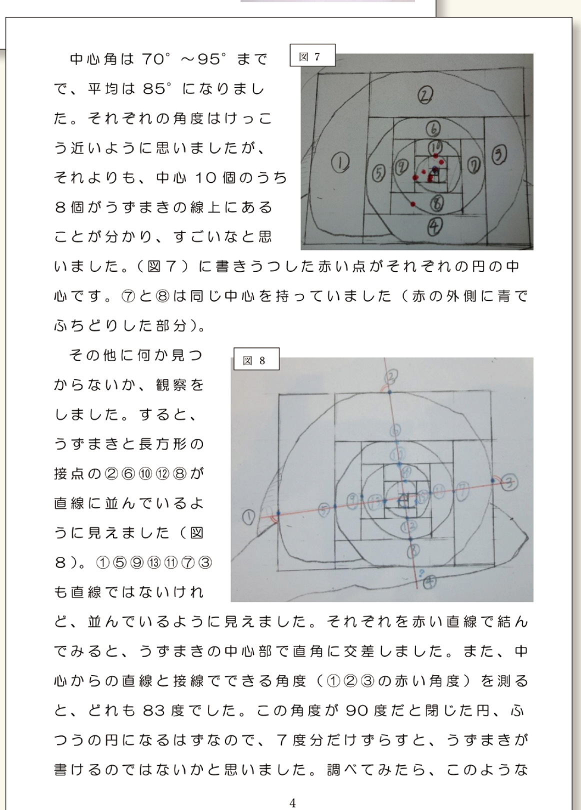


図７

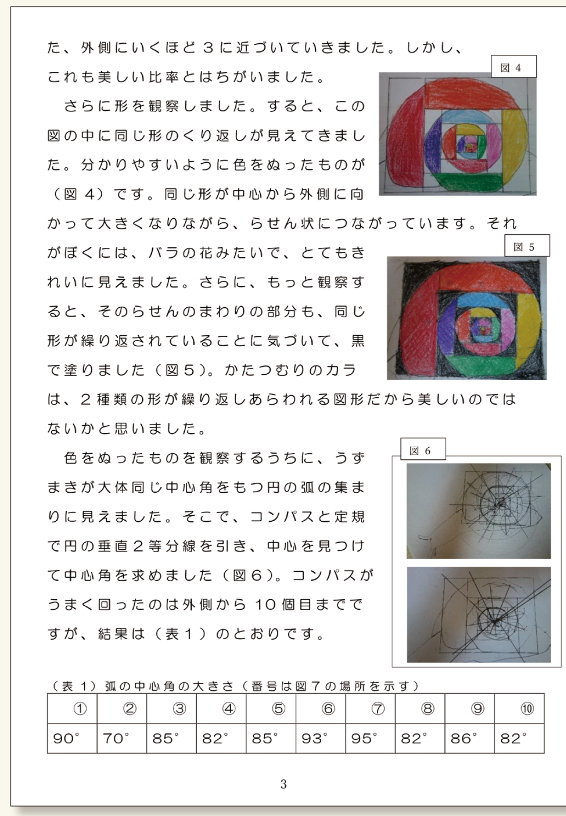
中心角は 70°～95° までで、平均は 85° になりました。それぞれの角度はけっこう近いように思いましたが、それよりも、中心 10 個のうち８個がうずまきの線上にあることが分かり、すごいなと思いました。（図７）に書きうつした赤い点がそれぞれの円の中心です。⑦と⑧は同じ中心を持っていました（赤の外側に青でふちどりした部分）。

図８

その他に何か見つからないか、観察をしました。すると、うずまきと長方形の接点の②⑥⑩⑫⑧が直線に並んでいるように見えました（図８）。①⑤⑨⑬⑪⑦③も直線ではないけれど、並んでいるように見えました。それぞれを赤い直線で結んでみると、うずまきの中心部で直角に交差しました。また、中心からの直線と接線でできる角度（①②③の赤い角度）を測ると、どれも 83 度でした。この角度が 90 度だと閉じた円、ふつうの円になるはずなので、７度分だけずらすと、うずまきが書けるのではないかと思いました。調べてみたら、このような

4

▲4ページ目



た、外側にいくほど３に近づいていきました。しかし、これも美しい比率とはちがいました。

図４

さらに形を観察しました。すると、この図の中に同じ形のくり返しが見えてきました。分かりやすいように色をぬったものが（図４）です。同じ形が中心から外側に向かって大きくなりながら、らせん状につながっています。それがぼくには、バラの花みたいで、とてもきれいに見えました。さらに、もっと観察すると、そのらせんのまわりの部分も、同じ形が繰り返されていることに気づいて、黒で塗りました（図５）。かたつむりのカラは、２種類の形が繰り返しあらわれる図形だから美しいのではないかと思いました。

図５

図６

色をぬったものを観察するうちに、うずまきが大体同じ中心角をもつ円の弧の集まりに見えました。そこで、コンパスと定規で円の垂直２等分線を引き、中心を見つけて中心角を求めました（図６）。コンパスがうまく回ったのは外側から 10 個目までですが、結果は（表１）のとおりです。

（表１）弧の中心角の大きさ（番号は図７の場所を示す）

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90° | 70° | 85° | 82° | 85° | 93° | 95° | 82° | 86° | 82° |

3

▲3ページ目

## 講 評

かたつむりのカラのうずまきが美しいと思った作者は，その美しさを図形的に，また数量的に説明しようと試みています。うずまきのようすを図形として表わし，数学的な性質を数値や式にして分析し，その特徴を言葉で述べているのが素晴らしいです。ある本にはうずまきの模様が黄金比になると書いてあったけど，自分が調べたうずまきでは黄金比にならなかったと指摘しています。作者が楽しみながら，算数・数学で考え，調べ，表現している点が優れた作品です。

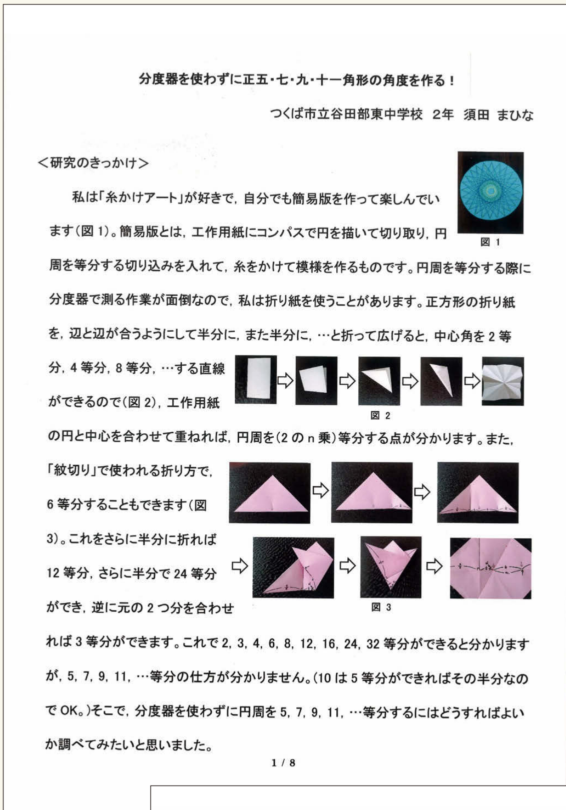
中央審査委員会

**塩野直道賞**
**中学校の部**

# 分度器を使わずに正五·七·九·十一角形の角度を作る!

茨城県　つくば市立谷田部東中学校 ２年　須田 まひな

全８ページ



分度器を使わずに正五・七・九・十一角形の角度を作る！

つくば市立谷田部東中学校　2年　須田　まひな

<研究のきっかけ>

私は「糸かけアート」が好きで，自分でも簡易版を作って楽しんでいます（図 1）。簡易版とは，工作用紙にコンパスで円を描いて切り取り，円周を等分する切り込みを入れて，糸をかけて模様を作るものです。円周を等分する際に分度器で測る作業が面倒なので，私は折り紙を使うことがあります。正方形の折り紙を，辺と辺が合うようにして半分に，また半分に，…と折って広げると，中心角を 2 等分，4 等分，8 等分，…する直線ができるので（図 2），工作用紙の円と中心を合わせて重ねれば，円周を（2 の n 乗）等分する点が分かります。また，「紋切り」で使われる折り方で，6 等分することもできます（図 3）。これをさらに半分に折れば 12 等分，さらに半分で 24 等分ができ，逆に元の 2 つ分を合わせれば 3 等分ができます。これで 2，3，4，6，8，12，16，24，32 等分ができると分かりますが，5，7，9，11，…等分の仕方が分かりません。（10 は 5 等分ができればその半分なので OK。）そこで，分度器を使わずに円周を 5，7，9，11，…等分するにはどうすればよいか調べてみたいと思いました。

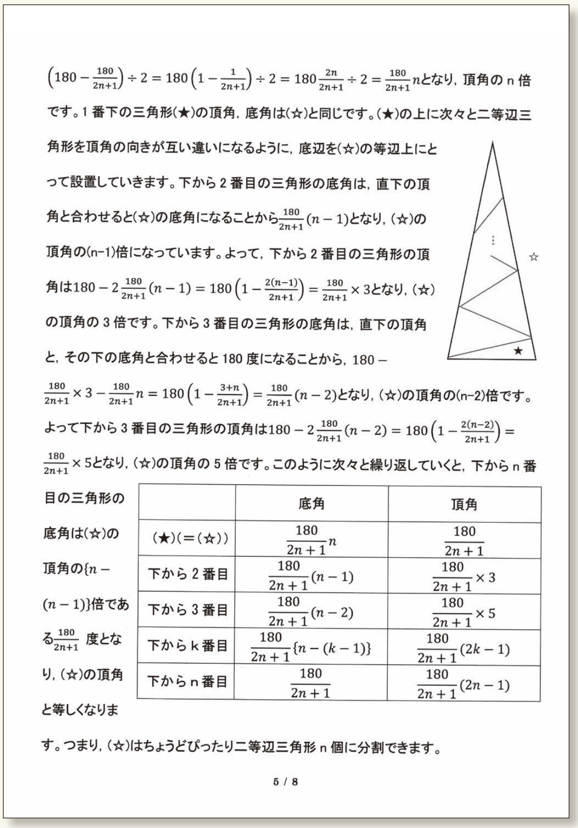
図 1

図 2

図 3

1 / 8

▲１ページ目



$\left(180-\frac{180}{2n+1}\right)\div 2=180\left(1-\frac{1}{2n+1}\right)\div 2=180\frac{2n}{2n+1}\div 2=\frac{180}{2n+1}n$となり，頂角の n 倍です。1 番下の三角形(★)の頂角，底角は(☆)と同じです。(★)の上に次々と二等辺三角形を頂角の向きが互い違いになるように，底辺を(☆)の等辺上にとって設置していきます。下から 2 番目の三角形の底角は，直下の頂角と合わせると(☆)の底角になることから$\frac{180}{2n+1}(n-1)$となり，(☆)の頂角の(n−1)倍になっています。よって，下から 2 番目の三角形の頂角は$180-2\frac{180}{2n+1}(n-1)=180\left(1-\frac{2(n-1)}{2n+1}\right)=\frac{180}{2n+1}\times 3$となり，(☆)の頂角の 3 倍です。下から 3 番目の三角形の底角は，直下の頂角と，その下の底角と合わせると 180 度になることから，$180-\frac{180}{2n+1}\times 3-\frac{180}{2n+1}n=180\left(1-\frac{3+n}{2n+1}\right)=\frac{180}{2n+1}(n-2)$となり，(☆)の頂角の(n−2)倍です。よって下から 3 番目の三角形の頂角は$180-2\frac{180}{2n+1}(n-2)=180\left(1-\frac{2(n-2)}{2n+1}\right)=\frac{180}{2n+1}\times 5$となり，(☆)の頂角の 5 倍です。このように次々と繰り返していくと，下から n 番目の三角形の底角は(☆)の頂角の$\{n-(n-1)\}$倍である$\frac{180}{2n+1}$ 度となり，(☆)の頂角と等しくなります。つまり，(☆)はちょうどぴったり二等辺三角形 n 個に分割できます。

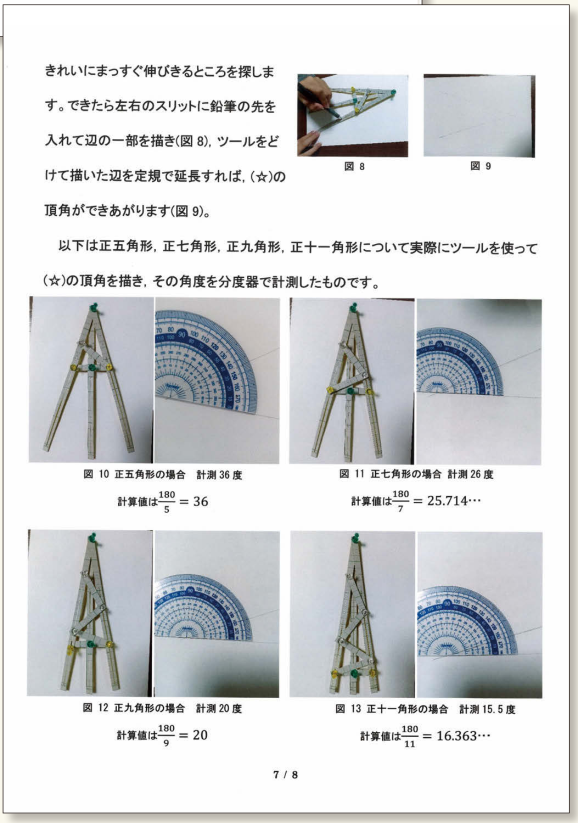
☆

★

| | 底角 | 頂角 |
|---|---|---|
| (★)(＝(☆)) | $\frac{180}{2n+1}n$ | $\frac{180}{2n+1}$ |
| 下から 2 番目 | $\frac{180}{2n+1}(n-1)$ | $\frac{180}{2n+1}\times 3$ |
| 下から 3 番目 | $\frac{180}{2n+1}(n-2)$ | $\frac{180}{2n+1}\times 5$ |
| 下から k 番目 | $\frac{180}{2n+1}\{n-(k-1)\}$ | $\frac{180}{2n+1}(2k-1)$ |
| 下から n 番目 | $\frac{180}{2n+1}$ | $\frac{180}{2n+1}(2n-1)$ |

5 / 8

▲5ページ目



きれいにまっすぐ伸びきるところを探します。できたら左右のスリットに鉛筆の先を入れて辺の一部を描き(図 8)，ツールをどけて描いた辺を定規で延長すれば，(☆)の頂角ができあがります(図 9)。

図 8　　図 9

以下は正五角形，正七角形，正九角形，正十一角形について実際にツールを使って(☆)の頂角を描き，その角度を分度器で計測したものです。

図 10 正五角形の場合　計測 36 度

計算値は$\frac{180}{5}=36$

図 11 正七角形の場合 計測 26 度

計算値は$\frac{180}{7}=25.714\cdots$

図 12 正九角形の場合　計測 20 度

計算値は$\frac{180}{9}=20$

図 13 正十一角形の場合　計測 15.5 度

計算値は$\frac{180}{11}=16.363\cdots$

7 / 8

▲7ページ目

## 講 評

中学生らしい，面白い幾何的な性質（たくさんの二等辺三角形）の発見に伴って，独自の道具を発明し，正奇数角形の内角を作り出す，という数学的かつ実践的で意外な発想です。これは使ってみたい！　糸かけアートでハンズオンで数学を感じ取り楽しんでいる彼女ならではの作品です。理論では，例えば正七角形は定規とコンパスだけでは“作図”できないのですが，なんと彼女の不思議コンパスを使えば（近似的に）正七角形が描けてしまうのはすごく面白いです。

中央審査委員会

# 塩野直道賞
## 高等学校の部

# 重回帰分析による熱中症の危険予測と部活動の在り方

奈良県　奈良女子大学附属中等教育学校 ４年　北村　優季

全 10 ページ

重回帰分析による熱中症の危険予測と部活動の在り方

奈良女子大学附属中等教育学校4年 北村 優季

1. 研究の動機と目的

昨年度の自由研究では、自宅の各部屋における気温や湿度を測定して不快指数を計算することで、どの部屋が最も快適かを調べるとともに、その快適度を高める方法について検討した。その結果、同じ家の中でも部屋の環境や外の天候によって快適度に違いがあること、また、その違いが体感にも大きく影響することが分かった。この研究を通して、気温や湿度などの気象条件と熱中症の結びつきを強く意識するようになった。

2025 年の夏も異常に暑く、7 月末には兵庫県丹波市で気象庁が認定する日本史上最高の 41.2°C を記録した。その一週間後の 8 月初めには群馬県伊勢崎市で 41.8°C を記録し、わずか一週間で記録が塗り替えられた。全国では軒並み 35.0°C 以上の猛暑日を記録している。各地で熱中症警戒アラートが発表され、熱中症対策を呼びかける報道が頻繁になされているように、熱波による健康被害は深刻な状況となっている。特に、学校での部活動は炎天下での練習や蒸し暑い体育館での活動が中心となるため、熱中症のリスクは非常に高い。

熱中症の発生には、単に気温だけでなく、湿度、日照時間、風速など、様々な気象条件が複雑に関係していると言われているが、どのような気象条件の時に熱中症リスクがどの程度あるのかは感覚的にイメージがしにくい。また、熱中症の危険度を測る指標には WBGT(湿球黒球温度、Wet-Bulb Globe Temperature)があるが、これは正確な数値を出すためには専用の計測器が必要であり、高校生の私たちが身近に危険を察知することは難しい。報道でよく耳にする熱中症警戒アラートも「○月○日に××県」と発表されるが、その日のどの時間にどの場所が危険なのかは詳細には分からない。そこで、本研究では高校生の私たちが感覚的にイメージしやすく、手軽で複雑になりすぎない新たな指標「熱中症危険指数」を開発することを目的とする。そこで、熱中症による救急搬送者数(以下、熱中症の搬送者数とする)と気象要因との関係性について統計的手法を用いて定量的に分析し、熱中症の搬送者数(予測値)を求めるモデルを構築する。そして、その予測値を区分化し、「熱中症危険指数」を提案する。

重回帰分析における説明変数には簡単に計測できることと、体感から危険を察知しやすいことを重視し、「不快指数」と「天気」の 2 つを加えたモデルで説明したいと考える。不快指数は気温と湿度が分かれば計算式で求めることができ、不快かどうかは体感でイメージしやすいため手軽で分かりやすい。天気についても、「晴」や「曇り」や「雨」は身近で分かりやすい。多少、モデルの適合度が落ちたとしても、誰もがイメージしやすい変数を用いて危険を察知できる方がよいと考える。その他の変数については、「不快指数」と「天気」に加えてあてはまりがよい要因を探すこととする。なお、気象条件については国土交通省気象庁が公開している日別のデータ、熱中症の搬送者数については総務省消防庁が公開している日別のデータおよび、奈良市消防局から提供いただいた日別のデータを用いて分析を行う。

そして、重回帰分析の結果から導出した熱中症の搬送者数予測モデルに、学校の体育館や武道場で計測した実際のデータを入力して予測値を求めることで熱中症リスクを推測する。最終的に、高校での部活動の在り方について、特に活動時間や場所の工夫といった視点から提案を行いたい。

2. 奈良市における月別の気温と熱中症搬送者数の経年変化

2022 年から 2024 年については 5 月から 9 月、2025 年は 5 月から 7 月における奈良市の平均気温と、熱中症の搬送者数を表 1 に整理する。平均気温は気象庁の Web ページに公開されているデータを、熱中症の搬送者数については奈良市消防局救急課からいただいたデータを用いた。まず、5 月から 9 月における平均気温はどの年も 8 月が最も暑く、続いて 7 月、9 月、6 月、5 月の順に高い。各年で見ると、暑さが厳しい 7 月、8 月、9 月は年々暑くなる傾向がある。特に 9 月は調べた 3 年間で平均気温が 2.3 度も上昇していて、さらなる温暖化が懸念される。

1

▲1ページ目

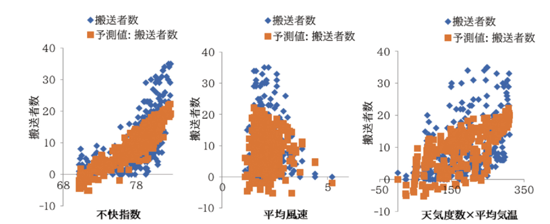



図 2 不快指数の観測値グラフ　図 3 平均風速の観測値グラフ　図 4 天気度数×平均気温の観測値グラフ

重回帰分析の結果とグラフから、次のことが分かった。

(1)不快指数と熱中症の搬送者数との関係:

・正の相関が最も顕著で、不快指数が高まると熱中症の搬送者数が増加する

・不快指数が 1 増加すると、搬送者数は平均で 1.49 人増加することが分かる

(2)平均風速と熱中症の搬送者数との関係:

・グラフでは局所的に予測値と観測値にズレが見られるが、全体的な傾向としては負の相関がみられるので、風が強ければ搬送者数が少なく熱中症リスクが低下すると言える

・風速が 1.0～2.5m/s あたりで搬送者数が多く、風速が 3.0m/s を超えると搬送者数は減少する

・平均風速が 1 m/s 上がると、搬送者数が約 2.04 人減少する

(3)天気度数×平均気温と熱中症の搬送者数との関係:

・正の相関があるため、晴れていて暑い日ほど搬送者数も増加する傾向がある

・観測値と予測値のどちらもに同じような傾向が見られる

・雨の日は気温も下がるため、熱中症のリスクは低下する

・この値が 1 増えると、搬送者数が約 0.03 人増加する

よって、このモデルにより不快指数、風速、気温×天気度数が熱中症による搬送者数に影響を与えることが分かった。特に不快指数は最も影響が大きく、警戒すべき指標として用いることに有効であると考える。また、風速はこのモデルでは唯一の負の相関であり熱中症の予防に効果的であると言える。例えば、大型扇風機の設置などの風通しの確保に活用することが考えられる。

3.3 熱中症危険指数の作成

本研究で導出した搬送者数(予測値)モデルを用いて、熱中症の危険度を判断するための「熱中症危険指数」を作成する。なお、気温や湿度、風速、天気については平均ではなく、その時間における数値を用いることとする。

熱中症危険指数＝−107.5819＋1.4946×不快指数−2.0475×風速＋0.0307×(天気度数×気温)

作成した熱中症危険指数の区分を図5に示す。熱中症危険指数の区分を作成するにあたり、まず想定される最も悪い条件(不快指数 90、風速0.0m/s、天気度数 10、気温 38℃)をモデルに代入すると予測値は 38.6 であった。

5

▲5ページ目

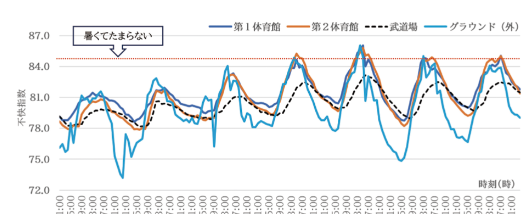



図 11 不快指数の変化(8 月 10 日から 8 月 16 日)

4.3 熱中症危険度の予測

計測した各場所のデータから、本研究で作成した「熱中症危険指数(3.3 参照)」を用いて熱中症危険度を求めた。不快指数は計測した気温と湿度から計算し、天気度数と風速は気象庁(奈良市)における1時間ごとのデータを活用した。ただし、屋内(第1体育館、第 2 体育館、武道場)の場合の風速は0.0m/sとした。8 月 10 日から 8 月 16 日における各場所の熱中症危険度は表6のとおりである。

表6 各場所における熱中症危険度(8 月 10 日から 8 月 16 日)

| 8月10日 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第１体育館 | 15.1 | 11.3 | 16.3 | 17.2 | 17.6 | 13.2 | 13.5 | 13.7 | 14.2 | 13.8 | 13.9 | 18.3 | 13.6 | 13.4 | 13.1 | 13.0 | 12.9 |
| 第２体育館 | 13.2 | 9.5 | 13.6 | 13.6 | 15.5 | 11.7 | 12.1 | 12.6 | 12.9 | 12.8 | 13.0 | 17.8 | 13.1 | 12.7 | 11.9 | 11.4 | 11.3 |
| 武道場 | 13.8 | 9.5 | 13.9 | 14.0 | 14.0 | 10.4 | 10.7 | 11.2 | 11.3 | 11.6 | 11.6 | 16.2 | 11.7 | 11.8 | 11.6 | 11.5 | 11.4 |
| グランド（外） | 7.1 | 4.0 | 10.6 | 13.2 | 8.2 | 4.3 | 3.3 | 0.8 | 3.1 | 5.2 | 5.2 | 8.3 | 3.1 | 4.0 | 4.8 | 7.3 | 2.1 |

| 8月11日 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第１体育館 | 14.5 | 14.7 | 10.9 | 15.9 | 16.8 | 17.1 | 18.3 | 19.2 | 19.1 | 19.2 | 14.9 | 14.5 | 18.7 | 13.8 | 13.2 | 17.5 | 17.1 |
| 第２体育館 | 13.1 | 12.9 | 9.0 | 13.1 | 14.1 | 16.2 | 17.6 | 18.9 | 18.9 | 18.7 | 14.5 | 14.0 | 17.9 | 13.1 | 12.3 | 16.5 | 16.1 |
| 武道場 | 13.7 | 13.5 | 9.3 | 13.5 | 13.7 | 14.5 | 15.6 | 17.3 | 17.4 | 17.0 | 12.6 | 12.6 | 16.8 | 12.3 | 12.1 | 16.3 | 16.1 |
| グランド（外） | 2.4 | 8.1 | 3.8 | 10.7 | 15.0 | 14.6 | 13.8 | 15.7 | 8.5 | 9.2 | 3.3 | 2.9 | 10.5 | 4.1 | 4.0 | 10.2 | 12.6 |

| 8月12日 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第１体育館 | 15.7 | 15.6 | 15.9 | 16.0 | 16.0 | 17.4 | 18.1 | 19.0 | 20.3 | 21.2 | 16.7 | 17.0 | 21.1 | 20.5 | 19.4 | 14.3 | 17.9 |
| 第２体育館 | 14.5 | 14.5 | 14.7 | 14.8 | 14.8 | 16.1 | 17.4 | 18.5 | 20.2 | 21.2 | 16.8 | 16.8 | 21.1 | 20.2 | 19.6 | 14.2 | 18.1 |
| 武道場 | 14.9 | 14.9 | 14.7 | 14.7 | 15.0 | 15.6 | 15.7 | 15.9 | 16.7 | 17.0 | 13.0 | 13.4 | 18.2 | 18.1 | 18.2 | 13.4 | 17.4 |
| グランド（外） | 10.3 | 10.6 | 10.4 | 11.0 | 5.1 | 9.9 | 11.9 | 9.0 | 16.1 | 16.4 | 5.7 | 10.0 | 13.0 | 13.7 | 11.4 | 7.3 | 12.6 |

| 8月13日 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第１体育館 | 16.5 | 16.6 | 16.9 | 17.1 | 18.4 | 19.8 | 20.4 | 21.1 | 22.7 | 22.6 | 24.0 | 22.8 | 23.0 | 22.1 | 21.1 | 20.5 | 19.9 |
| 第２体育館 | 15.5 | 15.3 | 15.6 | 16.5 | 17.6 | 19.3 | 20.5 | 21.8 | 22.5 | 23.9 | 24.9 | 24.3 | 24.1 | 23.1 | 21.7 | 21.0 | 20.4 |
| 武道場 | 15.3 | 15.4 | 15.2 | 15.3 | 15.6 | 15.6 | 16.4 | 17.1 | 17.8 | 18.6 | 19.5 | 19.7 | 20.2 | 20.4 | 20.1 | 19.9 | 19.5 |
| グラウンド(外) | 11.7 | 11.9 | 12.9 | 13.3 | 17.3 | 15.8 | 15.6 | 20.1 | 17.9 | 19.4 | 17.2 | 17.3 | 15.0 | 18.0 | 16.9 | 17.4 | 14.8 |

| 8月14日 | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第１体育館 | 21.6 | 21.5 | 22.4 | 24.0 | 26.1 | 22.1 | 22.8 | 28.2 | 30.2 | 30.7 | 31.6 | 18.0 | 23.9 | 23.0 | 21.6 | 20.7 | 24.4 |
| 第２体育館 | 20.6 | 20.2 | 20.9 | 22.0 | 24.0 | 21.4 | 22.8 | 28.9 | 29.5 | 30.3 | 31.1 | 19.6 | 24.7 | 23.9 | 22.7 | 21.6 | 25.4 |
| 武道場 | 21.0 | 20.7 | 20.9 | 20.9 | 21.1 | 17.5 | 18.0 | 23.7 | 24.4 | 25.0 | 25.8 | 16.7 | 21.2 | 21.1 | 20.7 | 20.3 | 24.4 |
| グラウンド(外) | 15.2 | 16.2 | 18.5 | 19.4 | 21.4 | 17.9 | 18.3 | 23.3 | 24.2 | 26.7 | 22.6 | 7.3 | 16.5 | 14.6 | 14.9 | 13.8 | 16.2 |

8

▲8ページ目

## 講 評

熱中症の危険予測について，気象要因（不快指数，天気度数（作者が定義））を説明変数とする重回帰分析を用いてうまくモデル化しています。実用上も有用な分析と考えられ，また，レポートもうまくまとまっています。その昔，超有名数学者ガウスが作った最小二乗法は，二百年後の現代においても生き続けています。

中央審査委員会

**文部科学大臣賞**

# 未来を変える教育支援 ー世界人口とGDP(国内総生産)から考えるー

鹿児島県　鹿児島大学教育学部附属中学校 ３年　森山 幸菜

全８ページ

研究テーマ(タイトル)

未来を変える教育支援
―世界人口とGDP(国内総生産)から考える―

鹿児島大学教育学部附属中学校　3年　名前　森山　幸菜

1. 探究の動機

質の高い教育をみんなに。これは国連が掲げる持続可能な開発目標(SDGs)の目標の一つです。世界には今も、学校に通えない子どもたちが約2億4千万人いるとされています。その背景には貧困、紛争、ジェンダー格差、地域格差などさまざまな要因があり、教育を受けることすら困難な子どもが多くいることを知りました。一方、世界の人口は2025年に82億人を突破し、今後も増加が続くと予測されています。急増する若年層に対して教育機会を確保することは、持続可能な未来を築く上で欠かせません。私も中学生として教育を受けている中、このような時代を生きる私達はどのようなことができるのか、どのような心がけが必要なのか、知りたいなと思いました。

2.探究の方法や内容

(1)散布図と割合の計算を使って分析する

①指数関数を使って「人口の未来予測モデル」を計算する。
②教育年数とGDPの関係を散布図で可視化する。
③教育年数と出生率の関係を散布図で分析する。
→教育が必要な理由を見い出す。

(2)仮想の2つのモデルを作って比較する

モデルA:教育支援がない社会　モデルB:教育支援が進んだ社会
→ それぞれの社会で成長率 r の数字を変え、将来の人口やGDPを数値でシミュレーションをし、分析して考える。

▲1 ページ目

(3)教育政策の費用の効果を調べる

(2)でモデル化した社会を基に、教育支援に使った費用が将来のGDPや社会の利益としてどれだけ返ってくるかを投資収益率(ROI)と指数関数モデルを使って数値化し、比較する。

3.探究の内容・結果

(1) ①世界の人口推移を調べる

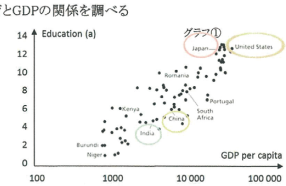
・2025年時点の世界人口は、約80億人。
・人口増加を指数関数モデルで計算し、2100年の人口はどのくらいなのか調べる。

→人口増加指数関数の式である <u>P(t)=P₀×(1+r)</u> に、

$P_0$=80億人、年成長率 r = 0.009、期間 t = 75年を代入すると、

P(75)=80×(1.009)75＝80×1.31=**<u>104.8億人</u>**

②教育とGDPの関係を調べる




…日本
…イギリス
…中国
…インド

→教育を受けた年数が長い国ほど、**<u>一人あたりの経済水準が高い</u>**傾向にある　ことがわかる。

特に、発展途上国ではGDPと教育との関係はより強いことがわかる。

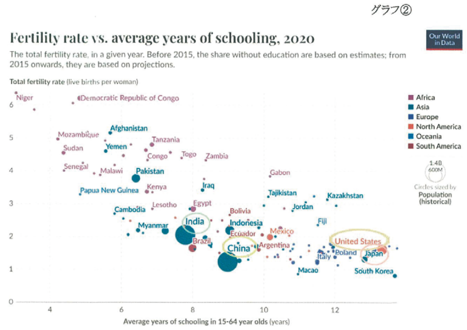
2

▲2ページ目

(先進国と比べて)

③ 教育と出生率の関係を調べる

グラフ②




…日本　…イギリス　…中国　…インド

(2) 仮想モデルを用いて教育支援の効果を計算・比較

○モデルA(教育支援なし)

$$r=\left(\frac{75}{80}\right)^{\frac{1}{75}}-1=(3.2)^{\frac{1}{75}}-1 = 1.015-1 = 0.015$$

→成長率 r = 0.015

3

▲3ページ目

## 講 評

世界には教育を受ける機会が与えられない子供が多くいることを憂いたことをきっかけに，その解決に向けた分析および社会モデルの比較によるシミュレーションを行った研究です。世界人口の抑制と教育への投資の関係を分析するために，指数関数モデルである人口の未来予測モデルおよび教育支援の有無の２つのモデルを用いて教育政策の費用効果を分析しています。モデル構築のシンプルさおよび経済指標（GDP）を加味した的確な考察の導出が評価できます。

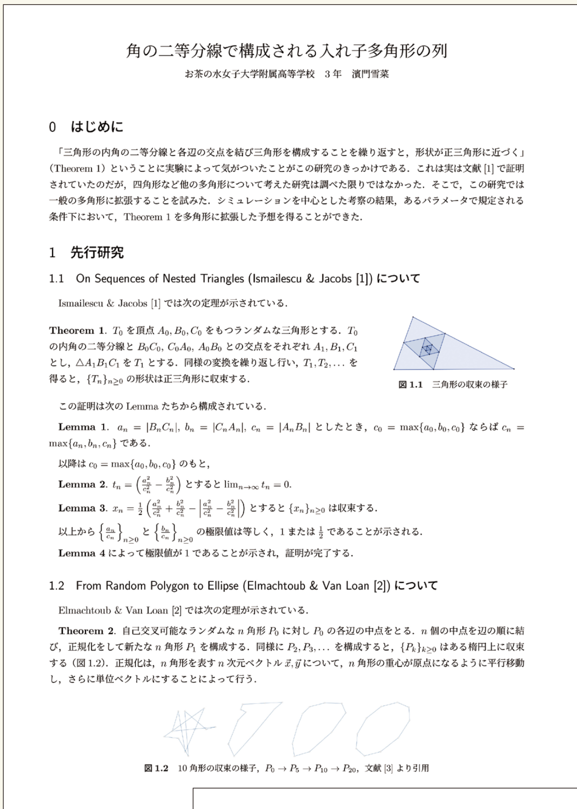
中央審査委員会

## Rimse 理事長賞

# 角の二等分線で構成される入れ子多角形の列

東京都　お茶の水女子大学附属高等学校 ３年　濱門 雪菜

全 10 ページ



角の二等分線で構成される入れ子多角形の列

お茶の水女子大学附属高等学校 3年 濱門雪菜

0 はじめに

「三角形の内角の二等分線と各辺の交点を結び三角形を構成することを繰り返すと，形状が正三角形に近づく」(Theorem 1) ということに実験によって気がついたことがこの研究のきっかけである．これは実は文献 [1] で証明されていたのだが，四角形など他の多角形について考えた研究は調べた限りではなかった．そこで，この研究では一般の多角形に拡張することを試みた．シミュレーションを中心とした考察の結果，あるパラメータで規定される条件下において，Theorem 1 を多角形に拡張した予想を得ることができた．

1 先行研究

1.1 On Sequences of Nested Triangles (Ismailescu & Jacobs [1]) について

Ismailescu & Jacobs [1] では次の定理が示されている．

**Theorem 1.** $T_0$ を頂点 $A_0, B_0, C_0$ をもつランダムな三角形とする．$T_0$ の内角の二等分線と $B_0C_0$, $C_0A_0$, $A_0B_0$ との交点をそれぞれ $A_1, B_1, C_1$ とし，$\triangle A_1B_1C_1$ を $T_1$ とする．同様の変換を繰り返し行い，$T_1, T_2, \ldots$ を得ると，$\{T_n\}_{n\geq 0}$ の形状は正三角形に収束する．

図 1.1 三角形の収束の様子

この証明は次の Lemma たちから構成されている．

**Lemma 1.** $a_n = |B_nC_n|$, $b_n=|C_nA_n|$, $c_n=|A_nB_n|$ としたとき，$c_0=\max\{a_0,b_0,c_0\}$ ならば $c_n=\max\{a_n,b_n,c_n\}$ である．

以降は $c_0=\max\{a_0,b_0,c_0\}$ のもと，

**Lemma 2.** $t_n = \left(\frac{a_n^2}{c_n^2}-\frac{b_n^2}{c_n^2}\right)$ とすると $\lim_{n\to\infty} t_n = 0$.

**Lemma 3.** $x_n = \frac12\left(\frac{a_n^2}{c_n^2}+\frac{b_n^2}{c_n^2}-\left|\frac{a_n^2}{c_n^2}-\frac{b_n^2}{c_n^2}\right|\right)$ とすると $\{x_n\}_{n\geq0}$ は収束する．

以上から $\left\{\frac{a_n}{c_n}\right\}_{n\geq0}$ と $\left\{\frac{b_n}{c_n}\right\}_{n\geq0}$ の極限値は等しく，1 または $\frac12$ であることが示される．

**Lemma 4** によって極限値が 1 であることが示され，証明が完了する．

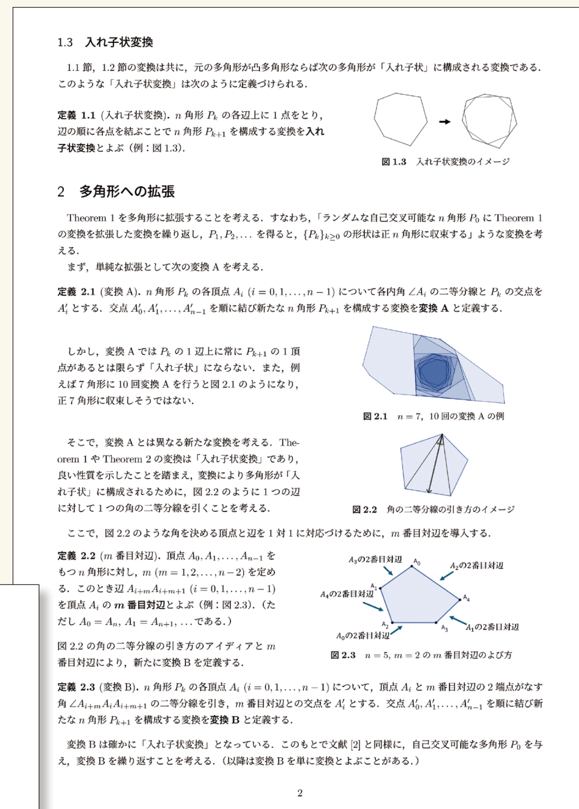
1.2 From Random Polygon to Ellipse (Elmachtoub & Van Loan [2]) について

Elmachtoub & Van Loan [2] では次の定理が示されている．

**Theorem 2.** 自己交叉可能なランダムな $n$ 角形 $P_0$ に対し $P_0$ の各辺の中点をとる．$n$ 個の中点を辺の順に結び，正規化をして新たな $n$ 角形 $P_1$ を構成する．同様に $P_2, P_3, \ldots$ を構成すると，$\{P_k\}_{k\geq0}$ はある楕円上に収束する（図 1.2）．正規化は，$n$ 角形を表す $n$ 次元ベクトル $\vec{x}, \vec{y}$ について，$n$ 角形の重心が原点になるように平行移動し，さらに単位ベクトルにすることによって行う．

図 1.2 10 角形の収束の様子，$P_0\to P_5\to P_{10}\to P_{20}$，文献 [3] より引用

▲１ページ目



1.3 入れ子状変換

1.1 節，1.2 節の変換は共に，元の多角形が凸多角形ならば次の多角形が「入れ子状」に構成される変換である．このような「入れ子状変換」は次のように定義づけられる．

**定義 1.1** (入れ子状変換). $n$ 角形 $P_k$ の各辺上に 1 点をとり，辺の順に各点を結ぶことで $n$ 角形 $P_{k+1}$ を構成する変換を**入れ子状変換**とよぶ（例：図 1.3）．

図 1.3 入れ子状変換のイメージ

2 多角形への拡張

Theorem 1 を多角形に拡張することを考える．すなわち，「ランダムな自己交叉可能な $n$ 角形 $P_0$ に Theorem 1 の変換を拡張した変換を繰り返し，$P_1, P_2, \ldots$ を得ると，$\{P_k\}_{k\geq0}$ の形状は正 $n$ 角形に収束する」ような変換を考える．

まず，単純な拡張として次の変換 A を考える．

**定義 2.1** (変換 A). $n$ 角形 $P_k$ の各頂点 $A_i$ $(i=0,1,\ldots,n-1)$ について各内角 $\angle A_i$ の二等分線と $P_k$ の交点を $A_i'$ とする．交点 $A_0', A_1', \ldots, A_{n-1}'$ を順に結び新たな $n$ 角形 $P_{k+1}$ を構成する変換を**変換 A** と定義する．

しかし，変換 A では $P_k$ の 1 辺上に常に $P_{k+1}$ の 1 頂点があるとは限らず「入れ子状」にならない．また，例えば 7 角形に 10 回変換 A を行うと図 2.1 のようになり，正 7 角形に収束しそうではない．

図 2.1 $n=7$，10 回の変換 A の例

そこで，変換 A とは異なる新たな変換を考える．Theorem 1 や Theorem 2 の変換は「入れ子状変換」であり，良い性質を示したことを踏まえ，変換により多角形が「入れ子状」に構成されるために，図 2.2 のように 1 つの辺に対して 1 つの角の二等分線を引くことを考える．

図 2.2 角の二等分線の引き方のイメージ

ここで，図 2.2 のような角を決める頂点と辺を 1 対 1 に対応づけるために，$m$ 番目対辺を導入する．

**定義 2.2** ($m$ 番目対辺). 頂点 $A_0, A_1, \ldots, A_{n-1}$ をもつ $n$ 角形に対し，$m$ $(m=1,2,\ldots,n-2)$ を定める．このとき辺 $A_{i+m}A_{i+m+1}$ $(i=0,1,\ldots,n-1)$ を頂点 $A_i$ の **$m$ 番目対辺**とよぶ（例：図 2.3）．（ただし $A_0=A_n$, $A_1=A_{n+1}, \ldots$ である．）

図 2.3 $n=5$, $m=2$ の $m$ 番目対辺のよび方

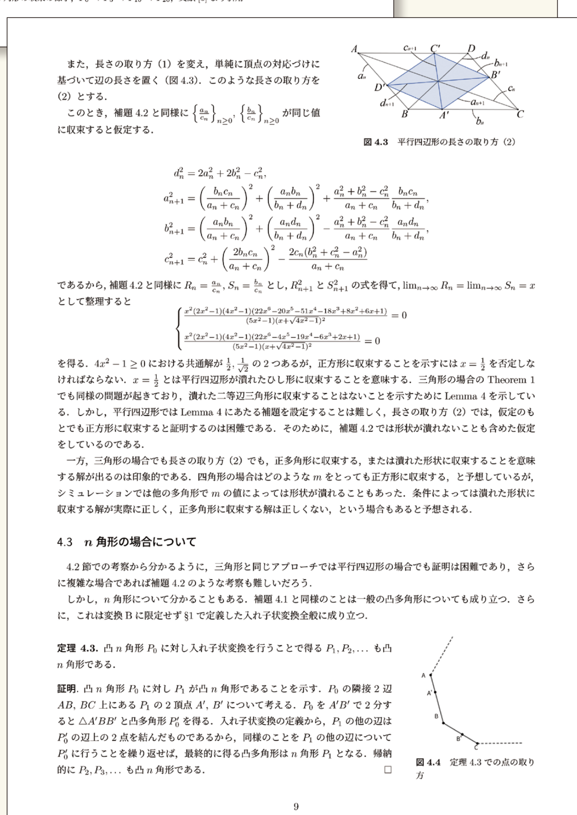
図 2.2 の角の二等分線の引き方のアイディアと $m$ 番目対辺により，新たに変換 B を定義する．

**定義 2.3** (変換 B). $n$ 角形 $P_k$ の各頂点 $A_i$ $(i=0,1,\ldots,n-1)$ について，頂点 $A_i$ と $m$ 番目対辺の 2 端点がなす角 $\angle A_{i+m}A_iA_{i+m+1}$ の二等分線を引き，$m$ 番目対辺との交点を $A_i'$ とする．交点 $A_0', A_1', \ldots, A_{n-1}'$ を順に結び新たな $n$ 角形 $P_{k+1}$ を構成する変換を**変換 B** と定義する．

変換 B は確かに「入れ子状変換」となっている．このもとで文献 [2] と同様に，自己交叉可能な多角形 $P_0$ を与え，変換 B を繰り返すことを考える．（以降は変換 B を単に変換とよぶことがある．）

2

▲2ページ目



また，長さの取り方 (1) を変え，単純に頂点の対応づけに基づいて辺の長さを置く（図 4.3）．このような長さの取り方を (2) とする．

このとき，補題 4.2 と同様に $\left\{\frac{a_n}{c_n}\right\}_{n\geq0}$, $\left\{\frac{b_n}{c_n}\right\}_{n\geq0}$ が同じ値に収束すると仮定する．

図 4.3 平行四辺形の長さの取り方 (2)

$$d_n^2 = 2a_n^2+2b_n^2-c_n^2,$$
$$a_{n+1}^2 = \left(\frac{b_nc_n}{a_n+c_n}\right)^2+\left(\frac{a_nb_n}{b_n+d_n}\right)^2+\frac{a_n^2+b_n^2-c_n^2}{a_n+c_n}\frac{b_nc_n}{b_n+d_n},$$
$$b_{n+1}^2 = \left(\frac{a_nb_n}{a_n+c_n}\right)^2+\left(\frac{a_nd_n}{b_n+d_n}\right)^2-\frac{a_n^2+b_n^2-c_n^2}{a_n+c_n}\frac{a_nd_n}{b_n+d_n},$$
$$c_{n+1}^2 = c_n^2+\left(\frac{2b_nc_n}{a_n+c_n}\right)^2-\frac{2c_n(b_n^2+c_n^2-a_n^2)}{a_n+c_n}$$

であるから，補題 4.2 と同様に $R_n=\frac{a_n}{c_n}$, $S_n=\frac{b_n}{c_n}$ とし，$R_{n+1}^2$ と $S_{n+1}^2$ の式を得て，$\lim_{n\to\infty} R_n = \lim_{n\to\infty} S_n = x$ として整理すると

$$\begin{cases} \frac{x^2(2x^2-1)(4x^2-1)(22x^6-20x^5-51x^4-18x^3+8x^2+6x+1)}{(5x^2-1)(x+\sqrt{4x^2-1})^2}=0 \\ \frac{x^2(2x^2-1)(4x^2-1)(22x^6-4x^5-19x^4-6x^3+2x+1)}{(5x^2-1)(x+\sqrt{4x^2-1})^2}=0 \end{cases}$$

を得る．$4x^2-1\geq0$ における共通解が $\frac12, \frac{1}{\sqrt2}$ の 2 つあるが，正方形に収束することを示すには $x=\frac12$ を否定しなければならない．$x=\frac12$ とは平行四辺形が潰れたひし形に収束することを意味する．三角形の場合の Theorem 1 でも同様の問題が起きており，潰れた二等辺三角形に収束することはないことを示すために Lemma 4 を示している．しかし，平行四辺形では Lemma 4 にあたる補題を設定することは難しく，長さの取り方 (2) では，仮定のもとでも正方形に収束すると証明するのは困難である．そのために，補題 4.2 では形状が潰れないことも含めた仮定をしているのである．

一方，三角形の場合でも長さの取り方 (2) でも，正多角形に収束する，または潰れた形状に収束することを意味する解が出るのは印象的である．四角形の場合はどのような $m$ をとっても正方形に収束すると予想しているが，シミュレーションでは他の多角形で $m$ の値によっては形状が潰れることもあった．条件によっては潰れた形状に収束する解が実際に正しく，正多角形に収束する解は正しくない，という場合もあると予想される．

4.3 $n$ 角形の場合について

4.2 節での考察から分かるように，三角形と同じアプローチでは平行四辺形の場合でも証明は困難であり，さらに複雑な場合であれば補題 4.2 のような考察も難しいだろう．

しかし，$n$ 角形について分かることもある．補題 4.1 と同様のことは一般の凸多角形についても成り立つ．さらに，これは変換 B に限定せず §1 で定義した入れ子状変換全般に成り立つ．

**定理 4.3.** 凸 $n$ 角形 $P_0$ に対し入れ子状変換を行うことで得る $P_1, P_2, \ldots$ も凸 $n$ 角形である．

**証明.** 凸 $n$ 角形 $P_0$ に対し $P_1$ が凸 $n$ 角形であることを示す．$P_0$ の隣接 2 辺 $AB$, $BC$ 上にある $P_1$ の 2 頂点 $A'$, $B'$ について考える．$P_0$ を $A'B'$ で 2 分すると $\triangle A'BB'$ と凸多角形 $P_0'$ を得る．入れ子状変換の定義から，$P_1$ の他の辺は $P_0'$ の辺上の 2 点を結んだものであるから，同様のことを $P_1$ の他の辺について $P_0'$ に行うことを繰り返せば，最終的に得る凸多角形は $n$ 角形 $P_1$ となる．帰納的に $P_2, P_3, \ldots$ も凸 $n$ 角形である． □

図 4.4 定理 4.3 での点の取り方

9

▲9ページ目

## 講 評

「三角形の内角の二等分線と対辺の交点を結んだ三角形を繰り返して作ると正三角形に近づく」という結果を多角形に一般化することを試みた研究です。GeoGebraとPythonを用いたシミュレーションも取り入れ，得られた情報から予想を定式化し，その予想の部分的な証明を得た力作です。シミュレーションによって得られたデータのまとめ方も美しく，証明は余弦定理や極限値など高校数学を駆使したものですが，数学の研究として今後の発展も楽しみな作品です。

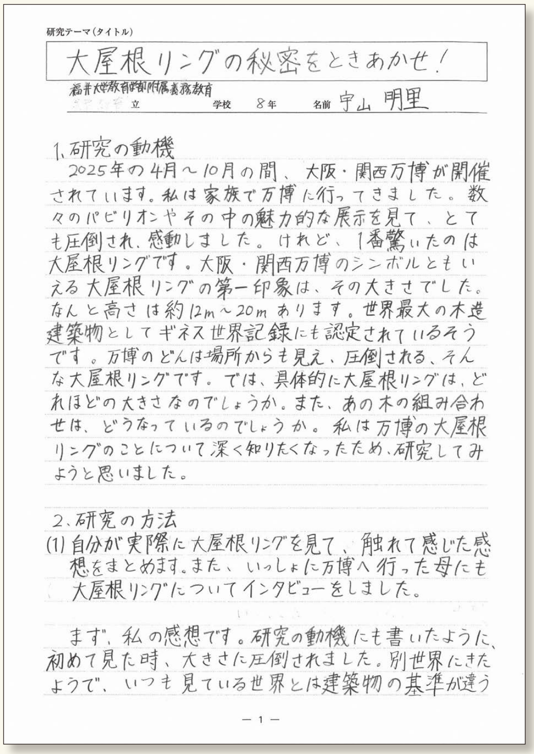
中央審査委員会

## 読売新聞社賞

## 大屋根リングの秘密をときあかせ！

福井県　福井大学教育学部附属義務教育学校 8 年　宇山 明里

全 10 ページ



研究テーマ（タイトル）

大屋根リングの秘密をときあかせ！

福井大学教育学部附属義務教育 立 学校 8 年 名前 宇山 明里

1. 研究の動機

2025年の4月～10月の間、大阪・関西万博が開催されています。私は家族で万博に行ってきました。数々のパビリオンやその中の魅力的な展示を見て、とても圧倒され、感動しました。けれど、1番驚いたのは大屋根リングです。大阪・関西万博のシンボルともいえる大屋根リングの第一印象は、その大きさでした。なんと高さは約12m～20mあります。世界最大の木造建築物としてギネス世界記録にも認定されているそうです。万博のどんな場所からも見え、圧倒される、そんな大屋根リングです。では、具体的に大屋根リングは、どれほどの大きさなのでしょうか。また、あの木の組み合わせは、どうなっているのでしょうか。私は万博の大屋根リングのことについて深く知りたくなったため、研究してみようと思いました。

2. 研究の方法

(1) 自分が実際に大屋根リングを見て、触れて感じた感想をまとめます。また、いっしょに万博へ行った母にも大屋根リングについてインタビューをしました。

まず、私の感想です。研究の動機にも書いたように、初めて見た時、大きさに圧倒されました。別世界にきたようで、いつも見ている世界とは建築物の基準が違う

― 1 ―

▲ 1 ページ目

### 講 評

大阪・関西万博で目玉となった大屋根リング。大屋根リングにまつわる数字はいろいろと公開されていますが，彼女はきちんと根拠となる数字を基に自分で計算を行い，計算の考え方も示しながら，いろんな関連数値（ネットでは公開されていないものを含む）を出していきます。改めて見ると，なるほど！と思う数値や建築構造について考えさせられることもたくさん。巨大建造物を多角的にとらえ直す，2025 年ならではの作品です。

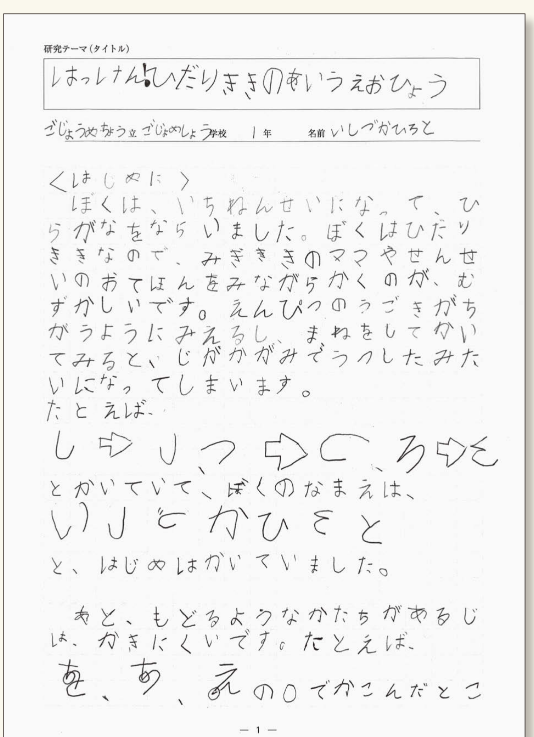
中央審査委員会

## 学研賞

## はっけん！ひだりききのあいうえおひょう

秋田県　五城目町立五城目小学校 1 年　石塚 仁翔

全 5 ページ



研究テーマ（タイトル）

はっけん！ひだりききのあいうえおひょう

ごじょうめちょう 立 ごじょうめしょう 学校 1 年 名前 いしづかひろと

<はじめに>

ぼくは、いちねんせいになって、ひらがなをならいました。ぼくはひだりききなので、みぎききのママやせんせいのおてほんをみながらかくのが、むずかしいです。えんぴつのうごきがちがうようにみえるし、まねをしてかいてみると、じがかがみでうつしたみたいになってしまいます。

たとえば、

し ⇨ J、つ ⇨ C、ろ ⇨ と

とかいていて、ぼくのなまえは、

いJどかひεと

と、はじめはかいていました。

あと、もどるようなかたちがあるじは、かきにくいです。たとえば、

を、あ、えのOでかこんだとこ

― 1 ―

▲ 1 ページ目

### 講 評

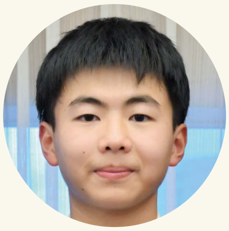
左利きの児童が「覚えにくい」「書きにくい」ひらがながあると感じたことを出発点とした研究です。各文字の「困難さ」を，「ぐちゃぐちゃ」（1 ～ 3 点），「戻るところがある」（0 または 2 点），「はねやはらいがある」（1 つにつき 1 点）の 3 つの観点から数値化した点に算数的な独創性があります。このように，観点別に重み付けを行って数値化する方法は，「おいしい」「かわいい」などの形容詞の度合いを比較する際にも応用できる考え方となっています。

中央審査委員会

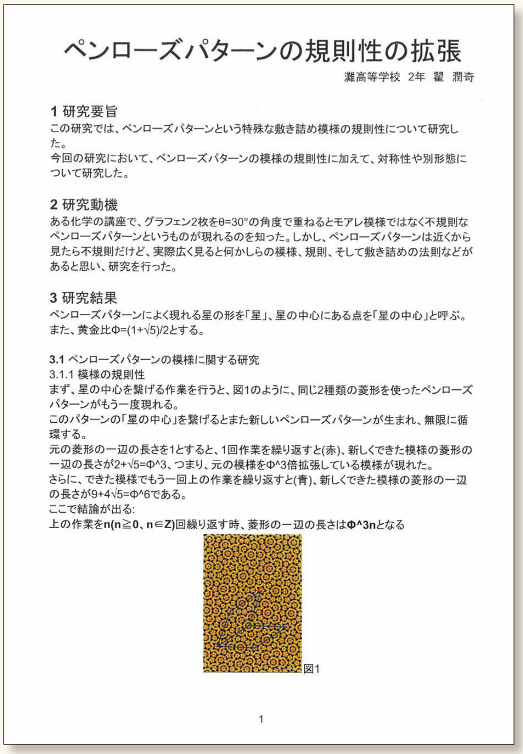
## 日本数学検定協会賞

### ペンローズパターンの規則性の拡張

兵庫県　灘高等学校 ２年　翟 潤奇



全８ページ



ペンローズパターンの規則性の拡張

灘高等学校　2年　翟　潤奇

1 研究要旨

この研究では、ペンローズパターンという特殊な敷き詰め模様の規則性について研究した。

今回の研究において、ペンローズパターンの模様の規則性に加えて、対称性や別形態について研究した。

2 研究動機

ある化学の講座で、グラフェン2枚をθ=30°の角度で重ねるとモアレ模様ではなく不規則なペンローズパターンというものが現れるのを知った。しかし、ペンローズパターンは近くから見たら不規則だけど、実際広く見ると何かしらの模様、規則、そして敷き詰めの法則などがあると思い、研究を行った。

3 研究結果

ペンローズパターンによく現れる星の形を「星」、星の中心にある点を「星の中心」と呼ぶ。

また、黄金比Φ=(1+√5)/2とする。

3.1 ペンローズパターンの模様に関する研究

3.1.1 模様の規則性

まず、星の中心を繋げる作業を行うと、図1のように、同じ2種類の菱形を使ったペンローズパターンがもう一度現れる。

このパターンの「星の中心」を繋げるとまた新しいペンローズパターンが生まれ、無限に循環する。

元の菱形の一辺の長さを1とすると、1回作業を繰り返すと(赤)、新しくできた模様の菱形の一辺の長さが2+√5=Φ^3、つまり、元の模様をΦ^3倍拡張している模様が現れた。

さらに、できた模様でもう一回上の作業を繰り返すと(青)、新しくできた模様の菱形の一辺の長さが9+4√5=Φ^6である。

ここで結論が出る:

上の作業をn(n≧0、n∈Z)回繰り返す時、菱形の一辺の長さはΦ^3nとなる

図1

1

▲１ページ目

### 講 評

化学の授業で知ったペンローズタイリングのいろいろな性質を調べています。ペンローズタイリングは非周期的なタイリングで，化学の観点からは準結晶のモデルです。非周期的ではありますが，その中に近似的に対称性，ある模様，規則，法則などが表れており，作者はそれらの一部を発見し，いろいろ考察を加えています。

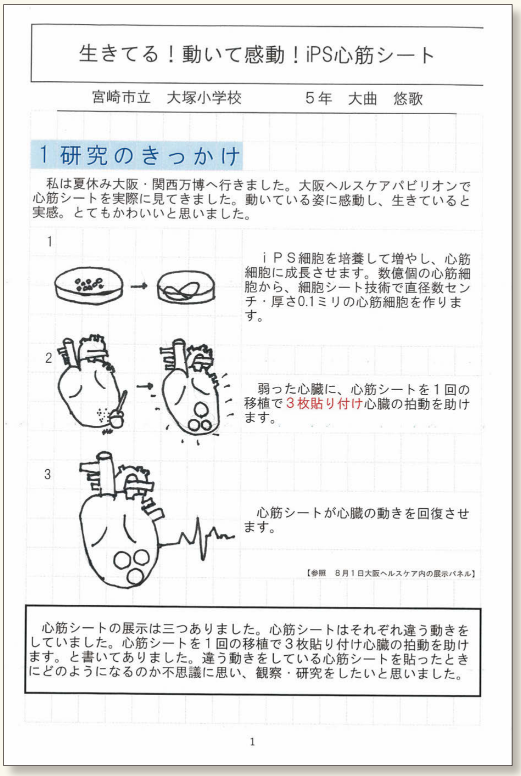
中央審査委員会

## 新学社賞

### 生きてる！　動いて感動！　iPS心筋シート

宮崎県　宮崎市立大塚小学校 ５年　大曲 悠歌

全５ページ



生きてる！動いて感動！iPS心筋シート

宮崎市立　大塚小学校　　　　５年　大曲　悠歌

1 研究のきっかけ

私は夏休み大阪・関西万博へ行きました。大阪ヘルスケアパビリオンで心筋シートを実際に見てきました。動いている姿に感動し、生きていると実感。とてもかわいいと思いました。

1

ｉＰＳ細胞を培養して増やし、心筋細胞に成長させます。数億個の心筋細胞から、細胞シート技術で直径数センチ・厚さ0.1ミリの心筋細胞を作ります。

2

弱った心臓に、心筋シートを１回の移植で３枚貼り付け心臓の拍動を助けます。

3

心筋シートが心臓の動きを回復させます。

【参照　８月１日大阪ヘルスケア内の展示パネル】

心筋シートの展示は三つありました。心筋シートはそれぞれ違う動きをしていました。心筋シートを１回の移植で３枚貼り付け心臓の拍動を助けます。と書いてありました。違う動きをしている心筋シートを貼ったときにどのようになるのか不思議に思い、観察・研究をしたいと思いました。

1

▲１ページ目

### 講 評

万博でiPS心筋細胞の鼓動を見た体験から生まれた「なぜ同じリズムになるのか」という疑問を出発点に，生体現象をトランポリンの動きへとモデル化して考えた点がたいへんすばらしい研究です。揺れの“位相（リズムのどの位置か）”が揃うまでの過程を人数ごとに調べ，変化が単純な比例ではない非線形ダイナミクスとして捉えている点は，大学数学にもつながる重要な視点です。実体験を数学で読み解こうとする探究心が光る優れた作品です。

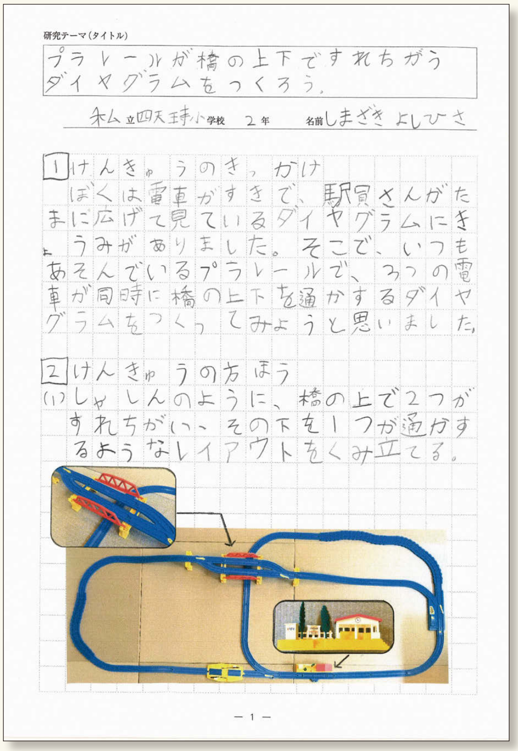
中央審査委員会

## 中央審査委員特別賞

## プラレールが橋の上下ですれちがうダイヤグラムをつくろう

大阪府　四天王寺小学校 ２年　島﨑 善悠

全５ページ


研究テーマ（タイトル）

プラレールが橋の上下ですれちがうダイヤグラムをつくろう。

私立四天王寺小学校　２年　名前しまざき よしひさ

1 けんきゅうのきっかけ

ぼくは電車がすきで、駅員さんがたまに広げて見ているダイヤグラムにきょうみがありました。そこで、いつもあそんでいるプラレールで、３つの電車が同時に橋の上下を通かするダイヤグラムをつくってみようと思いました。

2 けんきゅうの方ほう

(1) しゃしんのように、橋の上で２つがすれちがい、その下を１つが通かするようなレイアウトをくみ立てる。

－１－

▲１ページ目

### 講評

この作品では，プラレールで作った路線にある陸橋で３台の電車が同時にすれちがうダイヤグラムを作ることにチャレンジしました。そのために，電車を２つずつ組にして速度や出発時刻を調整し，その結果を合わせて，３つの電車のダイヤグラムを作りました。そのダイヤグラムでは列車に相当する３本の直線がみごとに１点で交わります。自分が計画したとおりに，３台の電車がすれちがうのを見たときにはきっと感動したことでしょう。

中央審査委員会

## 中央審査委員特別賞

## 手作り測量機で地図を作る 自分だけの『オリジナル伊能図』を作ってみよう！

愛知県　名古屋市立表山小学校 ６年　溝渕 結彩

全５ページ


手作り測量機で地図を作る

自分だけの『オリジナル伊能図』を作ってみよう！

名古屋市立表山小学校　6年　溝渕　結彩

はじめに

小さいときに伊能忠敬の学習漫画を読んでいたので地図を作った人だとは知っていた。母から伊能忠敬記念館があると聞き、いつか行きたいと思っていたので、今年の５月の長期連休に行くことになった。行く前に伊能隊を題材にした「大河への道」という映画をみて、地図作りへの情熱に感動したことと、伊能忠敬記念館で本物の伊能図をみて、徒歩でそんなに正確な地図が作れるのか気になり、自分も家の周りの地図を作ってみることにした。

| No | 伊能隊の道具 | 伊能隊の測量方法 | 自分で用意したもの |
|---|---|---|---|
| ① | 梵天<br>・測量地点の目印 | 導線法<br>計測したい場所に沿って距離と方位を測りながら前進する測量法<br>導線法　梵天 | 虫取り網 |
| 2 | 鉄鎖<br>・長さを測る | | 自分の1歩の平均の長さ、5mメジャー |
| 3 | 半円方位盤<br>・方角を測る<br>杖先方位盤<br>・コンパス<br>・水平器 | 測ている騎　北か南 | 自作の半円方位盤と杖先方位盤を合わせたもの<br>コンパスと水平器を取り付け<br>紐の先にに五円玉をつける芯は方角を確認するため |

1

▲１ページ目

### 講評

作者は伊能忠敬博物館を訪れ，伊能の地図づくりに興味をもちました。伊能が用いた測量の道具を自分の身の回りにある素材で作成し，実際に自宅やその周辺の測量と地図作りを行っています。その方法と測定結果をわかりやすく表現している点に好感がもてます。作者は自分で測量と地図作りを体験してみて，その労力の大きさや，誤差が生じることなど述べています。それらは，先人の偉大な仕事への敬意の表れとなっています。

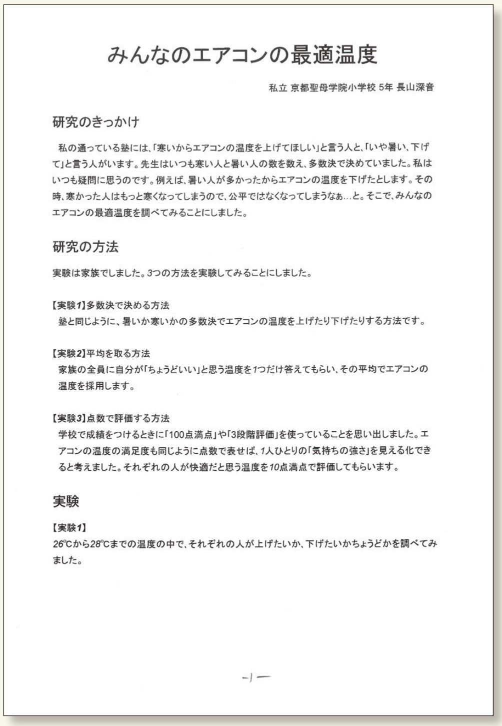
中央審査委員会

## 中央審査委員特別賞

## みんなのエアコンの最適温度

京都府　京都聖母学院小学校 ５年　長山 深音

全５ページ


みんなのエアコンの最適温度

私立 京都聖母学院小学校 5年 長山深音

研究のきっかけ

私の通っている塾には、「寒いからエアコンの温度を上げてほしい」と言う人と、「いや暑い、下げて」と言う人がいます。先生はいつも寒い人と暑い人の数を数え、多数決で決めていました。私はいつも疑問に思うのです。例えば、暑い人が多かったからエアコンの温度を下げたとします。その時、寒かった人はもっと寒くなってしまうので、公平ではなくなってしまうなぁ…と。そこで、みんなのエアコンの最適温度を調べてみることにしました。

研究の方法

実験は家族でしました。3つの方法を実験してみることにしました。

【実験1】多数決で決める方法
塾と同じように、暑いか寒いかの多数決でエアコンの温度を上げたり下げたりする方法です。

【実験2】平均を取る方法
家族の全員に自分が「ちょうどいい」と思う温度を1つだけ答えてもらい、その平均でエアコンの温度を採用します。

【実験3】点数で評価する方法
学校で成績をつけるときに「100点満点」や「3段階評価」を使っていることを思い出しました。エアコンの温度の満足度も同じように点数で表せば、1人ひとりの「気持ちの強さ」を見える化できると考えました。それぞれの人が快適だと思う温度を10点満点で評価してもらいます。

実験

【実験1】
26℃から28℃までの温度の中で、それぞれの人が上げたいか、下げたいかちょうどかを調べてみました。

−1−

▲１ページ目

**講 評**

部屋のエアコン温度を「多数決で決めてよいのか」という素朴な疑問から，実際に，３つの方法ー上げる下げるの多数決，希望温度の平均，温度を点数で評価する方法ーを比べて検証した構成がとてもよく考えられています。特に，ただ家族の意見を集めるだけでなく，快適さを数値化して点数として扱い，最適温度が 28 度に落ち着くことを導いた点も興味深い結果と言えます。最後に，$CO_2$ 削減への視点を取り入れ，温度設定と環境負荷のつながりまで考察した姿勢も評価できる作品です。

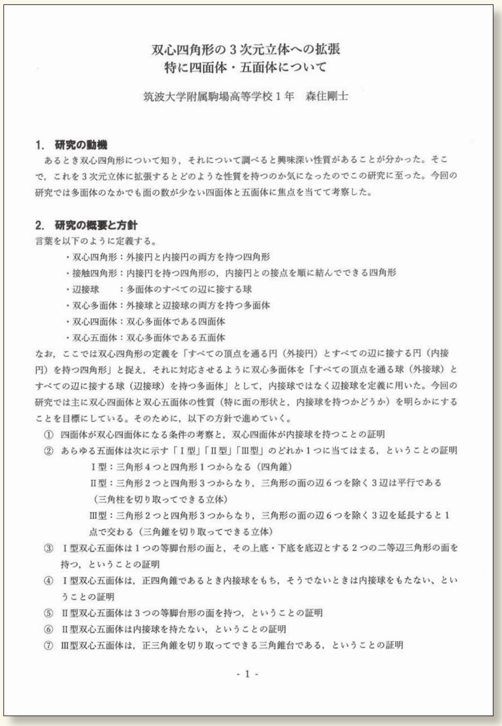
中央審査委員会

## 中央審査委員特別賞

## 双心四角形の３次元立体への拡張 特に四面体・五面体について

東京都　筑波大学附属駒場高等学校 １年　森住 剛士

全５ページ


双心四角形の３次元立体への拡張
特に四面体・五面体について

筑波大学附属駒場高等学校１年　森住剛士

1.　研究の動機

あるとき双心四角形について知り，それについて調べると興味深い性質があることが分かった。そこで，これを３次元立体に拡張するとどのような性質を持つのか気になったのでこの研究に至った。今回の研究では多面体のなかでも面の数が少ない四面体と五面体に焦点を当てて考察した。

2.　研究の概要と方針

言葉を以下のように定義する。

・双心四角形：外接円と内接円の両方を持つ四角形
・接触四角形：内接円を持つ四角形の，内接円との接点を順に結んでできる四角形
・辺接球　　：多面体のすべての辺に接する球
・双心多面体：外接球と辺接球の両方を持つ多面体
・双心四面体：双心多面体である四面体
・双心五面体：双心多面体である五面体

なお，ここでは双心四角形の定義を「すべての頂点を通る円（外接円）とすべての辺に接する円（内接円）を持つ四角形」と捉え，それに対応させるように双心多面体を「すべての頂点を通る球（外接球）とすべての辺に接する球（辺接球）を持つ多面体」として，内接球ではなく辺接球を定義に用いた。今回の研究では主に双心四面体と双心五面体の性質（特に面の形状と，内接球を持つかどうか）を明らかにすることを目標にしている。そのために，以下の方針で進めていく。

① 四面体が双心四面体になる条件の考察と，双心四面体が内接球を持つことの証明
② あらゆる五面体は次に示す「Ⅰ型」「Ⅱ型」「Ⅲ型」のどれか１つに当てはまる，ということの証明
　Ⅰ型：三角形４つと四角形１つからなる（四角錐）
　Ⅱ型：三角形２つと四角形３つからなり，三角形の面の辺６つを除く３辺は平行である（三角柱を切り取ってできる立体）
　Ⅲ型：三角形２つと四角形３つからなり，三角形の面の辺６つを除く３辺を延長すると１点で交わる（三角錐を切り取ってできる立体）
③ Ⅰ型双心五面体は１つの等脚台形の面と，その上底・下底を底辺とする２つの二等辺三角形の面を持つ，ということの証明
④ Ⅰ型双心五面体は，正四角錐であるとき内接球をもち，そうでないときは内接球をもたない、ということの証明
⑤ Ⅱ型双心五面体は３つの等脚台形の面を持つ，ということの証明
⑥ Ⅱ型双心五面体は内接球を持たない，ということの証明
⑦ Ⅲ型双心五面体は，正三角錐を切り取ってできる三角錐台である，ということの証明

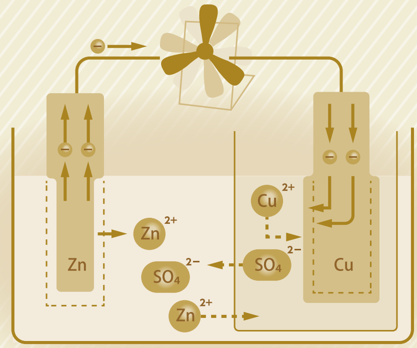
- 1 -

▲１ページ目

**講 評**

タイトルにある双心四角形とは，内接円と外接円をもつ四角形です。それを３次元立体に拡張するとどうなるかを調べ，実際に四面体と五面体の場合について，外接球や内接球が存在する条件などを求めている研究です。GeoGebraなどを用いて美しく図示されていて，実際の証明は高校数学の範囲を超えないけれど，とても根気強い研究です。さらに一般の多面体や高次元への拡張へと続く研究であり，今後の発展が楽しみです。

中央審査委員会




## 【第９回】

# 電解質に求められる性能

## ー水系電解質

東京学芸大学 名誉教授／国際基督教大学 客員教授

鎌田 正裕 ／ かまた まさひろ

1959年生まれ。京都大学大学院時代の専攻は原子核工学で，もっぱら溶融塩系の電気化学を専門とした。京大助手，鳥取大学助教授を経て東京学芸大学に異動した後は，授業で使える実験教材やものづくり教材の開発に取り組んできた。これまでに，高等学校理科（化学，理数探究）の学習指導要領の改訂・作成作業に関わるとともに，小学校理科，中学校理科，高等学校理数探究基礎の教科書の執筆にも関わってきた。大学院の授業では，科学と非科学の違いを考えさせるために，オカルト科学（擬似科学）を題材に科学の素晴らしさを次の世代に伝えることにも取り組んできた。

## はじめに

これまでにいろいろな電池について解説してきたので，電池の主構成要素と言えば電極と電解質（溶液）となることは，皆さんすでにご存じだと思います。電極については以前詳しく解説しましたので，今回と次回で電解質について解説します。電解質は最新の電池開発においても大切な要素なので，二回にわけて丁寧に説明したいと思います。

電解質には，大きく分けて水系電解質と非水系電解質があり，今回は水系電解質を取り上げます。なお，電解質という用語は本来は水に溶かしてイオンを生じる物質（溶質）に対して使われるものですが，水系電解質という言葉は電解質を溶かした水溶液（電解質水溶液または電解液）の意味で用いられることが一般的なので，本稿でもそのように扱っています。

電解質水溶液の役割は，イオンを運び電池の内部回路を形成すること，そして電極における反応を成立させることと言えます。純粋な水はほとんど電流を流しませんが，わずかでも電解質を溶かせば電流は流れます。ただし電池のように大電流を扱うためには，水中で電離しやすく，かつ電離で生じたイオンが動きやすいことが望まれます。このような視点に立てば，硫酸のような強酸や水酸化ナトリウムのような強塩基，あるいはこれらの酸・塩基からできる強電解質が有力な候補になります。また，電解質水溶液には，電極で起こる反応を成立させることも求められるので，たとえば硫酸銅や塩化亜鉛のように，電極と直接反応するイオンが含まれていることも大切です。

## 水中のイオンの動き

水溶液中のイオンの移動機構は，泳動・拡散・対流 という３つに分類されます。これらは，イオンが水溶液中を移動する際の駆動力の違いによるものです。

泳動は，溶液に電場（電位勾配）をかけることで，プラスに帯電した陽イオンが陰極へ，マイナスに帯電した陰イオンが陽極へと引き寄せられて移動する現象で，簡単な例は中学校の理科の教科書にも載せられています（図 1）。

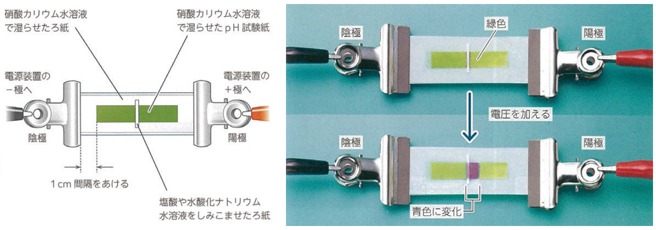
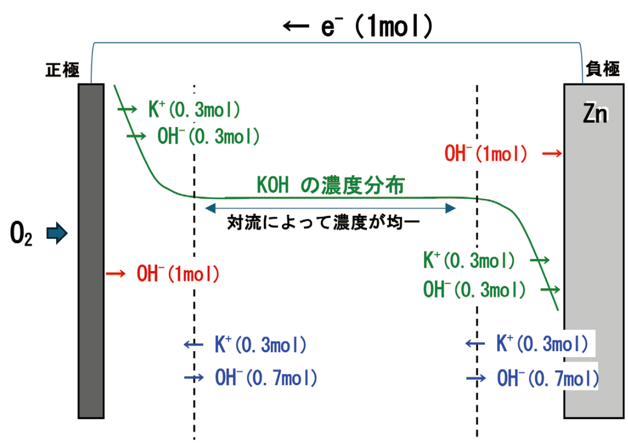



**図1　泳動による OH- イオンの動き（啓林館教科書より）**

拡散は，イオンや分子が濃度の高い場所から低い場所へと移動し，濃度を一様にしようとする現象です。泳動と異なり電場が存在しなくても起こります。最後に対流は，イオンが水中を動くのではなく，溶液全体が流動・撹拌（かくはん）されることによって，イオンが水と共に運ばれる現象で，これも電場の有無とは関係ありません。

実際の電池で電流が流れていれば，泳動によるイオンの移動は必ず起きますが，電極反応が進行している電極近傍では，イオンや分子の分布に大きな濃度勾配が生じるので，同時に拡散による移動も考えなくてはなりません。空気亜鉛電池内のイオンの動きを模式的に図２に示しました。この図を見ると，電極反応でイオンが消費・生成されるので，電極の近くでは生じた濃度差を埋めるために拡散が非常に重要な役割を果たしているようすがわかります。




青：　泳動によって移動するイオン
（通電時に $K^+$, $OH^-$ の移動する割合（輸率）をそれぞれ 0.3, 0,7 と仮定）
緑：　濃度拡散によって移動するイオン（1mol）
（電荷の移動を伴わないので、移動する $K^+$, $OH^-$ の量は等しい）
赤：　電極反応によって、生成・消費されるイオン（1mol）

１ファラデー（電子１mol）の通電時に、正極では、
$(1/4)O_2+(1/2)H_2O+e^-\rightarrow OH^-$ によって生成された 1mol の $OH^-$ の内、0.7mol が泳動で、0.3mol が拡散で負極方向へ移動。負極では、泳動で移動してきた 0.7mol の $OH^-$ と拡散で移動してた 0.3mol の $OH^-$ の合計（1mol）が、
$(1/2)Zn+OH^-\rightarrow(1/2)ZnO+(1/2)H_2O+e^-$ によって消費される。

図２　電池内のイオンの動き（空気亜鉛電池）

## 電解質水溶液のゲル化

電源としてのダニエル電池は，時代とともに負極に亜鉛，正極に二酸化マンガンと炭素棒，電解液に塩化アンモニウム水溶液を使用したルクランシェ電池へ取って代わられることになります。初期のルクランシェ電池は電解質に水溶液をそのまま使用する「湿電池」であり，液漏れの問題を抱えていました。液漏れを解決することが電池の携帯性を高めるうえで不可欠で，そのため 1886 年ごろ，ルクランシェ電池の塩化アンモニウム水溶液に石膏やデンプンなどを加えてのり状に固めて流動性を抑えた「乾電池」が，日本の屋井先蔵（図３）やドイツのカール・ガスナーによって同時期に発明されました。

現在広く使われているアルカリ乾電池でも，電解液のゲル化

図３　屋井先蔵による屋井乾電池
写真提供：東京理科大学 近代科学資料館

は行われています。このためには，電解液として使われている強アルカリ性の水溶液中でも高い粘度を安定して発現できる添加剤が必要となります。具体的には，カルボキシメチルセルロース（CMC）などの高分子ゲル化剤が使われています。アルカリ乾電池において電解液をゲル化することは，液漏れ防止のためですが，同時に，負極に使用されている比重の大きい亜鉛粉末が沈降するのを防ぐ働きもあり，これによって均一な放電特性が確保できます。

現在市販されている乾電池（アルカリ乾電池，マンガン乾電池など）は，ゲル化させた電解液をセパレーターや粉末状の電極物質に染み込ませて使用しています。このため，一見すると電池内部はすべて固体の塊に見えますが，電解液の本体は依然として流動性を抑えた液体（ゲル）です。水分を一切含まない「固体電解質」を使った電池が登場するのは，もう少し先の話になります。

## 水系電解液の特徴

歴史的に見ても，あるいは現在私たちの身近なところで使われている電池を見ても，水系電解質の電池がその他の電池を圧倒しています。これは，水系電解質の持つ次のような性質によるものです。

まずは溶媒である水の安全性です。水は燃えないため，たとえば引火性の高い有機溶媒（非水系電解液）に比べて，発火や引火のリスクが極めて低いことが挙げられます。また，一般的な水系電解液は毒性が比較的低く，取り扱いが容易なことも大きなメリットです。

次に大きな特徴として，水溶液中でのイオン伝導性の高さが挙げられます。水はその高い誘電率によって，電解質塩が水中で完全に電離しやすく，イオンの濃度を高くすることができます。また，水は有機溶媒に比べて粘度が低いため，イオンが水中で動きやすく，結果として非常に高いイオン伝導

率が得られます。この性質は，電池の大電流・急速充放電特性に大きく貢献します。

また，忘れてはならないことに，入手の容易さやコストの低さがあります。やや特殊な例となりますが，災害備蓄用に「水電池」という名前で，使用時に水を加えて使用する電池が市販されています（図４）。この電池の正極は，アルカリ乾電池などにも使用されている二酸化マンガンですが，負極には亜鉛の代わりにマグネシウム合金が使われています。また，電解質としてマグネシウム塩が使われています。これは，製造時に乾燥状態で電池内部に装填され，使用時に水を加えることで初めてイオンを含む電解液が内部に生成される仕組みです。未使用時には水を含んでいないので，自己放電によるロスがほとんどなく，長期の保存が可能と言われています。電池そのものの性能は，通常のアルカリ乾電池等と比べるとかなり低いのですが，災害備蓄用の目的に特化すれば，水なら災害時でも入手がしやすいことに着目した水系電解質のユニークな活用例と言えます。


**図４　市販の水電池**

このように水系電解質には大きな長所がいくつもありますが，その一方で短所もあり，最大の短所は使用できる電圧範囲が水の電気分解によって制限されることです。電解液には電位窓と呼ばれる特性があります。電位窓は，その電解液が分解しない電圧範囲のことで，水の場合は約 1.23 V となります。このことは，水系の電解液であれば，それ以上の電圧をかけると，水素ガスや酸素ガスに分解してしまうことを意味します。例えば，アルカリ電池の亜鉛の代わりに金属リチウムを負極に用いて出力電圧の高い電圧を得ようとしても，リチウムが水と反応し水系電解質が分解してしまうため実現はできません。リチウム電池で有機系電解液が用いられる理由は，この水の分解を避けるためなのです。

なお，鉛蓄電池が 2V，アルカリ乾電池が 1.5V の電圧を持つことは，水の電位窓と矛盾するように感じられますが，鉛蓄電池やアルカリ乾電池の電極材料（鉛や亜鉛）上では水素の発生が起こりにくく，少し乱暴な言い方をすれば，実質的に電位窓が拡大されていると考えることができます。

## 導電性のある氷

昔，学校の化学の教員の間で，イオンを含む水を凍らせると電気伝導性のある氷ができるという話が話題になったことがありました。これは，「化学と教育」という雑誌に投稿された記事が発端だったと思います。具体的には，NaCl のような電解質を溶かした水を冷凍庫で凍らせてできた氷に「手のひらピカチュー」（底部に取り付けられた端子に導電体に触れると「ピカチュー」と鳴き出すおもちゃ）をのせると，実際に鳴いたとのことでした。熱力学的に考えれば，水の結晶中にイオンが含まれることは考えられないので，私も早速試してみたところ，おもちゃのピカチューは確かに反応するのでした。

最初に怪しいと思ったのは，ピカチューの仕様で，このおもちゃは導通テスターとは違って，抵抗値が相当大きな物体に対しても反応する仕様になっていました。ただ私としては，やはり氷の中をイオンが移動できないということを直接示したかったので，食塩水をステンレス製の電極と共に小さな容器に入れて，そのまま液体窒素で十分冷却した後，室温下で徐々に温度を上げながら氷塊の抵抗値（インピーダンス）を測定しました（化学と教育 49 巻 1 号 38-39,2001 年）。

その結果，−30℃以下ではほぼ絶縁体と見なせましたが，−20℃くらいでインピーダンスも 10 kΩ 程度となり，ある程度の電気伝導性が確認できました。併せてピカチューの鳴き出す温度も調べたところ -25℃程度でしたので，上述の測定結果に近いものでした。水の状態図（図５）から，液体（食塩水）が完全に固体となる（氷と NaCl の結晶になる）温度は，−21.3℃以下なので，冷凍庫で作った氷の塊の中には純粋な水の結晶とともに微量の NaCl 水溶液がもともと存在していたと考えられます。つまり，ピカチューで確認できた電気伝導性は，氷の中を移動するイオンによるものではなく，氷の結晶粒界に残ったごく微量の食塩水によるものでした。したがって，この氷塊は次回解説する固体電解質（イオン伝導性のある固体）とは言えないものでした。❖

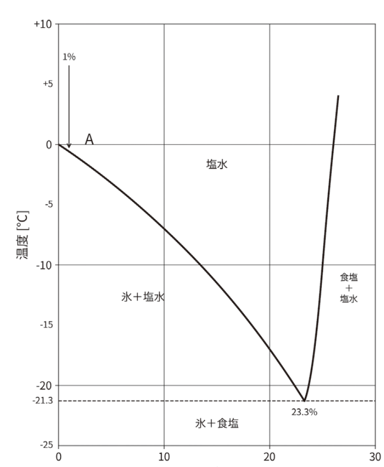
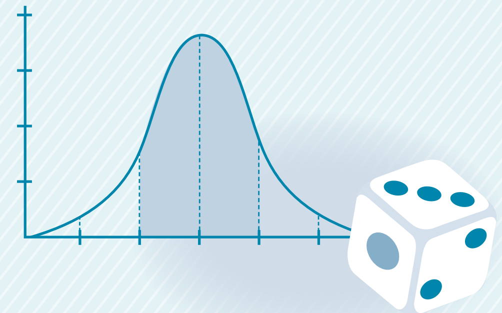



**図５ 水―NaCl 系の状態図**

# 【第10回】
# 確率を樹形図で表現する



東京大学 名誉教授
松原 望 / まつばら のぞむ

Ph.D.（スタンフォード大学）。1942年生まれ。東京大学教養学部基礎科学数学コース卒。統計数理研究所研究員，スタンフォード大学大学院博士課程，筑波大学社会工学系助教授，エール大学フルブライト研究員，東京大学教養学部・大学院総合文化研究科教授，同新領域創成科学研究科教授，上智大学外国語学部教授，聖学院大学大学院政治政策学研究科教授を歴任。著書には東大教養部統計学教室（編・著）『統計学入門』（東京大学出版会），『わかりやすい統計学：データサイエンス基礎』（丸善），『社会を読み解く数理トレーニング』（ペレ出版），『計量社会科学』（東京大学出版会），『意思決定の基礎』（朝倉書店），『ゲームとしての社会戦略』（丸善），『入門確率過程』（東京図書），『入門ベイズ統計』（創元社），『はじめよう！統計学超入門』（技術評論社），『ベイズの誓い－ベイズ統計学はAIの夢を見る』（聖学院大学出版会）など多数。

## 同時確率分布

表１を見てください。表（マトリクス）になっています。確率的な量Ｘ，Ｙ（この例では±１）を組み合わせて同時に考えた４通りの組み合わせに対し，確率が与えられています。確率なので和＝１となっています。これを「同時確率分布」と言いますが，表１を見ながら「確率」を考えましょう。

**表１　（X，Y）の同時確率分布**

| X＼Y | 1 | -1 | 和 |
|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{1}{10}$ | $\frac{2}{10}$ | $\frac{3}{10}$ |
| -1 | $\frac{3}{10}$ | $\frac{4}{10}$ | $\frac{7}{10}$ |
| 和 | $\frac{4}{10}$ | $\frac{6}{10}$ | 1 |

Ｘから先に考え*，Ｘ＝１のときはＹの出方（確率分布）に２倍の開きがありますが，Ｘ＝－１のときはそれほどの開きはありません（$\frac{4}{3}$倍）。反対に見ても，Ｙ＝１のときとＹ＝－１のときでは**，Ｘの出方が異なります（３倍と２倍）。このように，Ｘ（Ｙ）とＹ（Ｘ）の出方は互いに関係していることがわかります。このような場合を（確率論的）**相関** と言い，今後確率論の重要な考え方になります。

＊表を横方向に見ます。　＊＊表を縦方向に見ます。

## 条件付き確率分布

同じことを，条件付き確率の考え方

$$P(A\,|\,B) = \frac{P(A\cap B)}{P(B)} \quad \cdots ①$$

にしたがって，Yの「条件付き確率分布」で見てみましょう。

Yの±1の出方として，

X=1の条件では，

$$P\,(Y=1\,|\,X=1) = \frac{\frac{1}{10}}{\frac{3}{10}} = \frac{1}{3}$$

$$P\,(Y=-1\,|\,X=1) = \frac{\frac{2}{10}}{\frac{3}{10}} = \frac{2}{3}$$

X=－1の条件では，

$$P\,(Y=1\,|\,X=-1) = \frac{\frac{3}{10}}{\frac{7}{10}} = \frac{3}{7}$$

$$P\,(Y=-1\,|\,X=-1) = \frac{\frac{4}{10}}{\frac{7}{10}} = \frac{4}{7}$$

となることがわかります（表1 を見ながらA，Bを当てはめてください）。すなわち，Yとして何が出るかの確率（予想）はXの＋1か－1かによることがわかります。X，Yの間に關係があることの表れです。あるいは「XはYに関する情報をもつ（XからYを推理する）」と言うこともできます。

もちろん，元々Ｘ，Ｙは表１で同資格ですから，逆にして同様な条件付き確率計算もできます。

**練習1**　Xの「条件付き確率分布」P（X=1｜Y=1），P（X=－1｜Y=1）およびP（X=1｜Y=－1），P（X=－1｜Y=－1）を求めなさい（練習の答は最後）。

## 樹形図で表す

**樹形図**（Tree Diagram）は，機械学習では**決定木**（Decision Tree）と言われますが，樹形図を使うとここまでの考え方がスッキリと理解され，将来，確率過程とりわけランダム・ウォークやデリバティブ（金融工学），ゲーム理論，経済学などへの道が大きく開けます。

X から先に考えます。表 1 から 1，－1 の確率は $\frac{3}{10}$，$\frac{7}{10}$ となっていますが，1 の場合は Y は 1，－1 がそれぞれ条件付き確率 $\frac{1}{3}$，$\frac{2}{3}$ で出ますから，(X，Y) ＝ (1，1)，(1，－1) の確率はそれぞれ，

$$\frac{3}{10}\cdot\frac{1}{3}=\frac{1}{10},\quad \frac{3}{10}\cdot\frac{2}{3}=\frac{2}{10}$$

となって表 1 と一致します。X ＝－1 の場合も同様に，

$$\frac{7}{10}\cdot\frac{3}{7}=\frac{8}{10},\quad \frac{7}{10}\cdot\frac{4}{7}=\frac{4}{10}$$

となって表1と一致します。つまり，元の2次元の同時確率分布が情報の上で意味するところを樹形図に分解，展開して可視的に表すことができたわけです（図1）。

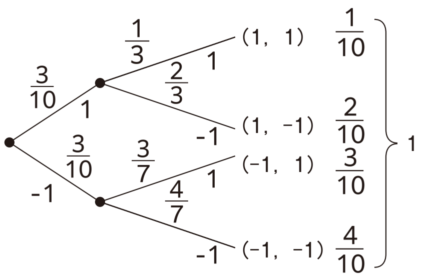



**図 1　(X, Y) の 4 通りの確率（樹形図）**

もちろん，Y を先にして樹形図を作ることもできます。以上はトリックではなく，条件付き確率の定義①から，

$$P(A\cap B)=P(B)\,P(A\,|\,B) \quad \cdots ②$$

としたに過ぎません。

## ランダム・ウォークを樹形図で表す

これで樹形図の考え方，表し方が理解できたと思いますが，これをランダム・ウォーク（第 9 回）に適用してみましょう。

1．の X, Y に時間順序があり，$X_1$，$X_2$ としていずれも± 1 を確率 p，1 － p（q と表し，したがって p ＋ q ＝ 1）でとるものとします（図 2）。見てのとおり，$X_1$ ＝± 1 に応じて $X_2$ の枝が 2 つありますが，どちらの枝においても $X_2$ ＝± 1 の出方は p，q で同じですから，$X_2$ は $X_1$ によって影響されないことがわかります。これを確率論では**独立**と言います（相関がないことの特別なケースです）。

$X_2$ からさらに枝分かれして $X_3$ を考えることに興味がわきますが，ここでとどめましょう。

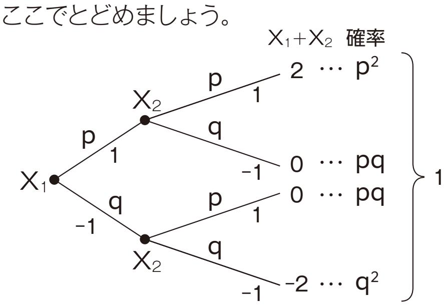



**図 2　ランダム・ウォーク X1，X1 ＋ X2 の樹形図**

さて，ランダム・ウォークとは，これら± 1 の数列の和を

$$S_1=X_1,\ S_2=X_1+X_2,\ S_3=X_1+X_2+X_3,\ \cdots$$

とした確率過程を言います。$S_2=X_1+X_2$に注目しましょう。値は右側にある2，0，－2の3通り（注：奇数は出ません），その確率も図2のように各枝の確率から，

$$p^2,\ 2pq,\ q^2 \quad \cdots ③$$

で，ランダム・ウォーク**$S_2$の確率分布**が求められました。この確率分布に対し次のことを確かめてください。

**練習2**　(i) $p=\frac{2}{3}$，$q=\frac{1}{3}$のとき，(ii)　$p=q=\frac{1}{2}$のとき，それぞれ$S_2$=2，0，－2の確率を求めなさい。

**練習3**　③で，確率の和＝1となることを証明しなさい。

**練習4**　($X_1$，$X_2$) の同時確率分布を求めなさい。

## ランダム・ウォークの確率分布と二項定理

練習 3 でわかるように，ランダム・ウォークと二項定理は密接に関係しており，その確率分布は二項定理の各項であることがわかります。確率論が代数と結びついているのです。

$S_3=X_1+X_2+X_3$ で確かめると（図 3，p，q は省略），3，1，－1，－3 の確率が n ＝ 3 の二項定理

$$(p+q)^3=p^3+3p^2q+3pq^2+q^3 \quad \cdots ④$$

の各項であることが示されています。

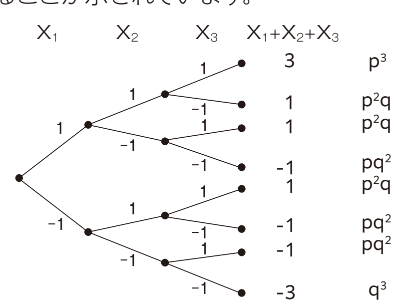



**図 3 ランダム・ウォーク $S_3$ の確率分布の樹形図**

$S_4 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$ の確率分布も想像がつき，4，2，0，$-2$，$-4$ の確率は，それぞれ，

$$p^4,\ 4p^3q,\ 6p^2q^2,\ 4pq^3,\ q^4 \quad \cdots ⑤$$

となることも見やすいでしょう。

**練習5**　$p=q=\frac{1}{2}$のとき，確率分布⑤のグラフをExcelで作成しなさい。

このグラフからわかるように，ランダム・ウォーク $S_n$ の確率分布は n が大きいとき正規分布に近くなる（正規近似と言います）ことが証明され，「中心極限定理」の重要な例として，多くの現実の確率現象を説明する理論的基礎になっています。とりわけ，$p = q = \frac{1}{2}$ のときには平均 0，分散 n の正規分布 N（0, n）に近く，n = 4 ならば標準偏差$\sqrt{4} = 2$ で，$-4 \sim 4$ の確率は約 0.955（95.5%）となるはずです。

**研究課題**　練習5の結果でこのことを確かめましょう。

## ベイズの定理を樹形図で表す

原因 A が起こり，それに次いで結果 B がもたらされる確率の関係（ベイズの定理）は樹形図でわかりやすく表すことができます。これがベイズ・フィルターに応用され，**AI の始まり**になったことは第 1 回で述べました。

いま，可能な原因の事前確率を $P(A_1)$，$P(A_2)$ とし，結果 $B_1$，$B_2$の起こり方は，条件付き確率で

$A_1$から　　$P(B_1 \mid A_1)$，$P(B_2 \mid A_1)$；

$A_2$から　　$P(B_1 \mid A_2)$，$P(B_2 \mid A_2)$

で起こるとします。そこで例えば，$B_1$が起こったとします。その起こり方は樹形図では2通りの枝に分かれて表され（図4），その確率はそれぞれ$P(A_1)P(B_1 \mid A_1)$，$P(A_2)P(B_1 \mid A_2)$ で，したがって，その和の確率で$B_1$が起こったのです。そのうち，$A_1$から起こった枝の確率の割合は，当然

$$\frac{P(A_1)P(B_1 \mid A_1)}{P(A_1)P(B_1 \mid A_1)+P(A_2)P(B_1 \mid A_2)} \quad \cdots ⑥$$

のように条件付き確率$P(A_1 \mid B_1)$と表され，事後確率と言われます（A, Bが逆転しました）。$P(A_2 \mid B_1)$も同様ですが，条件付き確率も確率なので，$P(A_2 \mid B_1) = 1 - P(A_1 \mid B_1)$ でよいわけです。以上は，$B_2$が起こった場合も同様です。

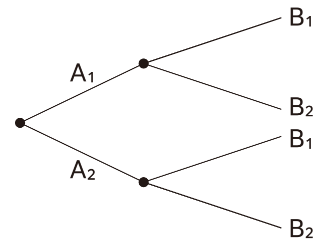



**図 4　ベイズの定理の樹形図**（確率は本文参照）

**練習6**　$P(A_1) = \frac{2}{3}$, $P(A_2) = \frac{1}{3}$とし，条件付き確率が$P(B_1 \mid A_1) = \frac{3}{4}$, $P(B_2 \mid A_1) = \frac{1}{4}$, さらに，$P(B_1 \mid A_2) = \frac{1}{6}$, $P(B_2 \mid A_2) = \frac{5}{6}$ のとき，事後確率$P(A_1 \mid B_1)$，$P(A_2 \mid B_1)$ および $P(A_1 \mid B_2)$，$P(A_2 \mid B_2)$ を求めなさい（5分以内にできますか）。何がわかりますか。

**＜解答＞**……………………………………………

**練習1**　$\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$および$\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$

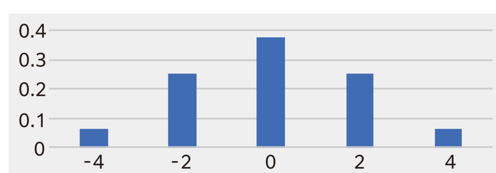
**練習2**　(i) $\frac{4}{9}$, $\frac{4}{9}$, $\frac{1}{9}$　(ii) $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$

**練習3**　二項定理から　$p^2+2pq+q^2=(p+q)^2=1$

**練習4**　表1と図1の関係を参考に，図2より4通りの確率の下表を得る。

| $X_1$ \ $X_2$ | 1 | −1 | 和 |
|---|---|---|---|
| 1 | $p^2$ | $pq$ | $p$ |
| −1 | $pq$ | $q^2$ | $q$ |
| 和 | $p$ | $q$ | 1 |

**練習5**　$\frac{1}{16}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{16}$（下図）




**研究課題**　⑤で$-4 \sim 4$の確率は全確率で1となり，正規近似0.955は悪くない。

**練習6**　$B_1$のとき：⑥に代入して$\frac{9}{10}$，$\frac{1}{10}$，$B_2$のとき：$B_1$を$B_2$に変えて代入し$\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$。$B_1$は$A_1$，$B_2$は$A_2$の可能性をそれぞれ強く示すが，$\frac{9}{10}$対$\frac{5}{8}$の比較から$A_1$に対する可能性の程度が高い。最初（事前確率で）から$A_1$の確率が高かったことも効いている（これらの見方は程度が高いのでできなくともよい）。

**第11回予定　ポアソン分布を学ぶ**

# 【第10回】
# 陽子（プロトン proton）

> 単語を思い浮かべなくてよいような概念や概念の組み合わせによる思考は存在しないのでしょうか？　われわれは誰でも，「もの」の間の関係はすでにはっきりわかっているのに，それに対する言葉がなかなか得られなくて苦しんだ経験はないでしょうか？
>
> アインシュタイン（1879〜1955）
> 『科学という共通言語』（1941）より

元徳島県公立高等学校 教諭
西條 敏美 ／ さいじょう としみ

1950年徳島県生まれ。関西大学工学部および同大学院修士課程で気体電子工学専攻。卒業後35年間，徳島県の公立高校で理科（物理）教員として勤務し，2011年定年退職。1982年に徳島科学史研究会を創設。理科教育の立場から科学史の活用に関心を持つ。科学史を取り入れた高校教科書『理科基礎』（実教出版）の共同執筆にもかかわった。おもな著書に，『理科教育と科学史』（大学教育出版），『測り方の科学史(I)(II)』，『単位の成り立ち』（以上恒星社厚生閣），『物理定数とは何か』（講談社ブルーバックス）など。趣味は毎日1万歩，1時間15分歩くこと。現在地球の全周の100分の99を達成。

原子核を構成する粒子の一つ陽子（プロトン，proton）の発見も，イギリスのラザフォードに帰せられます。しかし陽子に相当する粒子の発見とこれに相応しい名称を与えることは必ずしも一致しませんし，それぞれの年代を特定することも難しいところがあります。プロトンという語もそういう語の一つです。今回は，陽子の発見とその用語の成り立ちについて，取り上げます。

## 窒素の原子核の人工破壊と水素の原子核（1919）

1919 年はラザフォードによる原子核の人工破壊成功の年と科学史年表に位置づけられています。このことに関しても前触れはあります。彼は 1914 年頃，研究室の若き弟子マースデンに，空気にα粒子を当てたときに核破壊から生じる破片の有無を調べさせました。弟子は水素の核と思われる小数の破片を観察したと報告しましたが，空気中にわずかに存在した水素原子が前方に打ち出されたと考えたのです。

1917 頃からラザフォードは単独でこの問題の再吟味を始め，その水素の破片はただ1個の空気の成分，窒素の破壊から生じるという結論に達し，1919 年「α粒子と軽い原子との衝突」と題する論文にまとめて発表しました。1920 年には「原子の有核構造」と題して彼にとって 2 度目の栄誉あるベーカー講演を行っています。

前者（第 1 部）では，こう結論づけています。

「窒素原子は高速のα粒子との衝突の際の強い力により崩壊し，窒素原子核の構成要素から水素が解放されたと結論しなければならない。」

後者では，彼はいくつかの論文において軽い原子のあるものの核構造が破壊されるかどうかを，高速α粒子との衝突の効果として発表してきたと述べ，こんなふうに結論づけています。

「乾燥した窒素中のα粒子の通過は，シンチレーションの輝きと透過距離において，α粒子との衝突によって動かされた水素原子にきわめてよく似た高速粒子を生じさせるという証拠が得られた。乾燥した窒素内だけに現れ，酸素や二酸化炭素では現れないこれらの高速粒子は，水蒸気やその他の水素を含む物質のせいにすることができず，α粒子と窒素原子との衝突より生じたに違いない。」

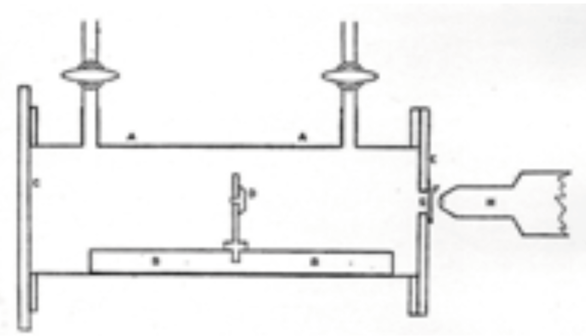
今ふうに式で書けば，

$$ {}_2\mathrm{He}^4\ (\alpha\text{粒子}) + {}_7\mathrm{N}^{14} \rightarrow {}_8\mathrm{O}^{17} + {}_1\mathrm{H}^1 $$

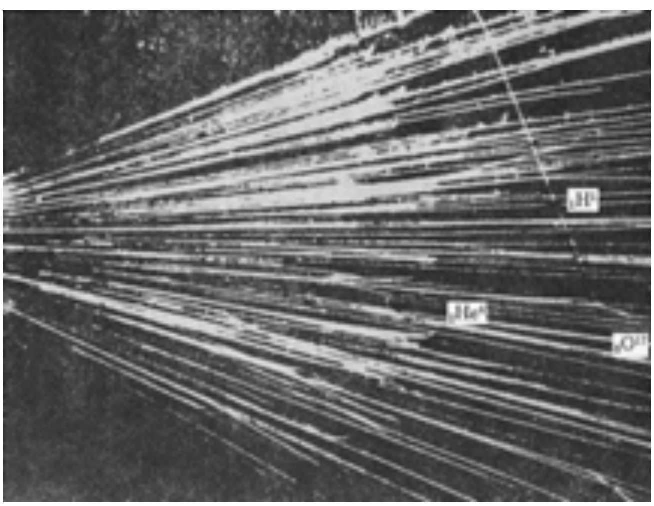
となりますが，原子番号や質量数の概念もまだ確立されていませんでした。この原子核破壊の初めての実験は，そののちブラケットが1924年ウィルソン霧箱を使って写真撮影に成功して，飛跡が視覚で捉えられるようになりました。

ここで，用語という面で見ると，He とNの原子からもっとも軽いH原子が現れたのですから，このHは万物の根源物質といってよいかもしれません。そうであるなら，何か適当

な名称を付けておくというのが自然の考えです。しかしラザフォードは，この論文や講演では特別の名称を与えていません。H atm，$H^+$ ion などの語や記号が見えるだけです。



**ラザフォードによる原子核の人工変換（1919）**
容器内に窒素など種々の気体を入れる。Dは可動台に載せたラジウム源。Sはスクリーン（ZnS），Mは顕微鏡。Dから右向きに$\alpha$粒子が放射される。$\alpha$粒子では届かない距離から放射されてもSが発光した。これは$\alpha$粒子が途中で窒素の原子核と衝突し，飛程の長い水素の原子核が飛び出したからと結論づけられた。ラザフォードのベーカー講演論文（1920）より



**ブラケットが撮影した窒素原子核の破壊写真（1924）**
右向きに走る多数の$\alpha$粒子のうち，うまく窒素原子核に衝突し入り込むと，窒素の原子核は水素の原子核（上方に向かう長い飛跡）と酸素の原子核（やや右下方に向かう短い飛跡）に分かれた。撮影した23000枚の写真のうち8枚に破壊のようすが映っていたという。これはその1枚。
アンドレード著『ラザフォード』（河出書房）原著 1964，口絵写真より

## バロンとプロトン

それではH原子核を表す特別な名称，proton（陽子）という語はいつ誰によって提案されたのか。これについては，1920年カーディフ（英国の小都市）で開催されたイギリス協会A部門（物理学）の非公式会合で，やはりラザフォードが提案し，承認されたようです。この辺の事情を記した興味深いものとして1921年のマッソンの論文があります。この論文の脚注としてマッソン本人ではなく，異例なことにラザフォードが長い書き込みをしているのです。

それによると，マッソンは，オーストラリアでこの論文を書いた時点で，protonという名称が既に示唆されていたことを知らなかったと書き，この非公式会合のことに触れています。マッソン自身はbaron（バロン）という名称を提案したが，既存の様々な意味のために不適当と考えられたのです。一方protonという名称は，特にすべての原子は水素からできているというプラウトの仮説に出てくるprotyle（プロタイル）という語を暗示するものとして，多くの賛同を受けたといいます。質量1の単位に特別の名称をつける必要がこの分科会でオリバー・ロッジによって注目され，そのとき筆者（ラザフォード）はprotonという名称を提案したとあります。

ただ，マッソンはラザフィードを通じて本論文を投稿していたので，その対応に関わる長い遅れを避けるために，論文は元の形で印刷されているとし，protonという名称が一般に承認された場合，論文中の記号「b」を「p」に変更するだけで済むと注記しています。

論文の本文では，マッソンは正の電気原子（水素の原子核）に，参照と表記の便宜のために，名称を付ける必要があると述べ，こんな記述が見られます。

「電子の際立った特徴は，それらが主に原子の電気化学的特性を決定することである。 正の粒子の際立った特徴は，それらが主に原子の質量を決定することである。したがって，私はそれをbaron（バロン）と呼ぶべきことを提案する。この名称を採用すると，電子にe，バロンをbとして便利に表すことができる。」

baronという語は，重さ（weight）を意味するギリシャ語の$\beta\acute{\alpha}\rho o\varsigma$（baros）を元にした造語です。マッソンは，正の電気粒子は電子に比べてはるかに重いので，重さを意味するbaronの語を提案し，論文でもこの語を使用しましたが，ラザフォードが提案した万物の根源物質を暗示する語protonが承認されたということです。

protonの語の使用は，ラザフォード以前にも使用例はありますが，ここではラザフォードの言及にあるprotyleの語について見てみます。

## プロタイルからプロトンへ

ラザフォードの論文（1919）から100年余も前の1815・16年イギリスのプラウトは２つの論文を匿名で発表しました。1815年論文は10頁で，ほとんどが数値表で占められています。当時知られていた14種の元素，17種の酸化物，８種の水素化物，24種の金属元素について，水素を１としたときの比重（１体積の），水素を１としたときの原子量，酸素を10としたときの原子量，そして空気を１としたときの比重，同実験値などの比較の表で構成されています。

まとめの部分では，こう書かれています。

１．水素を1としたときの，元素の数値すべては4で割ることができる。例外は，炭素，窒素，バリウムであり，これらは2で割ることができる。これらの数値は，1すなわち水素よりも，もっと大きい数値を[基準にとれば]修正されるように思われる。この別の数値とは16すなわち酸素であろうか？　そして，あらゆる物体は，これら2つの元素から構成されているのであろうか？

２．酸素は，2体積すなわち4原子の割合で，化合にあずかるとは思われない。

1816年論文は３頁の短い論文です。1815年論文の誤りの訂正をし，やはり表が中心ですが，末尾のまとめの見解が重要で，こうあります。

「水素の体積を原子に等しいと考えることには利点がある。なぜならば，この場合たいていの，もしくはおそらくすべての，元素物体の比重（水素を１とする）は，それらの原子の重量に正確に一致するか，ないしは何倍かになるからである。」

このあと，protyleに相当するギリシャ語に言及しています。

「われわれが試みに提出した見解が正しいとするならば，古代人の$\pi\rho\acute{\omega}\tau\eta\ \acute{\upsilon}\lambda\eta$（プロテ ヒュレ）が水素において実現したと考えてもほぼよいであろう。」

ここで，$\pi\rho\acute{\omega}\tau\eta\ \acute{\upsilon}\lambda\eta$（prote hyle）の$\pi\rho\acute{\omega}\tau\eta$とは第１の，始源の，という意味をもち，$\acute{\upsilon}\lambda\eta$とは素材，物質などの意味をもつので，第１物質，始源物質，根源物質，第１質料など，さまざまに訳されます（連載第１回参照）。当時知られていた物質が水素原子の質量のほぼ整数倍になるということは，水素原子はこれらの基本的構成要素であるはずで，プラウトは水素原子こそ，古代哲学者らが探究してきた$\pi\rho\acute{\omega}\tau\eta\ \acute{\upsilon}\lambda\eta$だと考えたのです。

プラウトが事実を書き留めただけだったなら，後にこれだけの評価は得られなかったことでしょう。哲学にも精通し，$\pi\rho\acute{\omega}\tau\eta\ \acute{\upsilon}\lambda\eta$の語で集約したからこそ，後の時代に輝き出たといえます。

プラウトは，第２論文で$\pi\rho\acute{\omega}\tau\eta\ \acute{\upsilon}\lambda\eta$の語を３回使い，first matterの語を当てていますが，primary matterの語もよく使われます。音写英字ではprote hyleとなり，これからprotyleの語が普通に使用されました。この語からprotonの語が造られたのです。

## まとめ

水素の原子核（陽子）は原子全体の重さにほとんど匹敵し，正の電荷をもちます。周囲をとりまく負の電荷をもつ電子の重さはこの原子核の1840分の１程度です。このとき重さに着目すれば，この原子核にbaronの名称を与えたくなるのもわかります。しかし，protonという名称には，古代から探究されてきた根源物質にやっと突き当たったという思いが感ぜられます。ただ万物の根源物質の探究は，今から見ればほんの除幕を開けたにすぎませんでした。

なお発見年について，実験的に解離に成功したのに着目すれば1919年ですが，名称の承認まで考えると1920年となります。

日本語では陽子と訳されましたが，これは中国の陰陽説の陽，すなわち正電荷をもつことに重点をおいたためと考えられます（ちなみに中国でも陽子の語）。根源物質という語感をもたせるには，「源子」，あるいは「元子」などの名称もよかったかもしれません。❖

**文献案内**

○*The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, Vol.*Ⅱ, George Allen and Unwin Ltd.

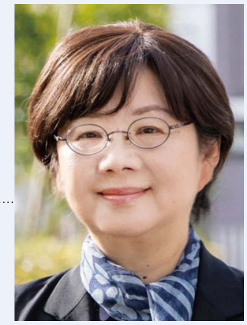
○S.GLASSTONE(ED.): *Source Book on Atomic Energy* D.VAN NOSTRAND COM.,INC.

○物理学史研究刊行会編『物理学古典論文叢書』第9巻，第10巻(東海大学出版会).

○藤井清久「原子量と原子構造ープラウトの仮説の誕生・没落・復活」，『化学史研究』第16号，29-38(1981).

# 探究学習における「問い」の役割と構造

## ～世界が目指す“問いを起点とした学び”への転換～



立正大学データサイエンス学部　教授
渡辺 美智子 ／ わたなべ みちこ

## 1

中央教育審議会教育課程企画特別部会（令和７年９月19日配布資料）では，生成AIをはじめとするデジタル技術の飛躍的発展を背景として，小中高等学校を通じた**情報活用能力の抜本的向上と，質の高い探究的な学びの実現**が主要な論点として提示されている。このような論点が改めて前面に出てきた背景には，AIの進化と普及により，現代社会がいわゆるVUCA（変動性・不確実性・複雑性・曖昧性）の特性を一層強めているという状況がある。社会や技術の変化が加速する中で，既存の知識や手続きを適用するだけでは対応が難しい課題が増加しており，そのため，教育においても，正解のない課題に対して，状況に応じて問題を捉え直し，合理的に判断しながら対処していく力の育成が重視されるようになっている。とりわけ求められているのは，探究を通して育成される，**科学的思考に裏打ちされた問題解決力**である。これは，思いつきや印象だけで身の回りのモノゴト判断するのではなく，「なぜそう言えるのか」「どこまで確かと言えるのか」を問い直しながら，問いの設定，仮説の構築，データ（事実）や根拠に基づく分析・検討を行い，その結果をもとに結論を導いていく一連の思考過程によって形成される能力を指す。

こうした文脈において**「探究の学びの質的向上」**を図るためには，探究活動を通して何を育むのかを明確にする必要がある。その際，探究の学びの質は，最終的に得られた成果物や結論の水準そのものによって測られるのではなく，**問いの設定，仮説の構築，データや根拠に基づく検証，思考の再構成といった一連の探究プロセス**を通じて，学習者の科学的思考力がどのように形成されたかという観点から捉えられるべきである。

実際，海外においては2000年代以降，こうした科学的思考に裏打ちされた問題解決力は，偶発的に身につく能力ではなく，教育を通して意図的・体系的に育成すべき資質として位置づけてきた。その際，探究は単なる学習形態や活動様式としてではなく，問いの設定から検証，説明に至るまでの思考過程を明示的に設計・共有する**科学的問題解決のプロセス**として捉えられている。

海外の枠組みに共通するのは，探究の結果よりも，探究の過程において学習者がどのような問いを立て，どのような根拠に基づいて考えを進めていったのかを重視している点である。特に，問いをどのように構造化し，段階的に深化させていくかは，探究を通して科学的思考力を育成する上での中核的要素として位置づけられている。問いを段階的に発展させていく過程において，自然に，仮説の検討，根拠の吟味，データによる検証といった科学的な検討が必要となるように，**問いの構造が設計されている**点に特徴がある。

本稿では，この点に着目し，国際バカロレア（IB），OECD Learning Compass，スタンフォード大学デザイン思考において，問いがどのように設計され，探究の過程がどのように問題解決へと導かれているのかを整理することで，探究を共通の枠組みのもとで捉え，設計や評価へと接続する可能性を示唆する。

## 2 探究学習のエンジンとなる「問い」の教育的枠組み

### 2.1 国際バカロレア（IB）における概念ベースの階層化

国際バカロレア（International Baccalaureate：IB）は，国際的に共通する教育の質保証と学習到達の枠組みを提供する教育プログラムとして，初等教育から高等教育前段階までを対象に展開されている。その特徴は，知識の量的習得や技能

の反復に重点を置くのではなく，学習者が自ら問いを立て，思考を深めながら理解を構築していく学びの在り方を重視している点にある。

IBにおける探究では，探究を通して，学習者が物事をどのような枠組みで捉え，どのような根拠に基づいて説明しようとしているのかを可視化し，その思考を段階的に洗練させていくことが意図されている。この考え方を支える学習の基盤として，「**概念ベースのカリキュラム**（concept-based curriculum）」が採用されている。IBでは，この**概念を軸に問いを構成**することで，探究が表層的な調べ学習や意見の表明にとどまらず，**説明可能性や一般化可能性を伴う思考**へと自然に導かれるよう設計されている。ここでは，「問い」を思考の深度と社会性の尺度として，以下のような3段階の構造で設計している。

① **事実的問い（Factual Question）**：何が起こっているのか
② **概念的問い（Conceptual Question）**：なぜそうなっているのか
③ **討論的問い（Debatable Question）**：どう考えるべきか

このように，探究における問いの深化を具体的に示すことで，**知識の獲得→概念の統合→価値の判断へと問題解決の視野を広げていく**ものであり，異なる立場からの検討を通じて**合意形成を目指す姿勢を育てる学習を支援**するものとなっている。

**例）**
① **事実的問い**：森林面積は減少しているか？
② **概念的問い**：なぜ森林破壊は進行しているのか？
③ **討論的問い**：経済成長のために森林伐採は正当化されるのか？

IBでは，これら3段階の問いによって，学習者に思考の深まりを促し，最終的には問題解決に向けての学習者の立場形成や価値判断にも繋がる探究の深化構造が意図されている。これは，探究の出発点としての問いを段階的に発展させながら，探究学習の質を高めるモデルといえる。

この構造のもとでは，問いに一つの正解があるかどうかが問題となるのではなく，どのような観点から事象を捉え，どのような根拠に基づいて説明や判断を行っているかが重視される。その結果，学習者が異なる立場や考え方を踏まえながら，合意形成や問題解決に向けて思考を深めていく態度を身に付けていくことが期待されている。

問いの深化を支える「概念ベースのカリキュラム」における「概念」とは，**個別の事実や具体例を超えて，複数の事象に共通して適用できる理解の枠組み**を指すもので，問いをこれらの概念と結び付けて再構成することで，探究は，個別事例の記述や個人の印象的な理解にとどまらず，**説明可能性と一般化可能性を備えた思考**へと導かれる。

| キー概念 | 問い |
|---|---|
| Form（形・構造・特徴） | それはどのような形・構造をもつか |
| Function（機能） | それは何をするのか |
| Causation（因果） | なぜそうなったのか |
| Change（変化） | どのように変わってきたか |
| Relationship（関係性） | 何とどのようにつながっているか |
| Perspective（視点） | どのような見方があるか |
| System（システム） | 全体としてどう成り立っているか |
| Responsibility（責任） | 誰がどのような責任をもつか |

ここでいう**説明可能性**とは，「なぜそう言えるのか」を，事実やデータに基づき，関係や構造として他者に説明できることを指し，**一般化可能性**とは，その説明が特定の事例に閉じることなく，条件が異なる他の状況においても適用可能かどうかを検討できることを指す。キー概念は，こうした説明可能性と一般化可能性を成立させるための思考の枠組みとして機能する。**変化，因果関係，関係性，システム**といった概念は，特定の事象に固有のものではなく，複数の事例に共通して用いることができる視点である。問いをこれらの概念と結び付けることによって，学習者は個別の出来事をそのまま扱うのではなく，事象の背後にある関係や構造に目を向けるようになる。

例えば，ある学校における具体的な課題を扱う場合であっても，因果関係や関係性といった概念を意識した問いへと再構成することで，探究は「その学校固有の事情」の説明にとどまらず，行動と環境条件の関係，要因間の相互作用といった形で探究を進めることができる。その結果，他の学校や状況においても検討可能な説明へと展開され，探究は個別事例を超えた知見の形成へと質的に向上することになる。

例）

**事実的問い × キー概念（変化 change）**

「校内のごみの量は，ここ数年でどのように変化しているか」
「分別が守られている場所とそうでない場所はどこか」

どの事実（データ）を集めるかは，背後の概念（変化・因果・関係性など）によって方向づけられる。すなわち，キー概念は，事実（データ）の選び方，データの取得デザインを規定することになる。

**概念的問い × キー概念（因果関係 causation／関係性 relationships）**

「なぜ分別が守られない状況が生じるのか」

「行動と環境要因の間にはどのような関係があるのか」

この段階で，事実→概念，データ→説明 という移行が起こり，問いは「調べる問い」から「説明する問い」へと質的に変化する。

| |
|---|
| **討論的問い × キー概念（責任 responsibility／視点 perspectives）** |

「学校における分別の責任は，誰がどこまで負うべきか」

「利便性と環境配慮のどちらを優先すべきか」

この段階では，概念が評価基準や判断軸として用いられ，生徒は異なる立場や視点の正当性を，根拠に基づいて検討・説明することが求められる。ここで，キー概念は，価値判断を恣意的にしないための思考の枠組みとして機能する。

このように，概念を軸として問いを再構成することは，探究を単なる事実の収集や意見表明から，説明と一般化に耐える思考へと質的に転換する役割を果たす。IBにおける概念ベースの探究は，問いを通じて学習者の思考をこの段階へと導くことを意図した設計であり，探究の質を成果の水準ではなく，思考の構造と深まりによって可視化することに繋がるモデルと言える。

## 2.2 OECD Learning Compass 2030

OECDが2019年に公表したLearning Compass 2030では，探究に対して，学習者の**予見・行動・省察（振り返り）・問いの再定義を繰り返す探究ループ**を通じて，学習者が自律的な判断者（エージェンシー）として社会課題に能動的に関わることを重視している。このような探究の枠組みを支えるのが，次に示す**AAR（Anticipation-Action-Reflection）サイクル**である。

| |
|---|
| ① **Anticipation（予見）**：未来を見通し問題を設定する |
| ② **Action（行動）**：価値判断に基づき，課題に対して実践を行う |
| ③ **Reflection（省察）**：行動の結果を振り返り，新たな問いを導く |

ここで問いは，実践的行動を活性化し，探究サイクルを更新する役割を担う。AARによる探究サイクルを重ねることで，より問題解決が精緻化されていく構造を持つ。

このように，AARサイクルでは，未来の予見，行動の実行，そして省察と問いの再定義という一連のプロセスを通じて，**学習者が自律的な社会的判断者として成長することを目指す**探究フレームワークである。この構造は，一回限りのサイクルではなく，学習者の発達段階や社会との接続可能性に応じて柔軟に拡張される汎用的構造となっている。特に義務教育段階においては，課題の内容や問いの抽象度を，児童生徒の認知的・社会的発達段階に応じて調整することが重要である。すなわち，学年進行とともに扱う**課題のスケール（個人→地域→国家→地球）と，問いの深度（事実確認→原因探究→仮説生成→行動提案）**を段階的に高めていくプロセスとして実装されていく。

| |
|---|
| **例）** |
| ①**予見**：10年後，私たちの地域はどのようなエネルギー課題を抱えているのか？ |
| ②**行動**：どのような再生可能エネルギー導入を提案できるか？ |
| ③**省察**：提案は実効性があったか？より社会に届く表現は可能か？ |

例えば，初等教育段階におけるAnticipation（予見）の問いは，「明日，教室で友達ともっと仲良くなるにはどうすればよいか？」といった身近で即時的な行動的予見が中心となる。一方で，中等教育段階では，「この地域のエネルギー利用の将来像はどうなるのか？」といった社会的構造や未来的帰結を視野に入れた問いへと拡張される。また高等学校後半では，「AIが進展する社会において，どのような職業観が必要とされるのか？」といったグローバルな課題への主体的関与を前提とした予見的思考が求められるようになる。

Action（行動）においても同様に，学年が進むにつれて，個人的行動（例：学校生活での工夫）から，地域社会への働きかけ，さらには制度提案や国際的枠組みへの関心といったスケールアップした実践的関与が奨励されている。中学校段階での「ごみ分別改善に向けた校内キャンペーンの実施」から，高校での「地域の食品ロスを削減するためのステークホルダーへの働きかけ」へと深化する。Reflection（省察）に関しても，単なる「できた／できなかった」の自己評価から，問いの再定義（例：「そもそも自分の想定していた課題は本質的だったのか？」）や，構造的原因の再検討（例：「行動を妨げた制度的・文化的背景は何か？」）へと，思考の再構成を伴う内省の質が

**企業研修におけるAARサイクルの活用スキーム**

| フェーズ | 活用内容の例 | 期待される効果 |
|---|---|---|
| Anticipation（予見） | 現状の課題に対して「なぜこれが問題なのか？」「将来どんなリスクや機会があるか？」などの問いを立てる | 当事者意識の醸成、先見性の育成 |
| Action（行動） | プロジェクト設計・施策立案・実践的アクション（小規模実験など） | 仮説検証力、部門横断の連携力 |
| Reflection（省察） | 結果を共有し、問いの再定義・内省・再挑戦へ | 学習する組織文化、反省と改善の習慣化 |

問われるようになる。

このように，AAR サイクルでは，学習者の発達段階に伴って**「扱う問い」**，**「対象とする課題」**，**「求められる思考の粒度」**を柔軟に変化させうる構造を持ち，初等教育から高等教育，さらには生涯学習や企業人材育成にまで拡張可能な探究的学習の基盤としての可能性を有している。

### 2.3 スタンフォード大学d.schoolでの創造的問題解決とHMWの役割

スタンフォード大学の d.school では，2004 年に設立され，**デザイン思考を基軸とした実践的学習モデル**を開発してきた。その中核をなすのが，**HMW（How Might We…?）による創造的思考を誘発する問い**である。この問いは，通常の疑問文とは異なり，「How（どのように）」によって**行動志向性**を持たせ，「Might（～かもしれない）」によって**可能性と柔軟性を確保**し，「We（私たち）」によって**主体性と協働性を暗に含む**という構文的意図が込められている。HMW によって，学習者の問題解決に向かう思考プロセスにおいて，

- 課題発見からアイデア創出へとつなげる転換点
- 制約の中に可能性を見出す視点の喚起
- 主体的な行動を促すための意識の変容

がもたらされる。

**デザイン思考（Design Thinking）の 5 段階プロセス**において，特に「Define(定義) → Ideate(発想)」間の橋渡しとして，HMW の問いは重要な役割を果たす。

**HMW における問いの階層構造**

| ステップ | 概要 | HMWの関係性 |
|---|---|---|
| Empathize（共感） | ユーザーや当事者の経験・感情・背景に深く共感し、観察・傾聴を通じて意味を探る。 | 潜在的な課題や違和感の察知（HMW前段階の素材） |
| Define（定義） | 集めた情報から本質的な課題を明確化し、問題を再定義。 | HMWの問いを導出するフェーズ。問いのスコープと焦点を構造化する。 |
| Ideate（発想） | HMWを起点に、制約を取り払って自由なアイデアを数多く生み出す。 | HMWが発想の"問いの型枠"として機能し、創造的思考を促す。 |
| Prototype（試作） | 思考の具現化。実験的な形で解決策を視覚化・体験化する。 | HMWに対する具体的な応答の試作。問いの実装段階。 |
| Test（検証） | 実装案に対してフィードバックを得て、再設計する。 | HMWの問いを再考し、新たな問いの発見につながる再循環。 |

HMW の手法は現在，カリフォルニア州，スウェーデンの学校教育探究学習カリキュラムやスタンフォード，**MIT Media Lab** などの高等教育における探究活動の中でひろく活用されている。一例として，**共感のステップ**では，中学生が校内のゴミ問題に着目し，「なぜ分別が守られないのか」という素朴な疑問をもとに，実際の行動や状況を観察する。この段階の問いは，現象への気付きや問題意識を表すものであり，まだ検討の方向性は定まっていない。その後，この問いは「自分たちにとって，リサイクルをもっと簡単で楽しいものにするには，どうすればよいだろうか」という **HMW の形に言い換え**られる。ここでは，対象（生徒），改善の方向性（簡単で楽しい），行為（リサイクル）が明示され，発想や検討が可能な問いへと構造化される。**発想（アイデア創出）ステップ**でカラフルで目を引く分別ポスターの作成や，QR コードを読み取ることでリサイクルに応じたポイントが貯まる仕組みなどを考案し，**試作と検証**ステップで，アイデアを実際に導入し，アンケートなどによって効果を評価した上で，結果を踏まえて再設計を行う。

このように問いを構造化することで，探究は漠然とした問題意識の表明から，具体的な仮説や解決案を検討できる段階へと移行する。さらに，提案されたアイデアは，試作や実践を通して検証され，その効果をデータや評価に基づいて見直すことで，問い自体も再構成されていく。

## 3 まとめ

本稿では，探究学習の質的向上を，成果物の完成度ではなく，問いを起点とした思考プロセスの構造と深化の観点から捉える視点を示した。国際バカロレア（IB），OECD Learning Compass，スタンフォード大学 d.school に見られる探究学習の枠組みは，いずれも問いを意図的に設計・再構成することで，学習者の思考を事実の把握から説明，判断，行動へと段階的に導いている点で共通している。

このように問いを起点とした探究の構造や枠組みを明示することは，探究学習を「何をやったか」ではなく，「どのように考え，どの段階まで到達したか」という観点から捉えることを可能にする。その結果，探究の過程そのものを評価対象とするルーブリックの設計や，学習者と指導者である教員が共有すべき到達の方向性を可視化することにもつながる。問いの構造と深化に着目する視点は，探究学習の設計・実践・評価を一体的に捉えるための有効な基盤を提供するものである。❖

**参考文献**

・中央教育審議会 教育課程企画特別部会. (2025).教育課程の在り方に関する検討資料（令和7年9月19日配布資料）.

# NIEとメディアリテラシー

**竹内 弘明** ／ たけうち ひろあき

神戸親和大学教授。兵庫県公立中学校・高等学校教諭，兵庫県教育委員会指導主事，管理主事，人事第一係長，教職員課副課長，高校教育課長，教育次長，県立高等学校長，私立中学校・高等学校長を経て現職。現在，Rimse 参与。兵庫県 NIE 推進協議会会長

## 1 NIE について

NIE は Newspaper in Education と言う意味で，学校で新聞を教材として活用する活動です。全国で展開されており，各都道府県に NIE 推進協議会が設置されています。2025 年の全国大会は神戸で開催され，「時代を読み解き，いのちを守る NIE」のスローガンの下，全国各地から 1,800 人を超える参加者が集い，NIE 活動について熱い議論が交わされました。

## 2 新聞と SNS

今，新聞を読む人は年々減っています。日本新聞協会によると，新聞の発行部数は 2000 年には一般紙とスポーツ紙を併せて約 5,371 万部あったものが，2024 年には約 2,662 万部に減っています。1 世帯あたりの部数も 2000 年には 1.13 部あったものが 2024 年には 0.45 部まで減ってきています。

この背景にはインターネットがあります。

SNS や動画投稿サイトなどのネット情報は誰もが簡単に素早く無料で情報を入手できることから，情報源として大きな存在となっており，多くの人がネットから情報を収集しています。しかもインターネットの情報はリアルタイムで届きます。事件や事故が起これば，報道記者が駆けつける前に，その場に居合わせた人がネットに投稿する時代です。世界中の情報が瞬時に共有できるのです。

でも注意が必要です。確かにネットの情報は早く届きますが，それはその事件・事故等の 1 つの側面を投稿しているだけで全体像はわかりません。偽・誤情報の可能性もあり情報の信頼性は脆弱です。また，ネットの情報発信者に報道倫理はありません。人を傷つけてしまう記事も存在します。

他にも検索履歴などをもとに関心のある情報ばかりが表示されて他の情報が見えにくくなる「フィルターバブル」。自分の意見を投稿すると，多くの人から同じような意見が返ってくるので自分の意見を確信し，増幅，強化される「エコーチェンバー」。SNS の閲覧数を増やして広告収入を稼ぐ「アテンションエコノミー」などの課題があります。

怖いのはフェイクニュースや誹謗中傷など誤った情報も前述の課題などにより，正しいと思い込んでしまう危険性があることです。そして何より拡散力です。特にフェイク情報は正しい情報よりも拡散力があります。フェイク情報は意外な情報であったり，怒りや不安をあおるような内容が多く，人に伝えたいという思いがより強いため，より広くより早く拡散し，その影響は甚大です。

今，SNS 等インターネットによる誹謗中傷や偽・誤情報が課題となる中，新聞が見直されようとしています。

新聞は最も古いメディアで，新しいメディアである SNS とは対局にあります。新聞の情報は届くのが遅く，しかも有料です。でも実直に正しく公正な信頼できる情報を届けています。報道するものとしての責任を自覚し，報道倫理に基づき報道することで人を傷つけたり，不幸にしないように配慮もしています。真実を報道するため入念なファクトチェックもしています。さらにニュースとしての価値判断をした上で記事にし，紙面の大きさなどで価値付けもしています。アナログの新聞は記事が手元に残りますからいい加減な記事は書けませんし，ミスも許されません。文章を推敲し，何人もの目を経て世に出

ます。情報の重みが違います。

新聞を目にするとさまざまな記事が掲載されています。政治・経済，芸術・文化・スポーツ等々，目を引く見出しに思わず読んでしまうのです。新聞にはさまざまな出来事を伝える「網羅性」とざっと見て世の中の動きが分かる「一覧性」があります。自分の関心のない情報も目に入り，それを読むことで視野が広がります。また，紙媒体として手元に残りますから記録として，アーカイブとして残すのにも適しています。

## 3 主権者教育

SNSと新聞が象徴するニューメディアとオールドメディア。この言葉が顕著になったのが2024年の選挙です。東京都知事選挙，衆議院選挙，中でも兵庫県知事選挙は大きな話題になりました。

選挙運動期間中オールドメディアは公職選挙法も気にしながら控えめな報道になる傾向がありますが，一方で動画投稿サイトやSNSは個人の発信者も多く，特定の候補者についても自由に発信できます。そのような中，真偽不明の情報や誹謗・中傷も多く飛び交いました。新聞やテレビがファクトチェックをしている間にもSNSでは情報が拡散していき，チェックの結果，根拠のない情報だとわかっても，その修正は困難でした。そして支援する候補者を巡り，有権者の分断を生みました。2025年に行われた宮城県知事選挙でも同様の事案が起こっています。

兵庫県知事選挙後の神戸新聞社のアンケートでは有権者がどこから情報を収集するか，という問いにSNSやインターネットと答える有権者が多くいました。一方でその情報の信頼性についてはわからないと答える人も多かったとのことです。これでは民主主義も危うくなります。選挙においては正しい情報に基づき冷静に判断することが極めて重要です。正しい情報を得るためには複数の情報源をもつことが不可欠です。民主主義を守るためにも主権者教育は大切です。その主権者教育の中には情報の真偽を判別できる批判的思考力も求められます。さまざまなメディアがあふれるこれからの情報社会を生きていく子供たちには正しい情報を取捨選択し，自分で読み解く力，メデイアリテラシーが求められます。

## 4 NIEが目指すもの

新聞については学習指導要領に新聞活用について言及されていますし，全国学力学習状況調査においては，毎回新聞について聞いており，新聞をよく読む児童生徒ほど正答率が高くなっているという調査結果が出ています。

令和7年度の調査において，小学校では「ほぼ毎日読んでいる」児童は3.6％で「ほとんど，または全く読まない」児童は77.5％にもなりますが，両者の正答率には，国語で9.6ポイント，算数15.3ポイント，理科11.1ポイントの差がありました。中学校では「ほぼ毎日読んでいる」生徒は1.7％，「ほとんど，または全く読まない」生徒は81.9％で両者の正答率には，国語で8.1ポイント，数学13.7ポイントの差がありました（国立教育政策研究所 令和7年度全国学力・学習状況調査調査結果）。

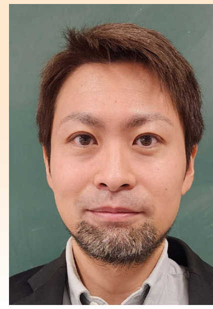
また，PISAの調査においても新聞をよく読む生徒の読解力の得点が高いという結果が出ています（PISA2018）。

NIEの取り組みはさまざまです。小・中・高等学校や特別支援学校など，子供たちの状況によっても多種多様なアプローチがあります。

新聞の中から数を探し，その数は何の数なのか調べて発表し合う。朝学習の時間にテーマを決めて各自が記事を選んで伝え合う。3年間NIEノート（記事スクラップ）を作成し，社会全体を多面的・多角的に考察する。1つのニュースについて新聞によってどのように捉えて報じているか複数の新聞を比較してみる。出前授業で新聞の読み方や文章の書き方を学んだ後，記事の内容を5W1Hで読み取り，記事に見出しをつけてみる。探究の時間に新聞ポスターの作成を通して社会の諸問題を考える。コラムを読み文章構成を学んだり，要約トレーニングを行う。報道の裏に何があるかを考え，探究活動の問いづくりに活用するなど，新聞を材料に，さまざまな切り口で授業を展開しています。

新聞は子供たちと社会をつなぐツールです。広い世界への窓です。新聞をうまく活用することで読解力や社会的洞察力，社会的思考力や批判的思考力，メディアリテラシーなど，これからの不透明な時代を生きていく子供たちに求められる力を育成していくことができます。ネットの時代だからこそ胸を張ってNIE活動に取り組んでほしいと思います。

# 算数を愉しむ場を創る：熊本県「わくわく！算数ラボ」



熊本大学大学院教育学研究科 准教授
吉井 貴寿 ／ よしい たかとし
2016年早稲田大学大学院教育学研究科教科教育学教育専攻 博士後期課程修了。博士（教育学）。主に「探究学習」,「授業研究」,「教材研究」,「職能開発」等を研究している。

## 算数を愉しむ場

各教科の学びは，人生を豊かにする一助となると考えています。余暇の過ごし方はさまざまですが，「読書をする（国語科）」「史跡を巡る（社会科）」「動物園・水族館に行く（理科）」「スポーツをする・観る（体育科）」「音楽を奏でる・聞く（音楽科）」「料理をする（家庭科）」など，教科と結びつきを有するものが多数あります。ところが算数・数学となると学校の授業の中だけで学ぶものとなってしまっていることが少なくありません。数学をテーマにした科学館（数学館）やイベント，カフェなども存在しますが，その数は決して多くなく知名度も低い状況です。そのため，算数・数学を専門とする学生や教師であっても，休日に趣味として算数・数学を愉しんだ経験が乏しいようです。当然，子供たちも同じです。算数に興味を持った子供が休日に訪れる「算数を愉しむ場」が不足しています。そのような場を充実させ，算数を趣味として愉しむ方が増えて欲しいと願っています。

## 国立大学の役割

現在，熊本県には「算数を愉しむ場」が不足しています。国立大学には地域の社会・文化の拠点としての役割が期待されます。そこで，熊本大学の教員として，算数を愉しむ文化や，それを可能とする社会を創ることを目指そうと考えて始めたのが本取り組みです。本取り組みでは，教育学部学生とともに，地域の子供たちに「算数を愉しむ場」を提供することを目指しました。以下で，本取り組みの概要を紹介します。

## 熊本県「わくわく！算数ラボ」

2025年8月3日（日）に熊本大学教育学部附属教育実践総合センターで，小学生を対象とした算数イベント「わくわく！算数ラボ」を開催しました（共催：啓林館）。本イベントでは「見て，触って，納得！」をコンセプトとし，算数が苦手な子供でも愉しめる算数パズルを4ブース（「数と計算の間」,「振り子の間」,「Kの間」,「量と感覚の間」）用意しました。当日は約60名の子供が参加し，算数に親しみました。各ブースの活動内容は次の通りです。

### ① 数と計算の間

1～6の目があるサイコロ2個と「＋，＋，－，×，×，×」の6つの演算記号が書かれたサイコロ1個を用いてビンゴを行う「サイコロビンゴ」というゲームを実施しました。子供たちは，サイコロを振って計算を繰り返す中で，サイコロの目の組み合わせとして得やすい数があることや，得ることできない数があることに気付きます。サイコロの目を固定することができるアイテムも用意したことで，数をどのように構成すれば良いか話し合う機会が生まれ，そういった活動を通じて子供たちは数と計算，確率に対する理解を深めていきました。

**図1 「数と計算の間」の活動風景**

### ② 振り子の間

糸の長さが異なる複数の振り子を並べて揺らすと，波のよ

うに見える美しい動きが現れる「ペンデュラムウェーブ」と呼ばれる現象があります。このブースでは実際にペンデュラムウェーブの観察を行い，その上で振り子の糸の長さと周期に関する問題に取り組みました。子供たちは問題の考察を通じて，振り子の周期に関する法則と，公倍数についての理解を深めていきました。


**図2　「振り子の間」の活動風景**

### ③　Kの間

さまざまな形のピースを組み合わせて形を作るパズルを「シルエットパズル」といいます。今回は，「T パズル」「F パズル」という名前で知られている２種類のシルエットパズルと，研究室で開発した「K パズル」という新種のシルエットパズルを用意しました。子供たちは，これらのパズルに取り組む中で，辺や角の大きさに着目して図形を考察することを学んでいきました。

**図3　「Kの間」の活動風景**

### ④　量と感覚の間

具体物を見ながらその長さ・重さ・かさを考える活動を行いました。より具体的には，「（ヘアピン，えんぴつ，スマートフォン，バット，かさ，くつヒモ，なわとび）を組み合わせて 300cm を作る活動」，「（ガム，野球ボール，ガラスの置物，ペットボトル，漢字辞典，ランドセル，鍵盤ハーモニカ）を組み合わせて 2000g を作る活動」「（目薬の容器，紙コップの底にあるくぼみ，メガネ型のストロー，ドーナツ型の容器，牛乳パック，ペットボトル，M サイズドリンクのカップ，サンタの靴下）を組み合わせて 1000mL を作る活動」の３つを行いました。子供たちは，これらの活動を通じて，長さ・重さ・かさの量感を養うとともに，それらの大小を比較する方法について理解を深めていきました。

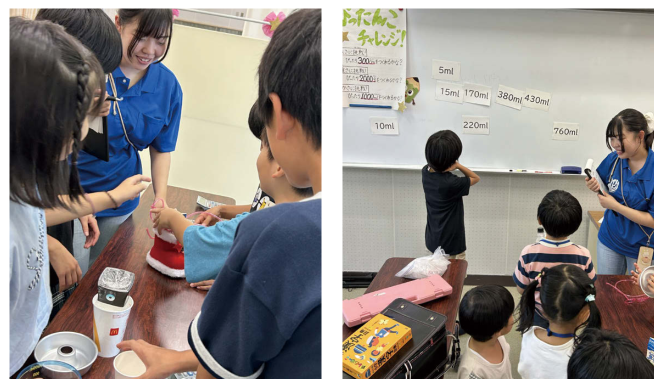



**図4　「量と感覚の間」の活動風景**

## おわりに

来場者アンケートの結果をみると，本イベントに「大変満足した」との回答が多く，このようなイベントに「また参加したい」という声も多数寄せられていました。また，各ブースのコンテンツ作成や，活動の補助を手伝ってくれた教育学部学生にとっても良い学びの機会となったようでした。今後も学生たちとともに，実施形態やコンテンツの改良を検討し，持続可能性を有する「算数を愉しむ場」を創出することで，「算数を愉しむ子供」と「算数の愉しみ方を伝えられる教師」の双方を育んでいきたいと考えています。　❖

**令和8年度Rimse研究助成のお知らせ**

Rimseでは，理数教育の振興・充実のための先進的な研究に意欲的に取り組んでいる団体，学校などの研究グループに対して助成を行います。
申請受付期間：2026年2月1日～4月30日
詳細はRimseのホームページをご覧ください。
https://www.rimse.or.jp/grants/

**編集後記**

次号では，次期学習指導要領に向けたこれからの初等中等教育について特集します。

（公財）理数教育研究所 事務局

あいう 数学と言葉 第13回

# 「数学用語」その８

### ｐならばｑ
### なぜｐは十分条件，ｑは必要条件なのか

サイエンスナビゲーター® 桜井 進／さくらい すすむ

## 必要・十分の“なぜ”

条件p, qにおいて, 命題p⇒qが真であるとき,

pはqであるための十分条件である

qはpであるための必要条件である

という。

高校数学教科書にはなぜｐ，ｑをそれぞれ十分条件，必要と呼ぶのかの理由が説明されていません。学習参考書もしかりです。説明するまでもない自明なことだと言わんばかりです。さらに, ここに「集合」が加わることになります。はたして，「十分⇒必要」の⇒を矢とみて，「矢の先必要」「矢の元は十分に引け」のようなうまい覚え方で暗記することになってしまいます。必要・十分は日常で普通に使われている言葉です。広辞苑第五版には次のようにあります。

**十分条件** 〔論〕(sufficient condition)

事項または判断Ｐが成立すれば, 事項または判断Ｑが成立するという関係がある時, ＰをＱの成立のための十分条件という。

**必要条件** 〔論〕(necessary condition)

Ｐが成り立たなければＱも成り立たないという関係がある時, ＰをＱの必要条件という。

なるほど教科書にあってもいい解説です。にもかかわらず数学用語として使われると簡単ではなくなるのは“なぜ”なのでしょうか。必要・十分の“なぜ”の謎解きをしてみましょう。

## 合格する条件は60点以上の得点

この日常の文は数学の文 ― 必要と十分を用いた命題 ― に翻訳できます。

合格するには60点以上が必要

合格するには80点以上あれば十分

さらに「⇒（ならば）」を用いて，これらは次のように表すことができます。

合格 ⇒ 60点以上（必要条件）

80点以上（十分条件） ⇒ 合格

なるほど, 矢（⇒）の先が必要条件, 矢（⇒）の元が十分条件であることがわかります。

## 人間ならば生物である

前例とちがってこの例文は「ならば」が使われているので「人間⇒生物」であることは容易ですが,「必要」「十分」が使われていないので,「人間」「生物」が「必要」「十分」のどちらの条件なのかが明らかではありません。

① 人間であることをいうには生物であることが必要

② 生物であることをいうには人間であることを言えば十分

2つをくらべてみると，①よりも②の方が自然な言葉使いです。②は次のように表すことができます。

人間（十分条件）⇒ 生物

矢（⇒）の元が十分条件であることがわかります。

## 命題p⇒qを集合の包含関係で捉える

条件ｐ，ｑをみたす集合をそれぞれＰ，Ｑとすることで命題を集合の包含関係（簡単に大きさのちがい）に書き換えることができます。

「60点以上」と「80点以上」の範囲（100点満点の試験だとします）を図示すると

得点 60 70 80 90 100

├──┤（80点以上） 十分条件 = 集合P

├────┤（60点以上） 必要条件 = 集合Q

集合Qに集合Pが含まれます（Qの方がPよりも大きい）。すなわち次のように命題を集合の関係で表すことができます。

十分条件p ⇒ 必要条件qのとき，P⊂Q

十分条件の集合Pの方が必要条件の集合Qよりも大きいということです。

命題「人間ならば生物」では，生物（必要条件）の集合に人間（十分条件）が含まれる（生物の集合の方が人間のそれよりも大きい）ことは明らかです。こうして「十分条件⊂必要条件」であることが理解できます。

## 必要・十分と必要条件・十分条件

(日常)一日3食で茶碗3杯の米が必要。

(数学)偶数であることは一の位が2の倍数であることの必要十分条件である。

(日常)の言葉使いは容易です。(日常)を「p ⇒ q」に翻訳すれば「生きる ⇒ 3杯の米」です。条件pすなわち「生きる」が“省略”されていても意味が通じます。そして日常の「必要」「十分」には「条件」が必要ないこともその言葉使いを容易にしています。それに対して，(数学)からわかるように“省略”は許されず,「条件」は必須です。なるほど数学は容易ではないということです。

Rimse（リムス） No.45

編集・発行 公益財団法人 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
東大前HiRAKU GATE2階
TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail : info@rimse.or.jp
https : //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：提供：アフロ



2026年2月20日発行