

## 生物多様性の数量的評価を題材とする中学校数学科の授業

### Lessons of Junior High School Mathematics which Used Measurement of Biodiversity for Teaching Materials

垣水 修・若月 美里・斎藤 孝太・藤崎 雅史  
藤田 豪・有山 由依・小堺 寛子・高橋 彩

Osamu KAKIMIZU, Misato WAKATUKI, Kouta SAITO

Masaki FUJISAKI, Go FUJITA, Yui ARIYAMA

Hiroko KOSAKAI and Aya TAKAHASHI

#### 0. はじめに

今日、個人と社会との関係は、論理的であると同時に動的でもある。個人に求められる能力は、様々の異なる領域に横断的に関係しながら、正常に機能する社会や自然環境の維持に貢献する能力である。したがって、社会的であり環境に対する意識の高い人間を育てることは、教育の重要な目標であるといえるであろう。経済協力開発機構（OECD）は2000年以来、生徒の学習到達度に関する国際比較調査（PISA調査）をおこなっている（[1], [2], [3]）。この調査は、各国の子どもたちが将来生活していく上で必要とされる知識や技能が、義務教育終了段階において、どの程度身につけているかを測定することを目的としている。PISA調査においては、数学的リテラシーを「数学が世界で果たす役割を見つけ、理解する能力。確実な数学的根拠に基づき判断をおこなう能力。数学に携わる能力」と定義しているが、これらの能力は本来教科横断的に育成されるものであると考えられる。

平成20年3月に告示された「新学習指導要領」では、改訂の基本方針として「基礎的・基本的な知識・技能を確実に習得させること、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむことの双方が重要であり、これらのバランスを重視する必要がある」としたう

えで、さらに「教科の枠を超えた横断的・総合的な課題について各教科等で習得した知識・技能を相互に関連付けながら解決するといった探究活動の質的な充実を図ることなどにより思考力・判断力・表現力等を育成すること」が重要性であるとしている[5]。また中学校段階では、知的な面では抽象的、論理的思考が発達するとともに社会性なども身につけていくことから、教育課程実施上の配慮事項として、「持続可能な社会を形成するという観点から、私たちがよりよい社会を築いていくために解決すべき課題を探究させ、自分の考えをまとめさせる」などの活動の充実を図ることが重要であるとしている（[4], [5]）。

我々は以上のような観点に立って、自然環境の維持に関係した概念である「生物多様性」を教材として用いた中学校数学科の授業について研究をおこなった。環境問題は生徒たちにとって将来直面する重要な課題である。人類は、生物多様性から多くの恩恵を受けており、その恩恵が人々の生活と大きく結び付いている。しかし、普段人々は生物多様性について考えることが少ない。そこで、生物多様性を数学的な観点から取り上げ、それに関する問題を生徒たちに考えさせることで、生物多様性についての理解が深まるだろうと考えた。また、そうした問題設定における、数学を活用する場面により、数学が生活の中で役に立つのだということを生徒が実感できると期待したのである。我々は生物多様性の中でも特に種の多様性に焦点を当て、種の多様性を比較する際に用いられる尺度であるシン普森指数を取り入

れた授業を構想し、新潟大学教育学部附属新潟中学校において、授業実践をおこなった。

第1節では、生物多様性に関する基本的な考え方について解説し、第2節で、授業の構想と内容について詳しく述べ、第3節において実践結果を分析し考察をおこなう。

## 1. 生物多様性とその数量的評価

### (1) 生物多様性

生物多様性とは、あらゆる生物種の多さとそれらによって成り立っている生態系の豊かさやバランスが保たれている状態のことである。生物多様性には「種の多様性」、「遺伝子多様性」、「生態系の多様性」という3つのレベルの多様性が考えられている〔14〕,〔15〕。

#### a) 種の多様性

種の多様性とは、ある地域や生息地に含まれる種組成の多様さを意味する。ある地域や生息地に含まれる種数のことを種の豊富さといい、種数が多いほど種組成が多様であるといえる。また、種組成の均等さを示す尺度を均等度という。この2つの要素が種の多様性を考える上で重要である。例として、表1のような4種類の樹木からなる群集AとBを考える。群集AとBでは、種の豊富さが同じであるが、群集Bのほうが種あたりの個体数が均等であることから、群集Bの方が種の多様性が高いといえる。このように種の多様性は「種の豊富さ」と「種組成の均等度」という2つの要素を含んだ概念である。

表1 均等度の異なる樹木の群集

樹木の種	群集A (%)	群集B (%)
種1	97	25
種2	1	25
種3	1	25
種4	1	25

#### b) 遺伝子多様性

遺伝子多様性とは、1つの集団において、ある特定の種の遺伝子を比べたときのバリエーションの豊富さを表している。遺伝子多様性が小さいほど環境変化などの要因で絶滅する危険性が高いと考えられる。逆に、遺伝子多様性が大きいほど安定し、種の

存続の可能性が高くなる。これは様々な環境変化に対応した個体が存在するからである。

#### c) 生態系の多様性

生態系の多様性とは、ある空間に生きるすべての生物とその環境要素からなる1つのシステムをいう。生態系には、システムの構造や機能にとりわけ大きな影響力をもつ種や種群が含まれている。生態系に多様性をもたらす要因として、攪乱がある。攪乱には、野火の発生・暴雨による倒木などの自然的な攪乱と、火入れ、家畜の放牧、農林業、都市や道路などの人為的な攪乱がある。これらにより、以前とは異なる状況が生じたり、人の手が加えられることで生態系が繰り返し初期段階に戻されたりすることから生物が多様になる。また、生態系には、外からの変化を促す力を受けた場合、外力に抗して変化を押しとどめる「抵抗性」と、変化してもすばやくもとに戻る「復帰性」という性質がある。これらは、地球環境の持続可能性を保証する生態系の健全性につながる要素である。

#### d) 生物多様性条約

生物多様性条約は、1992年のリオの地球サミットで採択された条約の1つである。具体的な条約の目標は次の3点である〔15〕,〔18〕。

- (i) 生物の多様性の保全
- (ii) 生物多様性の構成要素の持続可能な利用
- (iii) 遺伝資源の利用から生ずる利益の公正な分配

しかし、先進国と発展途上国では意見の対立がみられる。その背景には、保全を優先させたい先進国と、多くの貧困層を抱え、開発や利用を優先させたい発展途上国の方針の違いがある。先進国は長期的な利益を求め、発展途上国は短期的な利益を求めていると考えることもできる。先進国では世界規模での共通した行動や計画を呼び掛け、一方発展途上国では自国の資源開発への制約を嫌い、主権や権利を繰り返し主張している状況にある。

生物多様性条約では、国家戦略的政策の策定など、国家レベルでの活動を特に強化していく必要性が指摘されている。また、国内だけでなく、多くの国々で対話を行い、情報を共有しながらお互いの成果を反映していくような関係が求められる。条約が採択され、発効したこと自体、大変な成果であると考えられているが、保全や持続可能な利用など、その目

的が各国で実行に移されてこそ、条約の意義は深まる。そこで、条約を批准した各国が定期的集まり、その進捗度合い、成果、新たな課題について話し合う場として条約会議が開催されている。近年では、2010年に愛知県名古屋市でCOP10が開催された[15].

**(2) 種の多様性の数量的評価**

種の多様性は種の豊富さと種組成の均等さという2つの要素を含んだ概念である。生物群集に対して種多様性を表現し、比較するために様々な多様度指数が開発されている。それらの指数は、種の豊富さと種組成の均等さの両方を考慮したものでなければならない。そのなかでもよく使われるものに、Shannon-Wiener (シャノン・ウィーナー) 指数 H とSimpson (シンプソン) 指数 D の2つがある ([14], [16]).

$$\text{シャノン指数 : } H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

$$\text{シンプソン指数 : } D = 1 / \sum_{i=1}^S p_i^2$$

ここで、Sは生物群集中の種数を表し、 $p_i$ は全種の個体数のうちで種*i*が占める割合(相対優占度)を表している。本稿においては、特にシンプソン指数を取り上げる。

シンプソン指数は、次の性質を持つ。

- 種の数と同じ場合、均等度が高いほうが種の多様性は高くなる。
- 種の数が増加すると種の多様性は高くなる。
- 種の数と各種の個体数の変化の仕方を変えない場合、全体の数を変えても値は同じになるので、全体の数はシンプソン指数に本質的な影響はない。
- ある群集においてシンプソン指数を考えたとき、個体数の多い種の相対頻度に強く影響される。これは、シンプソン指数の公式からもわかるように、全体の数のうちそれぞれの種が占める割合を用いるため、その割合が極端に大きいものがあるほど数値は小さくなる。

**(3) キラーニー地方における鳥類の多様性**

ここでは具体的なデータを用いて、生物多様性の

表2 キラーニーの森における鳥類の調査 [16]

	ブナ林	イチイ林	マツ林	合計
ズアオトリ	35	9	14	58
ヨーロッパコマドリ	26	20	10	56
アオガラ	25	10	0	35
キクイタダキ	21	21	30	72
ミソサザイ	16	5	4	25
ヒガラ	11	14	6	31
マダラヒタキ	6	0	0	6
キバシリ	5	3	0	8
マヒワ	3	2	7	12
クロウタドリ	3	6	3	12
シジュウカラ	3	9	0	12
エナガ	3	2	0	5
モリバト	3	0	0	3
ハイイロガラス	2	0	0	2
ヤマシギ	2	0	0	2
ウタツグミ	2	6	0	8
ジョウビタキ	1	0	0	1
ヤドリギツグミ	1	0	0	1
ヨーロッパカヤクグリ	1	0	0	1
ハイタカ	1	1	0	2
トラフズク	0	1	0	1
カケス	0	1	0	1
チフシャフムシクイ	0	0	1	1
合計	170	110	75	355

大きさを表すシンプソン指数を計算で求め、生物多様性の大きさの比較をおこなう。表2は、1979年にアイルランド南西部に位置するキラニー地方にある三つの森林でおこなわれた、鳥の分布調査の結果である [16]。

このデータをもとにシンプソン指数を計算すると表3の結果を得る。

表3 三つの森のシンプソン指数

	ブナ林	イチイ林	マツ林
シンプソン指数	0.88007	0.88298	0.76764

この計算結果はどのような意味を持っているだろうか。図4は、生物多様性の大きさを比較しやすいように、各鳥種の個体数をグラフで表したものである。なお、視覚的に捉えやすいように、個体数は各森林で多いものから順にならべてある。このような

グラフは、相対優先度曲線と呼ばれている。

表2、3と図4を比較することによって次のことが分かる。

- マツ林には、キクイタダキの個体数が多い。しかし、生息している鳥類種類が他の2つの森林に比べて少ないことや個体数の均等度が低いことから、生物多様性が最も低くなっていると考えられる。
- ブナ林とイチイ林を比較すると、全体の数・種の数ともにブナ林が多いが、生物多様性が大きいのはイチイ林である。この原因を考えるにあたりグラフの傾きを見てみると、イチイ林のほうがブナ林よりもなめらかであることから、イチイ林の方が均等度が高いといえる。
- この比較では、生物の多様性の尺度を測る上で重要となる種の豊富さと種組成の均等さのうち、均等さが大きく反映されたと考えられる。

相対優先度曲線

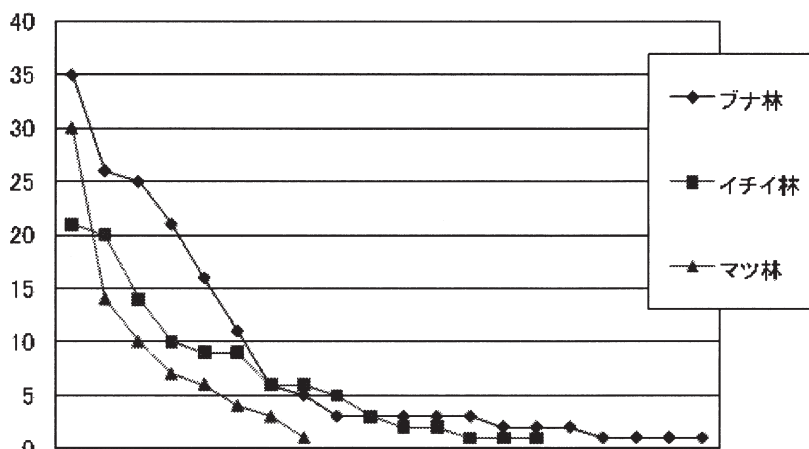


図4 相対優先度曲線

#### (4) 生物多様性と環境保全

生物多様性は身近な暮らしに大きく関係するものであり、私たちに多くの恵みをもたらしている。例えば、生態系に関する国際的な調査「ミレニアム・エコシステム・アセスメント」では、生態系に由来する人類の利益となる機能を、次の四つの領域に分類している ([15], [18])。

a) サポート：生態系サービスの土台を築くもの

で、生息地、栄養、水、土壌の形成といったように人間社会を含む生物種や生息域が生存・存続するための環境を形成し、維持する。

b) 緩和作用：汚染や気候の変動、害虫の急激な発生などの急激な変化を緩和し、人間社会に対する影響が緩和される効果。

c) 供給作用：食料、繊維、燃料、淡水、遺伝子資源といったものを、人間社会は生態系に依存している。

d) 文化的作用：生態系は精神、宗教的な価値をもたらしており、また知識、教育、インスピレーション等を支えてもいる。

このような観点からすると、人間社会は生物多様性によって成り立っていることが分かる。したがって、生物多様性が損なわれると、人間の生活は成り立たなくなるであろうと考えられる。現在野生動植物の多くが絶滅の危機に瀕していると言われている。例えば、新潟県で身近な動物であるトキは、乱獲や生息地の減少により、1981年に野生のものは絶滅し、続いて、2003年には日本産トキが絶滅している[17]。

生物多様性には3つの危機があると考えられている。第1の危機は「人間活動による生態系の破壊、種の減少、絶滅」である。既に、戦後、干潟の4割が減少している。第2の危機は「人間の働きかけの減少による影響」がある。新潟県にある佐潟は人間の働きかけがなくなり、環境が単純化して生物多様性が低下した。第3の危機は「外来生物などによる生態系の攪乱」がある。外来生物には、オオクチバス、マングースを始めとする、様々な動植物が挙げられるが、その影響は甚大である。

日本は平成19年に第3次生物多様性国家戦略を立てた[19]。これは100年先を見通したうえで今後5年間程度の間に取り組むべき施策の方向性を4つの基本戦略として提示したものである。1つ目は、「生物多様性を社会に浸透させる」ということである。いきものにぎわいプロジェクト（広報の推進、生物多様性に配慮したライフスタイルの提案など）や放課後の自然体験学習や農村漁村宿泊体験を行っている。2つ目は、「地域における人と自然の関係を再構築する」ことである。未来に引き継ぎたい重要里地里山の選定と共有資源としての管理モデル構築、鳥獣とすみ分けられる地域づくり、希少動物の生息できる空間づくりと外来種の防除を行っている。3つ目は、「森・里・川・海のつながりを確保する」ことである。国土レベルの生態系ネットワークの具現化、国立・国定公園の総点検と自然再生の推進、漁業と両立する海域保護区のあり方の検討があげられる。4つ目は、「地球規模の視野を持って行動する」ことである。生物多様性の観点からの温暖化の緩和策と適応策検討（森林・湿原の保全、生態系ネットワークの形成など）、自然共生モデルの世界への発信（SATOYAMA イニシアティブ）、我が国の生物多様性総合評価の実施（生物多様性指標の開発、危機の状況の地図化、ホットスポットの選定）を行っ

ている。具体的な数値目標も設定された。例としては、生物多様性という言葉の認知度を平成16年の30%から50%以上とすることを目標とすることがあげられる。生物多様性という言葉を知っている人は少ない。平成16年に環境省が実施したアンケートでは、自然環境に関心があると回答した人が8割近くに達したのにも関わらず、生物多様性という言葉を知っている人は約1割、聞いたことのある人を含めても3割程度であった、という結果が出ている。

## 2. 授業実践

### (1) 目的

教育実習や学習支援ボランティアなどで生徒と接した際、「数学は日常生活で役に立たない」、「数学は何のために勉強しているのかわからない」といった言葉を耳にすることがよくある。そのため、生徒の数学に対する意識を変え、数学が生徒たちの生活に役立つことを実感させるためには、どのように授業を改善すればいいかを考えることが重要になる。そのためには、数学を活用して環境問題について考えるような課題を数学の授業に取り入れていくことが有効になると考えられる。OECDのPISA調査では、数学的リテラシーを「数学が世界で果たす役割を見つけ、理解し、現在及び将来の個人の生活、職業生活、友人や家族や親族の社会生活、建設的に関心をもった思慮深い市民としての生活において確実な数学的根拠にもとづき判断を行い、数学に携わる能力である」と定義している（[1], [2], [3]）。生物多様性という概念とその計量化は、環境の変化がどれほど野生生物に影響を及ぼしているのかを計測し明らかにすることができるものである。現在世界中で数多くの野生生物が絶滅の危機に瀕しており、その原因として環境の急激な変化が考えられるが、そのことを自分たちの身の回りの問題として意識することは希薄であるかもしれない。しかし、生物多様性について学び、シン普森指数を用いて多様性の大きさを計測することによって、多様性が減少している実態を数値で実感することができる。そして、その数値の変化や変動から環境について様々に考えを巡らせ、今自分たちにできることは何であるのかを主体的に考えることができるであろう。

我々は、いままで学校で学習してきた数学の力を活かし、日常生活の中に存在する場面での数学の役割を生徒に実感させられるような授業を目指した。

題材としては、新潟県の佐潟における環境変化を取り上げることで、生徒にとって親しみやすいものになると考えた。佐潟に飛来する鳥類の個体数の経年変化のデータ ([9], [10]) を用いてシンプソン指数を計算させ、グラフ化することで視覚的にとらえやすくし、その変化の背景から環境問題を考えられるように授業展開を構成した。このように身近な環境における多様性の大きさの変化を計算して算出する活動を通して、数学が日常の中に密接に関わり、役立つことを実感することができるであろう。数学が日常生活で果たす役割を見つけ、理解し、それに基づいて判断を行うことで、数学的リテラシーおよび問題解決力が養われていくと考える。

## (2) シンプソン指数を活用した中学校の授業

生物の多様性の大きさを数値化して表すことができるシンプソン指数は、次の式で与えられた。

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$$

シンプソン指数を用いることで、ある地域に関する生物個体数のデータが得られれば、環境状態の経年変化を数値で表すことができることになる。我々は、これを教育の現場で活かすにはどうしたらよいか考察し、中学校における授業実践に取り組むことを目指した。しかし、上記のシンプソン指数の公式を見てもわかるように、公式にシグマ「 $\Sigma$ 」を含んでおり、中学生を対象とした授業ではそのままの公式では困難である。そこで、中学生にも理解できるように、シンプソン指数を次の形で提示することにした。

$$D = 1 - \left[ \left( \frac{\text{種1の数}}{\text{全体の数}} \right)^2 + \left( \frac{\text{種2の数}}{\text{全体の数}} \right)^2 + \dots + \left( \frac{\text{種nの数}}{\text{全体の数}} \right)^2 \right]$$

シンプソン指数をこのように書き換えることで、数学が苦手な人にとっても生物の多様性を出すことが容易になる。シンプソン指数を有効に活用する場面としては、

- (i) 複数の調査地同士の多様性を比較
- (ii) 調査地での生物群集の時間的変化を調べるときの比較

の2点が挙げられる。複数の調査地の多様性を比較することで、数値の相違による環境の要因を考察したり、または、ある調査地において1年毎に生物群集の調査をし、それらのデータを比較することで、

時間的変化の要因や生物同士の影響を考えて、生物の保全活動の参考にすることができるということである。

### a) 授業テーマ

数学を用いて生物多様性の大きさを評価する方法を理解し、それを用いて新潟県佐潟の環境変化について考察する。

### b) 授業の目標

- ・環境問題における「生物多様性」の考え方を学ぶことにより、様々な分野が相互に関係する問題に対して、数学が有効に活用できることを実感する。
- ・身近な生活場面の中で、「生物多様性」の概念を適用する学習活動を通して、数理的な処理に親しみ、数学を生活に生かしていく方法について考える。

### c) 題材観、目標の設定理由

#### ① 生物多様性という題材

生物多様性とは、あらゆる生物種の多さと、それらによって成り立っている生態系の豊かさおよびバランスが保たれている状態のことである。現在、世界中で数多くの野生生物が絶滅の危機に瀕しており、こうした生物種の減少は開発や乱獲、外来種の持ち込みなど人間の活動に原因があるとも言われている。本授業においては、生物多様性の中でも特に種多様性を取り上げ、種多様性の大きさを数学的に評価する方法について学習する。特定の生息地において、哺乳類、鳥類、昆虫等の個体数の分布から種多様性の大きさを評価するモノサシとしてシンプソン指数と呼ばれる評価式が知られている。まず簡単な例についてシンプソン指数を調べることにより、シンプソン指数の性質と、どのような要因が影響するのかについて考察をおこなう。さらに新潟県の佐潟の鳥類に関する統計データ ([9], [10]) を基にして、実際の生息地における環境の変化と、生物多様性の大きさの変化を比較する学習を行う。また、2012年度は生物多様性条約第10回締約国会議が日本で開催される年でもあることから、生徒の興味を引くことのできる題材であろう。

#### ② 数学的リテラシーの育成

数学的リテラシーとは、数学が世界で果たす役割を見つけ、理解し、現在および将来の個人の生活、職業生活、友人や家族や親族との社会生活、建設的

で関心を持った思慮深い市民としての生活において  
 確実な数学的根拠に基づき判断を行い、数学に携わ  
 る能力である、と定義されている。

今回の授業実践は、

- (i) 架空の森の動物を基に、生物多様性という概  
 念を理解する、
- (ii) 新潟県の佐潟に飛来する鳥類のシンプソン指  
 数を計算によって求める、
- (iii) それらを基に、身の回りの環境問題やその保  
 全についての自分の考えを深める、

という流れで行われる。

### ③ 数学的活動の実践

新しい学習指導要領は、改善の基本方針において、  
 「算数、数学科については、その課題を踏まえ、小・  
 中・高等学校を通じて、発達の段階に応じ、算数的  
 活動・数学的活動を一層充実させ、基礎的・基本的  
 な知識・技能を確実に身につけ、数学的な思考力・  
 表現力を育て、学ぶ意欲を高めるようにする」とし  
 ている。

数学的活動とは、生徒が目的意識を持って主体的  
 に取り組む数学にかかわりのある様々な営みである。  
 ここで、「数学にかかわりのある様々な営み」とし  
 て中学校数学科において重視しているのは、①数や  
 図形の性質などを見出す活動、②数学を利用する活  
 動、および③数学的な表現を用いて説明し伝えあ  
 う活動である。今回の授業実践においては、②と③に  
 焦点を当てて授業をおこなった。

#### d) 指導の構想

**活動A**：架空の森の生物多様性の大小を予想する活  
 動

本内容は導入部分であり、生物多様性の定義に基  
 づいて多様性の大小を考える視点を持たせることが  
 ねらいである。予想には様々な意見が出ると考えら  
 れる。そこで、計算を用いて比べることができれば  
 よいのではないか、という意識を持たせることが狙  
 いである。

**活動B**：架空の森を使って、さまざまな状況におけ  
 るシンプソン指数を求める活動

佐潟の鳥類のシンプソン指数を算出するための準  
 備として、架空の森を使ってシンプソン指数の計算  
 方法を学習することがねらいである。その際、シ  
 ンプソン指数の大きさが生物多様性に関係することや、  
 生物多様性を考える上で種の数とバランスの両方が

大切であることに気付かせる。

**活動C**：佐潟の鳥類のシンプソン指数を求める活動

1986年から2010年まで3年ごとの佐潟における鳥  
 類個体数の経年変化のデータを用いて、それぞれの  
 年についてシンプソン指数を計算で求める。その後、  
 その値を折れ線グラフで表し、その特徴やグラフが  
 どのように変化しているかを視覚的に捉える活動を  
 おこなう。

**活動D**：グラフの特徴を読み取り、その理由を考察  
 する活動

折れ線グラフで表された佐潟の鳥類のシンプソン  
 指数の移り変わりを基に、その特徴や背景を考える。  
 その際、佐潟の歴史や環境に着目させたり、生物多  
 様性の定義から鳥類個体数のデータを分析したりす  
 ることができるようにする。

**活動E**：佐潟における生物多様性の現状を踏まえて、  
 環境問題に関する意識を問う

佐潟では、潟の環境を守るための様々な取り組み  
 がなされており、環境問題と深く結びつきがあり、  
 現在ではごみ拾いやヘドロ取りを通して公園の環境  
 を守っている。その活動が佐潟の生物多様性によ  
 い影響を与えていることから、生徒にも身近なところ  
 で自然環境を良くするための対策について意見を持  
 たせることがねらいである。

#### e) 評価基準

**活動A**：生物多様性の定義を用いて、5つの森のシ  
 ンプソン指数の大小を自分なりに予想することがで  
 きる（関心・意欲・態度；発言、ワークシートに  
 による）。

- (A) 生物多様性の定義を用いて、理由を明確にし  
 て予想することができる。
- (B) 予想することができるが、見た目や勘による  
 ものである。
- (C) への支援：森を2つずつ比較してみるように  
 促す。

**活動B**：シンプソン指数の計算方法を理解し、生物  
 多様性の性質を見出すことができる。

- (知識・理解；発言、ワークシートによる)
- (A) シンプソン指数を求め、種の数やバランスと  
 いった言葉を用いて生物多様性の性質を捉え  
 ることができる。

- (B) 計算過程を明確にしてシンプソン指数を計算することができる。
- (C) への支援：森Aの例に対して、数値を当てはめて計算してみるように促す。

**活動C**：佐潟の鳥類のシンプソン指数を、電卓を用いて正しく計算することができる。

- (知識・理解； ワークシートによる)
- (A) 最後まで計算し、正しい答えを求めることができる。
- (B) 計算に意欲的に取り組んでいる。
- (C) への支援：計算式を確認しながら空欄を埋めるように促す。

**活動D**：グラフの変動や特徴を視覚的に捉え、その背景について考察することができる。

- (見方・考え方； 発言、ワークシートによる)
- (A) 「鳥類個体数のバランスが悪いからシンプソン指数が低い」、「ラムサール条約に登録されたことで人びとの意識が向上し、環境が改善されたからグラフが安定している」など、自分なりに根拠を明確にして予想することができる。
- (B) 「グラフが下がっている」、「シンプソン指数がだんだん低くなっている」など、グラフの

変動の特徴に気付くことができる。

- (C) への支援：グラフの増減を佐潟の環境の話と照らし合わせるように促す。

**活動E**：生徒が記入していることを確認し、授業後の集計に用いるため、評価は行わない。

- f) 授業に用いた資料とデータ  
1時間目のねらいは、次のものである。

「数学的な方法を用いて生物多様性の大きさを評価する考え方を理解する。それを学ぶことを通して、数学を用いて事象を考察し表現することの有効性について理解を深める。」

図5のような架空の森のモデルを生徒に提示し、森Aから森Eの中で、どの森が生物多様性が高く、どの森が少ないかを、生物多様性の概念に基づいて考えさせ、多様性の大小関係を予想させた。その後シンプソン指数の計算方法を解説し、各森のシンプソン指数を算出し、大小関係を確かめた。各森における動物の個体数は表6のようになる。この表から、各森におけるそれぞれの動物の割合を計算すると表7のようになる。これを基にシンプソン指数を計算すると表8の結果を得る。

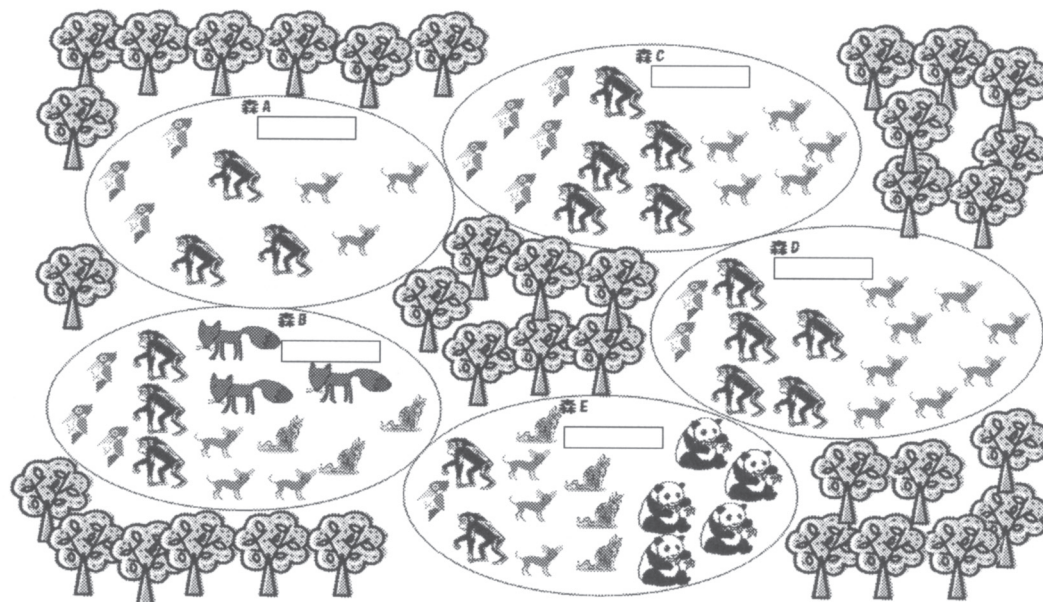


図5 森のモデル



表6 森における動物の個体数

	森A	森B	森C	森D	森E
キツツキ	3	3	5	2	1
サル	3	3	5	5	2
イヌ	3	3	5	8	3
ネコ	0	3	0	0	4
キツネ	0	3	0	0	0
パンダ	0	0	0	0	5
計	9	15	15	15	15

表7 森における動物の割合

	森A	森B	森C	森D	森E
キツツキ	0.333333	0.2	0.333333	0.133333	0.066667
サル	0.333333	0.2	0.333333	0.333333	0.133333
イヌ	0.333333	0.2	0.333333	0.533333	0.2
ネコ	0	0.2	0	0	0.266667
キツネ	0	0.2	0	0	0
パンダ	0	0	0	0	0.333333

表8 各森のシン普森指数

	森A	森B	森C	森D	森E
シン普森指数	0.666667	0.8	0.666667	0.586667	0.755556

したがって、森Aから森Eにおける、シン普森指数に基づく生物多様性の大きさは次の順になる。

$$B > E > A = C > D$$

2時間目のねらいは、次のものである。

「実際のデータに基づいて生物多様性の大きさを

計算し、それに関して考察を加える活動を行う。それにより、数理的な処理の方法に親しみ、数学を生活に活用することのよさについて認識を深める。」

2時間目は、新潟市にある佐潟に飛来する渡り鳥の経年変化に関するデータ（表9 [9], [10]）および以下に述べるような佐方の歴史の概略を生徒に提示した。表9に基づいて各年のシン普森指数を計

表9 佐潟におけるカモ科鳥類個体数の3年毎の変化（ガンカモ一斉調査 [9], [10]）

西暦	オオハクチョウ	コハクチョウ	マガン	ヒシクイ	カモ類	全体の数
1986	710	685	0	810	3472	5677
1989	122	1723	0	92	1732	3669
1992	110	2350	0	25	6877	9362
1995	163	2062	16	1514	8895	12650
1998	62	2878	5	331	15768	19044
2001	110	2768	78	97	12570	15623
2004	211	2220	8	36	9136	11611
2007	124	2001	3	2	9167	11297
2010	140	3119	0	4	12648	15911

算し(表10),それをグラフに表す活動をおこなった(図11)。これと佐潟の歴史を対比させることによって,佐潟の生物多様性の大きさが増減した理由について考えさせ,意見を発表させた。

表10 佐潟の渡り鳥に関するシンプソン指数

西暦	シンプソン指数
1986	0.5753981
1989	0.5548881
1992	0.3972603
1995	0.464501
1998	0.2913024
2001	0.3211423
2004	0.3439857
2007	0.3100474
2010	0.329595

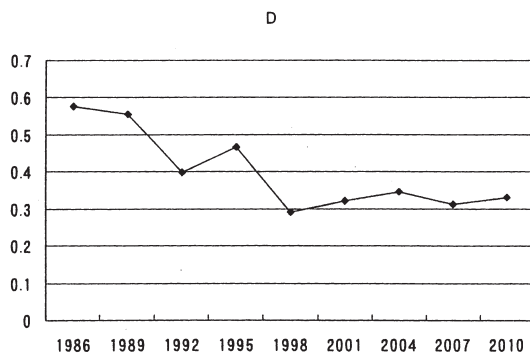


図11 シンプソン指数の変化

<佐潟の歴史>

江戸から昭和期： 農業や漁業に使われ,人々の生活に深く関わっていた。里山ならぬ“里潟”であり,季節に応じて魚・稲・米・れんこんなどの作物を栽培・収穫してきた。そのような人的行為が佐潟の環境を多様性のあるものにしたと考えられる。その結果,その時々環境に応じた多様な鳥類が佐潟にやって来ていた。

1985年から1990年ころ： 高度経済成長の影響もあり,手間のかかる潟の利用はなくなっていった。減反政策の影響もあり,田んぼや畑だったところはヨシ原になってしまった。

1990年ころから2010年ころ： 手をつけないのが自然という考え方により,佐潟の公園化が行われ,そ

の結果佐潟の自然環境が単純化し,適応できない鳥類も出てきた。

現在： 昔の佐潟に近づけるための様々な政策がおこなわれている。ゴミ拾いから始まり,ヨシ刈りや潟の底の泥をとって,潟の里潟としての利用が再び始まっている。

### 3. 実践授業に関する分析と考察

#### (1) 活動の分析

活動A (架空森の動物のシンプソン指数の大小を予想する活動)

生徒の解答には,以下の10通りがあった。

その1：B>E>C>D>A (10人)

- 種類が多く,数も多いものから,種類が少なく数も少ないものの順で小さくなると思ったから。
- 種が多く,各種の数が大体平等でバランスが良いからBが一番。各種の数が平等だが,その数が少ないからAが最後。
- 種類が多くて,バランスが取れているのが一番シンプソン指数が大きいと思ったから。
- 種類の多さと数の均等さを観点に考えた。Bは数も多く,数も均等だった。そういう風に考えていたら,この順になった。
- 種類と数が多く,なるべく種類ごとの数が均等の方が大きいと思ったから。
- Bは生物の数が等しく,種類も多い。逆にAは生物の数も少なく,種類も少ないから。

その2：B>E>A=C>D (2人)

理由としては

- シンプソン指数を分数計算した。

$$A \cdots 600/900 \quad B \cdots 720/900$$

$$C \cdots 600/900 \quad D \cdots 528/900$$

$$E \cdots 680/900$$

その3：B>E>C>A>D (4人)

理由としては

- 種類が多くて,各動物の数のバランスがあっているもの。
- 種類の数とそれぞれ何匹いるかをもとにした。
- 種類→バランス→数の順に考えた。

その4：B>C>A>D>E (3人)

- ・同じ種類が、同じ数ずつそろっていることを優先して考えたから。

その5： $B > C > A > E > D$ （6人）

- ・それぞれの動物のバランスがいいのがB, C, Aだから。
- ・種が多くしかもバランスも良い順番にするところなる。
- ・A, B, Cはバランスが保たれている。Bは種類が多い。E, Dはバランスがだめ。Eは種類が多い。
- ・まず、同じ数ずついることが一番大事だと思います。その中で、種類が多い→一つの動物の数が多い順にするとB, C, Aとなる。EとDは種類の数の差が多い方がバランスが悪いと思うので $E > D$ だと思った。

その6： $B > E > D > C > A$ （3人）

- ・Bは種類が3匹ずついて、豊かそう。Aは3種類が3匹ずつなので、貧しい。Eは5種類だが、同数ずついないので、Bに劣ると思う。

その7： $E > B > C > D > A$ （1人）

- ・（説明はなし）

その8： $E > B > D > C > A$ （1人）

- ・全体の数が少ないAが一番小さいと思った。いる動物の種類が多い方が大きいと思った。

その9： $B > E > D > A > C$ （1人）

- ・シンプソン指数を出すやり方だと全体の数が大きくて、種類が多い方が大きいから。

その10： $B > E > D > A = C$ （1人）

- ・（説明はなし）

森Bのシンプソン指数が高いと考える生徒が多かった。そして、森Aや森Cが低いと考える生徒が多かった。生徒の理由の欄を見ると、教師が最初に示した生物多様性という定義から、「種の数」、「バランス」が大切であるということを見出す生徒も多かった。シンプソン指数の公式を最初に提示したので、計算をして予想を立てる生徒もいた。

**活動B**（架空の森を使って様々な状況におけるシンプソン指数を求める活動）

計算は、大きく分けて、四通りの方法が見られた。

その1：分数を用いた計算（1人） 小数が嫌い、もしくは分数のほうが得意だと考えられる。話を聞かずに、自分で判断して分数で計算を進めていった可能性もある。この生徒はシンプソン指数の公式にそのまま当てはめて計算した。

その2：小数を用いた計算（25人） 少数で計算した生徒は、次の①～⑥のようにさらに分類される。

- ①計算ミスをした生徒（1人） 切り捨てと四捨五入を混同してしまい、途中で間違ってしまった。
- ②流れに沿って計算した生徒（18人） 教師の例示に倣う形で、計算した。
- ③まずは公式にあてはめてから計算した生徒（2人） 教師の例示にとらわれず、公式にあてはめ自分の力で導いた。
- ④4つの森全てに取り組んだ生徒（2人） 数学が得意で、すべて自分の力でやり遂げようと意欲的に取り組んだ。
- ⑤小数でも分数でも計算した生徒（1人） 数学が得意で、1つのやり方にとらわれず、計算結果が正しいのか自分で確認しようと取り組んだ。
- ⑥計算過程のみの生徒（1人） 桁数が多く、不規則な数字の並びの計算に途中でやめてしまった。

その3：答えのみ（4人） 理解できなかったのではないかとされる。計算にチャレンジはしたが、答えが合わず、消して正しい答えのみ記入したと考えられる。また、森Cが担当の生徒は森Aとシンプソン指数が同じだと判断し、答えのみを記入したと思われる。

その4：無記入（1人） プリントの左側、授業の前半でやめてしまったと思われる。

<架空の森での、シンプソン指数を用いた計算結果から気付いたこと>

（解答欄を作らなかつたが、プリントに生徒がメモした気付きを記す）

- ・均等に分かれていると、多様性が多い。
- ・偏っているより、均等で、種の数が多い（バランスがいい）と生物多様性がおおきくなる。
- ・均等、種の数が多い方がいい。
- ・種類の数が同じで、全部のバランスが取れている

と同じ。

- ・バランスがとれていて、種類が多いと多くなる。
- ・同じ数ずつ動物がいるよりも、種類が多い方が、シン普森指数は大きくなる。
- ・数のバランス、種類の多さ。
- ・数が少なくても、均等に分かれている方が良い。

生徒は、「種の数」、「バランス」が大切であるということに自ら気付いていた。私たちは生徒から「均等」という普段あまり使わない言葉がでないことと予測していたが、生徒はこの言葉を出すことができた。

#### 活動C (佐潟の鳥類のシン普森指数を求める活動)

プリントに書き込む方式だったので、プリントに全員記入してあった。また、この部分は時間を長く取ったので、班員と答え合わせをしたり、教え合ったりしたため、全員が記入できていた。

#### 活動D (グラフの特徴の読み取りと、その理由を考察する活動)

グラフの読み取りに関しては、次の特徴①～④に気付くことを期待した。

- ① 全体的に見ると減少傾向にある。
- ② 89年～98年にかけて、変動が激しい。
- ③ 95年が最も低い。
- ④ 98年以降安定している。

さらに、その理由として、次のような考察をおこない、それを記述できることを期待した。

- ① ニュースや新聞からの情報と関連付けながら、昔よりも現在に近づくにつれて、環境が悪化していること。それは、昔は人と生き物が共存していたけれど、減反政策などにより環境が単純化した影響を受け、多様性が減少していった。
- ② 89年から92年にかけて減少した理由として、カモ類の増加によるバランスの悪化。92年から95年にかけて増加した理由として、マガンやヒシクイの飛来による種の数増加によるバランスの緩和。95年から98年にかけて減少した理由として、カモ類の急増によるバランスの悪化。生物多様性を考える上で大切なことは、バランスと種の数だから。
- ③ 多様度は最も低いのに、飛来した鳥の全体の数は最も多い。データを見ると、カモ類が8割以上を占めているとともに、他の鳥類の飛来数も少ないので、バランスが悪い。

- ④ 96年にラムサール条約に登録されたのをきっかけに、市民の意識が向上した等の、ラムサール条約登録の影響に関する記述がある。

全体的に見て、グラフを減少傾向にあると考える生徒が多くいた。その理由についても妥当であり、生徒一人一人が環境の悪化を考えることができたのではないかと考える。②の特徴を挙げながら、理由は教師側の評価と食い違う生徒が多かった。これは、教師側の説明・働きかけが不足していたと考えられる。生徒はグラフとデータを別のものとして考えてしまっていたのではないかと。③について、生徒は「シン普森指数が一番低い年」を考えるというよりも、「シン普森指数が低いのは1998年～2010年」という特徴を挙げることに目を向けていたのではないかとと思われる。教師側は何回もグラフを吟味し、特徴についての意見をもっているため③のような意見を考えることが出来る。しかし、生徒は初めて見るグラフであるため、このような特徴に気づきにくいのではないかとと思われる。最後に、④については、取り上げた生徒は全体の半分であった。しかし、その全員がラムサール条約に関連した特徴を取り上げていた。授業の冒頭で教師側が説明した話を生徒が活用し、結論を導いたという点は良かったといえる。

#### 活動E (佐潟における生物多様性の現状を踏まえて環境問題に対する意識を問う)

生徒からは、次のような意見が挙げられた。

「江戸から昭和では、どのようなことをして佐潟を守ってきたかを調べる」、「ボランティアに参加する」、「ゴミを減らす、ゴミ拾い、ゴミの分別、リサイクル」、「森林を大切に」、「佐潟の活動に協力、佐潟の鳥の保護、佐潟を汚さない、鳥に不快な思いをさせない」、「温暖化防止」。

ゴミに対しての意見が多かった。模擬授業をしている際にも、一番多くでた意見だったので予想通りの結果であった。しかし見方を変えると、ゴミ以外の意見が少なかったとも言えることができる。例えば、グリーンマークがあるものや再生紙利用の商品選択、地産地消などが考えられるが、これらの意見は少なかった。佐潟についてできることは何だろうかと考えた生徒も多かった。

#### (2) まとめ

いままで多くの生徒にとって、環境問題と数学はあまり結びついていなかったように思われる。しかし、今回の授業実践によって、環境問題について考

えるために数学は有効に活用することができるという実感を持つことができたのではないか。また、環境問題に限らず、私たちの気づかないところでも社会のあらゆるところに数学は結びついている。今回の授業実践では生徒にそのことに気づかせるということも重要なテーマであった。そして、数学の新たな一面を知ることで数学を学ぶ意欲もさらに高めることにつながったといえる。今回のテーマは数学教育を考える上で非常に有用なテーマであると研究を通して感じた。

今回の研究テーマである「生物多様性」は、我々ゼミ生にとっても研究を始める前までは聞き慣れない言葉であった。その生物多様性について中学生に対して授業をするためには生物多様性のことを知る必要がある。我々は資料を集め、データを用いて計算をし、分析を行うなどして生物多様性に関する知識と理解を深めようと努めた。初めて知ることが多くあり、研究する中で新しいことを知る喜びというものを感じることができた。

実際に授業を行ってみると、生徒の作業時間が短く、教師主体の授業になり、生徒に深く環境問題について考えさせるところまでには至らなかったように思われる。生徒の活動作業という点で私たちが考えていたものは、話し合い、電卓を使う、計算というものであった。生徒が考え、生徒自身による発見を生むような授業にするための工夫が必要であったと感じる。たとえば、意見を単に言わせるのではなく、一回考えたことをまとめる作業を取り入れるべきであった。他にも活動として、発表、読ませる、班活動といったことを行えば、より生徒にとって興味を引く授業であったと考える。しかし、計算では教師の力を借りずとも一人で解ける生徒が多く見られた。生徒の感想を見ると、今回私たちが生徒に伝えたかった、生徒の身近な問題を解決するための手段として数学が役立つということを伝えることができたと感じる。今回の授業実践を通して、生徒に作業をさせることの大切さを学んだ。そして、今後の数学教育では、問題解決において数学を用いる力を身につけさせることが課題である。そして生徒自身が問題を見つけ、それについて調べる手段として数学を用いることができるようにすることが大切である。授業に意欲的に取り組む生徒が多く、生徒も「新しいことを知る喜び」を実感することができたのではないと思う。今回の授業が生徒にとって新しい発見をしたり、数学を学ぶよさに気づいたりするきっかけになれば幸いである。

**謝辞** 本研究をおこなうに当たり、新潟大学教育学部教授の福原晴夫氏から文献提供とご教示をいただきました。また、佐潟水鳥・湿地センターの佐藤安男氏から「佐潟におけるガンカモ一斉調査」のデータを提供していただきました。記して感謝申し上げます。

## 参考・引用文献

1. 国立教育政策研究所編 (2002) 『生きるための知識と技能 OECD生徒の学習到達度調査 (PISA)』, ぎょうせい
2. 国立教育政策研究所編 (2004) 『生きるための知識と技能 2 OECD生徒の学習到達度調査 (PISA)』, ぎょうせい
3. 国立教育政策研究所編 (2007) 『生きるための知識と技能 3 OECD生徒の学習到達度調査 (PISA)』, ぎょうせい
4. 文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領解説 算数編』, 東洋館出版社
5. 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 数学編』, 教育出版
6. 文部科学省 (2009) 『高等学校学習指導要領解説 数学編 理数編』, 実教出版
7. 文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書
8. 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書
9. 新潟県野鳥愛護会 (2005) 『佐潟の野生鳥獣と生息環境』, 新潟県野鳥愛護会
10. 佐藤安男 (2010) 「佐潟におけるガンカモ一斉調査データ (2010)」
11. 垣水修 (2009) 「ネットワーク型データ解析による中学校における学力調査の分析—PISAの問題を活用して—」, 『全国数学教育学会誌 数学教育学研究』 Vol.15, 77-88
12. 垣水修, 伊東健司, 大久保隼, 神崎直利, 小菅彩香, 柴田真奈美 (2009) 「エコロジカル・フットプリントを教材に用いた中学校数学科の授業」, 『新潟大学教育学部研究紀要 (自然科学編)』 Vol.2, 13-26
13. 垣水修, 若井光男, 大堀俊輔, 影山権龍, 平沢大樹, 鳥居竜一 (2010) 「仮想水概念を用いて環境問題について考える中学校数学科の授業」, 『新潟大学教育学部研究紀要 (自然科学編)』

Vol.3, 1-16

14. 宮下直, 野田隆史 (2003) 『群集生態学』, 東京大学出版会
15. 香坂玲 (2009) 『いのちのつながり よく分かる生物多様性』, 中日新聞社
16. Anne E. Magurran (2004) “Measuring Biological Diversity”, Blackwell
17. 環境省自然環境局生物多様性センター 「生物多様性の損失の要因の評価」  
[http://www.biodic.go.jp/biodiversity/jbo/jbo/reports/2.pdf#search= '生物多様性](http://www.biodic.go.jp/biodiversity/jbo/jbo/reports/2.pdf#search=生物多様性)
18. 環境省自然環境局自然環境計画課生物多様性地球戦略企画室 「生物多様性～いのちと暮らしを支えるもの～」  
[http://www.biodic.go.jp/biodiversity/lib\\_slide/images/081018\\_biodiversity.pdf](http://www.biodic.go.jp/biodiversity/lib_slide/images/081018_biodiversity.pdf)
19. 環境省自然環境局自然環境計画課生物多様性地球戦略企画室 「環境省政策会議生物多様性国家戦略2010」  
[http://www.env.go.jp/council/seisaku\\_kaigi/epc008/mat01\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/council/seisaku_kaigi/epc008/mat01_1.pdf)