

高等学校における統計カリキュラムの提案

－学校設定科目『AS統計科学』の実践から－

橋本三嗣

本稿は、スーパーサイエンスハイスクール (SSH) の中心的プログラムである「課題研究」に役立つ統計的手法の技能の習得を目指した学校設定科目『AS統計科学』のカリキュラムを提案する。「課題研究」で必要とされる統計内容を検討し、コンピュータ等の情報機器を利用した指導を設定した。問題解決的な学習活動、先輩の行った研究論文の査読活動は、統計的手法の技能の習得に効果があること、統計的な考え方を理解するための方法論の確立が課題であることが示された。

1. はじめに

本校（広島大学附属高等学校）は、平成15年度より、文部科学省研究開発学校スーパーサイエンスハイスクール (SSH) の指定を受け、以来現在まで4期にわたって研究を継続している。1期目から3期目は特に第2, 3学年にスーパーサイエンスコース (SSコース) を設け、理科・数学の枠を拡大し、幅広い分野が学習できるよう全校あげて取り組んできた。「課題研究」は、その中心的なプログラムであり、身近な事象や現象を生徒自らが数理科学的手法を用いて解析していく活動を通して、自然科学に対する興味・関心を高めると共に、科学的手法の技能を習得させることを目標としている。4期目（5カ年）の指定を受けた平成30年度からは、第2学年からAS(Advanced Science)コース1クラス, GS(General Science)コース4クラスを設置し、生徒全員がグループに分かれて「課題研究」に取り組んでいる。本稿ではASコースの生徒が「課題研究」に取り組む際に必要となる統計的な手法を習得させることを目標とした学校設定科目『AS統計科学』の実践を紹介し、高等学校における統計カリキュラムを提案する。

2. 「課題研究」と統計的な手法

平成15年度以来、第1学年の希望者、第2学年SSコースの生徒、第3学年SSコースの生徒を対象に、生徒の自主的な研究態度の育成、情報収集・活用能力の育成、科学の基礎的能力の伸長を図ると同時に、創造性が育まれていく過程を実感させることを目的に、自ら決めたテーマに従い4人程度のグループに分かれて約1年半の期間探究活動を行う「課題研究」

を行ってきた。主に理科、数学科が担当している。また事象や現象を解析する方法の習得に向けて、第2学年で統計を学習する科目（『数理解析』、『現象数理解析』）は週に1時間（1単位）の授業であり、主に数学科が担当している。研究の方針を決める際には、生徒たちに加えて複数の教員で協議している。

これまで1期目から3期目までに取り組まれた「課題研究」の論文を統計的な手法を利用した（記述統計○、推測統計◎）していない（／）という観点で整理すると次のようになる。分野が異なる論文の方法を比較することになるが、この資料から「課題研究」に必要とされる統計内容を検討することが可能となる。

表1. 平成16～17年度

論文題目	手法
1 BZ反応～時を刻む化学反応～	○
2 リパーゼを用いた加水分解反応	○
3 アミノ酸の性質	○
4 身近な物質の光学的性質	／
5 ポアズイユの法則を用いたメダカの血圧測定	○
6 ショ糖水溶液の屈折率による濃度勾配と拡散の研究	◎
7 ニンジンとタバコを用いた組織培養	○
8 ダンゴムシの化学走性	○
9 プラナリアの再生実践	○
10 ベンハムのこまについての研究	／
11 ミジンコの心臓拍動機構に関する生理学的研究	○
12 曲線と局面	／

表2. 平成17～18年度

論文題目	手法
1 光の旋光現象	○
2 風車の回転数を決定する要因	○
3 自律型ロボットの製作	/
4 簡易型燃料電池の製作	○
5 リパーゼを用いた活性測定	◎
6 香りと化合物	◎
7 植物からの乳酸菌単離と遺伝子解析	○
8 高磁場環境下における卵成熟	○
9 花粉管の伸長と環境条件	○
10 植物の組織培養	/
11 筋硬度と関節可動域	○
12 亜光速で飛ぶ宇宙船から見る星々－スターボウのシミュレーション－	○
13 豆乳ヨーグルトの味覚実験	○
14 発酵～ミクロの世界～	○
15 美しい曲線	/

表3. 平成18～19年度

論文題目	手法
1 アリはでたらめに動いているのか	○
2 液滴の発生現象	○
3 岩石の破片の質量分布とフラクタル次元との関係	○
4 エステルの合成	/
5 環境問題を科学で考える～リチウムシリケートによるCO2の吸収～	○
6 二酸化窒素が発生しなくなる硝酸の濃度決定	○
7 バイオエタノールを効率よく生成する条件	○
8 アオギリの組織培養	/
9 メダカの学習能力	○
10 東南極オメガ岬の岩石	○
11 太陽光発電とそのペイバックタイム	○
12 数学で自然を探ろう～生物の絶滅現象を記述する微分方程式の解析～	/
13 発酵～湯だね製法によるパン作り～	○

表4. 平成19～20年度

論文題目	手法
1 粉粒体の研究－回転している円筒容器内で、砂粒が縞模様を形成するのはなぜか－	○
2 温水面近接層における微粒子の特異な振る舞い	○
3 アゾ化合物の分子構造と吸収スペクトルの関係	◎
4 エバヤマザクラの組織培養	/
5 色彩が生物に与える影響	○

6 メダカの概日リズムの解析	○
7 環境にやさしい調理法	○
8 様々な条件下での酵母の活動	○
9 無理数の小数点以下の数字の出現頻度に関する実証的検証～素数の割合を用いて～	○

表5. 平成20～21年度

論文題目	手法
1 目を閉じたときに見える浮遊体の研究	○
2 リコーダーの孔がひきおこす倍音のメカニズム	○
3 アルケンのハロゲン付加	◎
4 腕相撲は本当に「腕」相撲なのか？	○
5 ゴム状硫黄の色と純度の関係	○
6 バイオディーゼルの合成とその性質	○
7 リパーゼの活性測定	○
8 キンギョの左右性に関する研究～個体によって右利き・左利きが存在するか？～	○
9 グルコースの濃度変化に伴うクラドスポリウム属の繁殖傾向	○
10 効率の良いミズコンポストの作成	○
11 散開星団と分子雲の濃淡の関係	○
12 ヒマワリの種子配列の数学による再現と解析	/

表6. 平成21～22年度

論文題目	手法
1 ミルククラウンの研究	○
2 高吸水性樹脂の性質を探る	○
3 植物色素の発色と媒染金属種との関係	○
4 スズの電気分解と金属樹の生成	/
5 イシガメの行動に関する研究	/
6 脂肪酸メチルエステル資化性菌の単離と培養	/
7 植物の発芽、成長と光の関係	○
8 エバヤマザクラの組織培養	/
9 微生物の水質浄化作用に関する研究	○
10 恒星進化のシミュレーション	/
11 太陽光パネルと直達日射計を用いた実験	○
12 曲線の反転	/

表7. 平成22～23年度

論文題目	手法
1 ガラスを伝う雨粒のキ・セ・キ [軌跡]	○
2 水を沸騰させたときに聞こえる音について	○
3 しごかれてできる「巻き」の研究	○
4 自作高吸水性樹脂の性質について	○
5 ワームグランティングのしくみを解明する－ミミズはなぜ地表に出てくるのか－	○
6 ハビタブルゾーン（生命移住可能地域）の研究	/
7 ヒマワリの種子配列の数学による再現と解析	/

8	風紋に見られる周期的なパターンの数学を用いた再現と解析	○
9	セルオートマトンを用いた交通流の再現と渋滞の解消方法の研究	○
10	地域の交通需要推定についての研－広島都市圏における交通需要推定－	◎

表8. 平成23～24年度

論文題目	手法
1 重力に逆らう水！？－サイフォン現象の謎を解き明かす－	○
2 マイクロ波を用いたらせん形分子モデルによる旋光現象	○
3 さまざまな錆の除去方法の探究	○
4 エバヤマザクラの組織培養	○
5 ゼブラフィッシュの物体接近時における逃避行動と恐怖・ストレス行動について－視覚による刺激と薬物の影響からその心理を探る－	○
6 ハビタブルプラネット～知的生命が存在する惑星の条件～	/
7 魚のうろこの配列の数理モデリング	○
8 データ探索におけるアルゴリズムの構築	/
9 平面充填～充填凸五角形のルーツを探る～	/
10 立体イリュージョンの数理	/

表9. 平成24～25年度

論文題目	手法
1 効率よく風を送るうちわ	○
2 こすれてできる毛玉の研究	○
3 指紋の役割～ページが突然めくれなくなるのはなぜか～	○
4 さまざまな条件下における銀樹の生成についての研究	○
5 溶液中における銅イオンの配位子とその構造についての研究	○
6 口腔内を守る乳酸菌	◎
7 酵母に関する研究	○
8 ゼブラフィッシュの給餌行動における記憶と学習	○
9 ゲームを数学する～新しいゲームの作成と奥深さの表現～	/
10 ペットボトルロケットの数学的考察	○
11 野球の最適打順の数学的考察	○

表10. 平成25～26年度

論文題目	手法
1 ヴァイオリンの弓になぜ松脂を塗るのか	○
2 筒を覗くと見える不思議な模様	○
3 準安定状態の溶液に衝撃を与えたときに生じる結晶についての研究	○

4 ユーグレナの培養および油脂の抽出	/
5 新しい植物乳酸菌の探索	○
6 地震の防災・減災に関する基礎研究	○
7 広島県における土石流災害の傾向と対策に関する基礎研究	○
8 金平糖の形の数理モデリング	○
9 最適なクモの巣の形とは？～獲物の捕獲率に関する数学的な考察～	/
10 体育祭の準備に全員が参加することの是非を問う	○
11 統計を用いた商品企画－中高生が好むシャープペンシルの提案に向けて－	○

表11. 平成26～27年度

論文題目	手法
1 収束型静電レンズを用いた慣性静電閉じ込め装置の開発	○
2 箒に本気を出させるには～最適な使用条件の物理的考察～	○
3 3次元空間を充填する泡の立体構造	○
4 冷凍ドリンクの解凍時の濃度変化について	○
5 油脂の加熱処理がリパーゼによる油脂の加水分解反応に及ぼす影響	○
6 クロロフィルの安定した抽出方法の開発	◎
7 電気分解におけるオゾン発生	○
8 ゼブラフィッシュの警報物質の効果と恐怖条件付け	○
9 避難における数学的シミュレーション	/
10 コード進行の数理的解析	○

表12. 平成27～28年度

論文題目	手法
1 マイクロバブルの発生に適した条件の解明と攪拌法によるマイクロバブル発生法におけるイオン効果の解明	○
2 籠の構造と強度について	○
3 金属線を用いた化学振動	○
4 カキ殻の有効活用～効率的な水質浄化条件の検証と遮熱塗料の開発～	○
5 サカナは恐怖をどのように感じているのか	○
6 広島市似島に分布する広島花崗岩類の形成プロセスの解明	○
7 傾斜がモジホコリに及ぼす影響に関する数学的考察	/
8 野球における最適な守備シフトの考察	/
9 統計を利用した小説文の解析－芥川賞と直木賞の特徴－	◎
10 タンパク質の音楽の数理的解析	○
11 ルービックキューブの最適解法の研究	/
12 トンボの翅にはなぜポロノイ構造が現れるのか	○

表13. 平成28～29年度

論文題目	手法
1 コーンが出てこーん！～コーンスープの流体力学～	○
2 微細気泡発生装置の製作と気泡発生メカニズムの研究	○
3 靴についた土の落とし方	○
4 目にゴミが入りにくい最適のまつ毛とは	○
5 卵白の気泡力及び安定性に対する諸条件の影響	◎
6 シールの最適剥離方法	○
7 ゼブラフィッシュの記憶の減衰	○
8 ドローンによる効率的な被災者の探索のシミュレーション	/
9 多項式関数として定義される加法・乗法	/

ある事象や現象に着目して、実験等を行う研究においては、表やグラフにして結果の傾向を示す場合が多い。そこでは、分布の様子を吟味するよりはむしろ特徴を記録する道具として用いられている。大学の先生の研究協力等がある初期の研究の中には、結果の一般化の可能性を検証するために、推測統計の手法を用いて分析しているものもある。

研究を進め、論文を作成する際に、科学的根拠として数量的分析を行うために、記述統計や推測統計

の理解が求められる場合が多くあるが、高等学校までの学習の中で系統的な学習の経験がなく、表1～13から推測統計の理解がまだ十分ではない状況であるといえる。そこで、平成29年度から推測統計の内容に注目し、「課題研究」に必要となる統計的手法の習得を目指した学校設定科目『AS統計科学』のカリキュラムの作成を開始した。

3. カリキュラムの作成

(1) 目標

- ①諸科学において科学的論拠（エビデンス）に基づく論理展開をする力を育成する。その考え方・方法論として、推定や検定の方法を理解させる。また実習を通して、現実の事象の解析に推定や検定の手法を活用する態度を育てる。
- ②仮説の設定、実験・調査のデザイン、データ処理、モデリング、解釈という実習を通して、科学者・技術者の文脈に必要な統計およびデータサイエンスの知識や技能を習得し、課題研究に活用することができる。

(2) 年間指導計画（シラバス）

『AS統計科学』の開設単位は1単位（35時間）である。内容は学校設定科目『数理解析』、『現象数理解析』の発展して構成した。

表14. シラバス

学期	学習項目	学習内容	評価の観点・方法
1 学期	第1章（4時間） 確率分布とその性質 1. 確率分布 2. 二項分布と正規分布 3. 分布表の使い方 第2章（6時間） 母集団と標本 1. 母集団と標本 2. 平均の標本分布	・二項分布や正規分布の性質を理解する。 ・分布表の使い方を理解し、正規分布に従う具体的な分布に対し、ある確率変数の値が、その分布の中でどのような位置にあるかがわかるようにする。 ・母集団と標本の統計量の性質を理解する。 ・標本平均の分布の性質を理解し、具体例を通して、標本誤差と不偏推定量の性質を理解する。※1	・統計の基礎を学ぶとともに、情報機器を利用したデータ処理の実習を通して、その手法の理解を深め、有用性を理解する（実習課題、レポート課題、グループ発表、議論）。
2 学期	第3章（8時間） 推定とその利用 1. 大数の法則と中心極限定理 2. 点推定と区間推定 3. 信頼区間の作成と意味 4. 正規分布による区間推定 5. t分布による区間推定 6. 母比率の区間推定	・データの数が増えたとき、新しい統計的性質が導出できることを理解する。 ・点推定と区間推定の方法を理解し、いろいろな問題の考察に利用することができるようにする。 ・区間推定の意味を理解する。 ・母比率の信頼区間の推定方法を逆算することで、アンケート調査で統計的な判断が可能となる標本サイズを求められるようにする。	・データの分布を数値と図表から把握できるようにする。（レポート課題） ・正規分布の特徴を理解し、データの傾向を記述する際に利用できるようにする。（実習課題、議論）

	<p>第4章（8時間） 仮説検定の考え方</p> <p>1. 仮説の設定 2. 仮説検定の意味 3. 標準正規分布や t 分布の利用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検定の方法を理解し、いろいろな事象の考察に利用することができるようにする。 ・ 実験結果を2つのグループに分けて、母集団において平均の差があるか否かを検討することができるようにする（平均値の差の検定）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 統計的な判断が可能となる標本サイズを求められるようにする。（実習課題） ・ t 検定を行うことができる。（実習課題）
3 学 期	<p>第5章（9時間） 自然科学への統計の活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 推定と検定の手法 ・ 自然科学への活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 課題研究などの調査結果について、推定と検定を利用して考察を深めることができるようにする。 ・ 調査の目的や集めたデータの性質を考慮して、適切な分析を行うことができるようにする。 ・ 統計的な分析結果から、次の新たな仮説を生み出すことができるようにする。 ・ 論文等にまとめる際には、事実と推測を分けて記述することに留意することができる。※2 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然現象を題材に、推定や検定の手法を用いて、現象の考察ができるようにする（実習課題、レポート課題、グループ発表、議論）。

(3) 指導・評価方法

評価の観点：

- ア. いろいろな事象を観察し、主体的に協働的探究活動を行うことができる。（関心・意欲・態度）
- イ. 推定や検定の方法を利用して、データに基づく判断や意思決定を行うことができる。（見方・考え方）
- ウ. 仮説の設定，実験・調査のデザイン，データ処理，統計モデル，解釈を適切に行うことができる。（技能）
- エ. 推定と検定の方法を理解し，問題解決に利用することができる。（知識・理解）

(4) 学習指導要領に示す既存の教科・科目との関連

本科目は「社会と情報」1単位を減じその代替として設置されている。(2) の表内の※1，※2において以下の内容に相当する学習を行った。

- ※1 情報機器を用いてデータの処理を適切に行い，データを加工して他者にわかりやすく伝える手法を習得させる。
- ※2 情報発信の際のあるべき姿勢を養うために，科学的根拠をもとに物事を説明する活動を行い，望ましい情報社会の在り方について理解させる。

4. 指導の実際1「同じ誕生日のペア」(1時間)

(1) 教材

「クラスの中に同じ誕生日のペアがいると思うか」という問題に，確率を計算して判断する。

(2) 指導方法

(導入)

①生徒に予想させる。

41人のうち、「いる」と答えた生徒数4，「いない」と答えた生徒数37。「いる」と答えた生徒理由は、「先生が授業で話題にするから」が3，「ことばにはできないけど何となく」が1であった。

(展開)

②実際に調べる

「3分間で同じペアがいるか否かを調べよう」と提案し，生徒は教室内を移動して調べた。生徒から自然と「〇月生まれの人生まれ」という声が出て，誕生日ごとのグループができた。結果，3ペアいることがわかった。生徒は驚きの反応を示した。

③確率を計算する

「この結果はどれぐらい起こりうるものだろうか」，「判断する基準は考えられないか」，との問いに対して，確率を計算すればよいという意見が出された。クラスの人数が少ない場合の確率の計算式を確認した。「ペアがいる確率」を求めるには場合分けが多くなるため，「ペアがいない確率」を求めて余事象の確率を計算することにした。うるう年生まれでないことを確認し，少ない人数の場合から確率を計算するの式を導いた。計算には，コンピュータを利用した。生徒はマイクロソフト「Excel」を利用して次の表を作成した。

表15. クラスの中にペアがいる確率

人数	選び方	選び方/365	ペアがない確率	ペアがいる確率
1	365	1	1	0
2	364	0.9973	0.9973	0.0027
3	363	0.9945	0.9918	0.0082
4	362	0.9918	0.9836	0.0164
5	361	0.9890	0.9729	0.0271
6	360	0.9863	0.9595	0.0405
7	359	0.9836	0.9438	0.0562
8	358	0.9808	0.9257	0.0743
9	357	0.9781	0.9054	0.0946
10	356	0.9753	0.8831	0.1169
11	355	0.9726	0.8589	0.1411
12	354	0.9699	0.8330	0.1670
13	353	0.9671	0.8056	0.1944
14	352	0.9644	0.7769	0.2231
15	351	0.9616	0.7471	0.2529
16	350	0.9589	0.7164	0.2836
17	349	0.9562	0.6850	0.3150
18	348	0.9534	0.6531	0.3469
19	347	0.9507	0.6209	0.3791
20	346	0.9479	0.5886	0.4114
21	345	0.9452	0.5563	0.4437
22	344	0.9425	0.5243	0.4757
23	343	0.9397	0.4927	0.5073
24	342	0.9370	0.4617	0.5383
25	341	0.9342	0.4313	0.5687
26	340	0.9315	0.4018	0.5982
27	339	0.9288	0.3731	0.6269
28	338	0.9260	0.3455	0.6545
29	337	0.9233	0.3190	0.6810
30	336	0.9205	0.2937	0.7063
31	335	0.9178	0.2695	0.7305
32	334	0.9151	0.2467	0.7533
33	333	0.9123	0.2250	0.7750
34	332	0.9096	0.2047	0.7953
35	331	0.9068	0.1856	0.8144
36	330	0.9041	0.1678	0.8322
37	329	0.9014	0.1513	0.8487
38	328	0.8986	0.1359	0.8641
39	327	0.8959	0.1218	0.8782
40	326	0.8932	0.1088	0.8912
41	325	0.8904	0.0968	0.9032

(表内の数は小数第5位で四捨五入)

41人いれば「ペアがいる確率」は9割を超えることから、「ペアが見つかることは不思議ではない」との意見が多数出た。

(まとめ)

④確率の分布を調べる

「クラス的人数が変化した場合、確率はどのように変化しているのかを図を作成して考察しよう」と提案し、図1を作成した。

グラフにすることで、変化の様子を読み取ることができた。確率の計算をすることで、偶然かどうかを数値やグラフでみて判断する学習になった。偶然に起きる出来事について、その確率の分布を数値と図

表を用いて把握する方法について学ぶことができた。

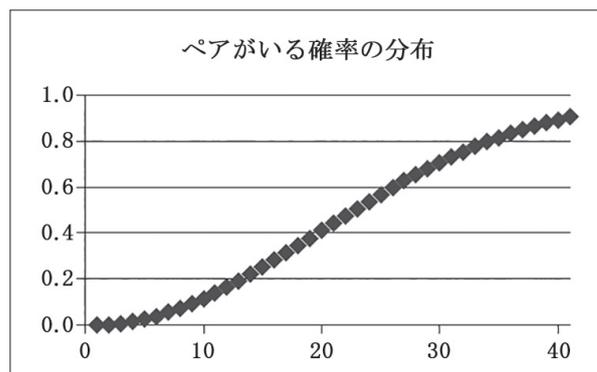


図1. 確率の分布

5. 指導の実際2「分布を評価する」(2時間)

(1) 教材

2つのクラスの数学のテストの結果から、ともに80点の生徒がいることがわかっている。その状況で、80点が平均値・偏差値からどんなことがいえるか、さらに分布の様子に注目したときに、クラス間の平均値に差があるといえるのかを考察する。提示した資料は次の通りである。

A組								B組							
83	95	55	59	64	88	94	66	62	67	81	48	68	66	80	86
62	92	72	74	77	76	59	67	74	79	60	72	54	66	84	90
55	64	66	88	40	65	89	48	68	64	68	70	72	48	88	86
53	67	85	80	58	64	79	80	83	58	74	82	64	78	78	88
70	34	53	98	28	88	96	69	55	77	77	66	80	76	68	75

(2) 指導方法

(導入)

①平均値で評価する

A組の平均点は70点、B組の平均点は72点であることを伝え、生徒からは、「同じ80点でも、A組の方が平均点が低いため、A組の方が価値がある」という反応が出た。

②偏差値で評価する

偏差値の計算式を確認し、マイクロソフト「Excel」を利用して求めた。80点の偏差値は、A組で55.9(標準偏差16.9)、B組で57.5(標準偏差10.7)となった。生徒から、「偏差値は、B組の方が高いから、平均点のときと結論が逆になる」という意見が出た。

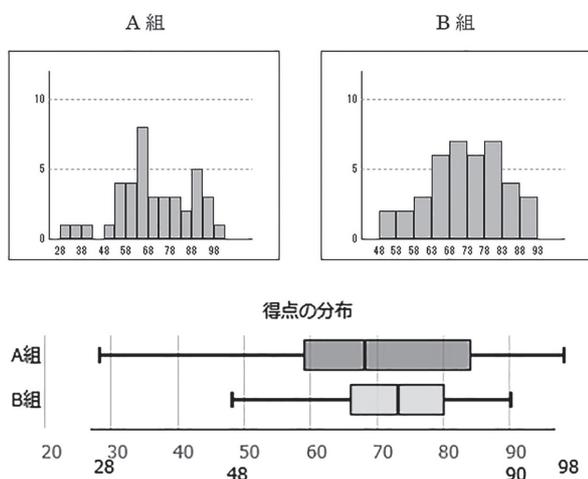
(展開)

③分布を調べる

「分布の様子を図から読み取ろう」と提案し、ヒストグラムや箱ひげ図をかいた。生徒は80点がクラスの分布のどこにあるかをかき込んで話し合った。

得点の範囲や散らばりに着目すると、A組では上位25%に入らないが、B組では入ることに注目するとよいという考えが出た。

④平均値の差を検定する



マイクロソフト「Excel」の『分析ツール』を利用して、F検定、t検定を行った。F検定で分散が等しくないと示されたため、その仮定からt検定を行った結果、5%の水準で統計的な有意差が認められなかった。

(まとめ)

⑤学んだことを整理する

平均値や偏差値で差を考える場合、分布の様子を把握しないと判断を誤るという結論になった。

6. 指導の実際3「論文から学ぶ」(1時間)

これまでの「課題研究」から統計的な手法を用いて分析したものを選び、査読活動によりその方法と表現を学習した。授業では、検定を用いて数値を適切に評価し、判断できている論文として「卵白の気泡力及び安定性に対する諸条件の影響」(平成28～29年度)を紹介した。以下に論文から一部引用する。(動機)

お菓子作りなどで卵白を泡立てる際にどうすればより質のよいメレンゲが出来るのかと疑問に思った。次の2つの観点(泡立てる際の条件を変えることで生じるメレンゲの変化、変化が生じる要因)に注目することにより、高品質なメレンゲをつくるという目的で研究を開始した。

(方法)

本研究ではメレンゲの泡立ちやすさを「起泡力」、崩れにくさを「安定性」で表した。そして、起泡力と安定性が高いほど高品質なメレンゲと定義し、3つの実験を行い、この2点の変化に注目していくこ

とで、高品質なメレンゲについて考察した。

(予備実験)

卵白を泡立てる際の条件の変化によって起泡力及び安定性にどのような変化が生じるか調べた。変化させた条件は次の3つである

- ①保存方法(冷蔵条件下(5℃)で保存した卵白/冷凍条件下(-50℃)で保存し、流水解凍した卵白)
- ②鮮度(購入して3日以内の卵/購入して1か月経過した卵)
- ③添加物(無添加, 砂糖, 食塩, 重曹, クエン酸をそれぞれ3g添加)

(予備実験の結果)

(1) 気泡力

- ①冷蔵条件下で保存していた卵白の方が、冷凍条件下の卵白よりもよく泡立ったことから、冷凍すると起泡力が低下する。
- ②新旧の卵白で起泡力に関しては目立った違いが見られなかった。
- ③クエン酸を添加した卵白が最もよく泡立った。

(2) 安定性

- ①保存方法の違いで安定性に変化は見られなかった。
- ②卵の新旧で、安定性に変化は見られなかった。
- ③添加物の観点では、離液量は、

クエン酸>食塩≒重曹>砂糖≒無添加

となった。よって、安定性の高い順に添加物を並び替えると、無添加≒砂糖>重曹≒食塩>クエン酸となる。

(本実験)

(1) 実験1 起泡力の測定

冷蔵卵白に0.1gから0.1g刻みで1.0gまでの10段階と、1.5gから0.5g刻みで5.0gまでの8段階の食塩とクエン酸を加えることで、卵白のイオン強度とpHを変化させた。その後、卵白を泡立てて泡の密度を測定した。密度は、泡立て後の泡をシャーレに詰めて、シャーレの体積と泡の質量より求めた。泡の密度が高いと起泡力が低く、泡の密度が低いと起泡力が高い。

(2) 実験2 安定性の測定

予備実験と同様にメレンゲを常温下で60分間放置し、離液の体積を測定した。

(本実験の結果)

(1) 気泡力

- ①食塩を添加してイオン強度を上昇させると、泡の密度は上がった(起泡力は低下した)。
- ②クエン酸を添加した場合、泡の密度の関係グラフが放物線のようになったため、直線、放物線、折れ線グラフの3パターンで近似した。折れ線グラ

フは放物線で近似した時の頂点のx座標で折れるようにした。その結果、理論値と実験値の差の2乗の和である残差は放物線近似が最も小さくなった。この近似曲線の決定係数（大きいほど近似曲線が適しており目安は0.5以上）は0.62であった。よってpH4付近で泡の密度は最小となった（起泡力は最大になった）。

<安定性>

- ①食塩を添加してイオン強度を上昇させると安定性は低下した。
- ②クエン酸を加えてpHを小さくすると安定性は低下した。

(追加実験)

2つの実験結果から次の4つの仮説を導出した。

仮説1 pH4付近で起泡力が大きい値を示したのは、表面張力が低くなるからである。

仮説2 イオン強度が大きい時に起泡力が低い値を示したのは、表面張力が大きくなるからである。

仮説3 pHが小さい時安定性が低下したのは、卵白の粘性が低下したからである。

仮説4 イオン強度が大きい時に安定性が低下したのは、卵白の粘性が低下したからである。

この仮説を検証するために表面張力と起泡力、粘性と安定性の関係性について調べた。

(追加実験の結果)

(1) 表面張力

- ①イオン強度と表面張力のデータについて無相関検定を行った結果、有意水準5%帰無仮説は棄却されず、相関はなかった。よって、イオン強度を変化させた場合には表面張力に変化は見られないといえる。
- ②pHと表面張力のグラフは放物線のようになったため、泡の密度の時と同様に、直線、放物線、折れ線の3パターンで近似した。その結果、放物線近似による残差が最小となったため、放物線で近似した。この近似曲線の決定係数は0.56であった。よって、pHを変化させた場合にはpH4付近で起泡力が最小となった。

(2) 粘性

- ①濃厚卵白の場合、イオン強度を上げるほど粘性は下がった。
- ②濃厚卵白の場合、pHを下げるほど粘性は下がった。

(結論)

pH4付近では、卵白の表面張力が低くなることで、起泡力が高くなる。一方、電解質の添加により卵白中のイオン強度が大きくなると、起泡力は低下するが、この原因は不明である。安定性については、卵

白のpHが小さいまたはイオン強度が大きいとき、粘性が低下することで、メレンゲの安定性は低くなる。ただし、pHやイオン強度が起泡力、安定性に及ぼす影響は、攪拌初期とそれ以降で異なる可能性がある。(まとめ)

査読活動後の生徒からは、実験の結果から仮説検定を利用して分析し、事実と推測を分けて丁寧に記述しているという感想が出た。査読活動を通して、実際に「課題研究」の論文作成の際にどのように記述すればよいのかのヒントを得ることもできた。研究成果をまとめ始める第2学年の3学期にそのような経験をすることは、価値のあることであると考えられる。

7. 研究の成果と今後の課題

(1) 生徒の自己評価（1月）から

「知識」は学習内容の理解を、「技能」は処理力と説明し、平成30年1月に生徒に対して質問紙による自己評価を行った。結果は次の通りである。

表16. 生徒の自己評価の結果（平成30年1月）

[S:知識○技能○, A:知識○技能×, B:知識×技能○, C:知識×技能×]

学習項目	S	A	B	C
第1章 確率分布とその性質	65.0 (26)	27.5 (11)	5.0 (2)	2.5 (1)
第2章 母集団と標本	10.0 (4)	20.0 (8)	60.0 (24)	15.0 (6)
第3章 推定とその利用	7.5 (3)	2.5 (1)	85.0 (34)	5.0 (2)
第4章 仮説検定の考え方	7.5 (3)	2.5 (1)	87.5 (35)	2.5 (1)
第5章 自然科学への統計の活用	57.5 (23)	7.5 (3)	32.5 (13)	2.5 (1)

表内の数は百分率、()内の数は人数を示す。

第1章では、表やグラフの読み取りなど、数学の既習内容との関連が強いため、Sを選んだ生徒が多いと考えられる。しかし技能で×を選んだ生徒が30%いることから、知識はあるが、実際にデータを整理して、分析、検討するという技能が定着していない生徒も少なからずいることが示されている。第2章では、知識に×を選んだ生徒が75%と多い。標本誤差の話が複雑であったようである。生徒の理解には、概念的な指導（原理など）と手続き的な指導（方法）を適切に配置することが重要であると感じた。第3章、第4章ではBを選んだ生徒がいずれも85%を超えており、原理や仕組みの理解は不十分であるが、処理できるという生徒が多いことを示している。これは指導の改善を要する課題である。考え方が理解できていないことを示しているためである。コン

コンピュータ等を用いた実習により、手順の理解が進んだと考えられる。第5章では、実際に課題研究で収集したデータをもとに議論するという活動を通して、科学的論拠となるようにデータをどのように加工するかを考察した。実際に課題研究では、少ないデータから一般的な傾向をつかむ場合も多い。そのため、研究目的にあったデータの収集や分析方法の選択ができる力、表やグラフから分布を把握する力、推定や検定などの分析における数値を読む力をどのように指導してつけさせるのが課題となる。

(2) 生徒の記述

平成30年12月に「研究に統計の手法を用いることよさと問題点」というテーマで質問紙調査を実施した。生徒の記述を紹介したい。

①よさ

- ・データを適切に加工することで、数値でも図表でも表すことができる。
- ・強力な根拠になり、説得力がある。
- ・基準を示しているため、偏見なく客観的な分析ができる。
- ・どこまで一般化できるのか、その範囲を確率を求めて保証することができる。
- ・複雑な事象や現象をわかりやすく表現することができる。
- ・新たな課題が見つかることがある。

②問題点

- ・別の要因を見逃して過大に評価することがある。
- ・どんなデータなのか、どんな分析ができるのかを見極めるのが大変である。
- ・図の見せ方で読み手に与える印象が変わる。これは危険である。印象を操作される可能性がある。
- ・いろんな読み取りができる場合、結論がすっきりしないことが多い。

(3) 今後の課題

平成29年からの2年間の取組みで、推測統計の指導に関する統計カリキュラムの原案とその枠組みを作成し、試行的に実践を行った。コンピュータ等を利用した実習により、方法の理解は進むことが明らかになった。第4期の「課題研究」において検定等の手法を用いた分析を行うグループも増えている。しかし統計的な考え方を指導するための方法論については未だ課題山積であり、継続して取り組む必要がある。

引用・参考文献

- 1) スーパーサイエンスハイスクール課題研究論文集 I ~13, 広島大学附属高等学校, 2005年~2017年.
- 2) 熊原啓作, 渡辺美智子『身近な統計』, NHK出版, 2012年, 175-195.
- 3) 竹村彰通「統計的な考え方と結果の見方」, 『数学セミナー』, 日本評論社, 2013年, 10月号, 8-12.
- 4) 藪友良, 高橋啓, 深谷肇一, ハンス・ロスリング「情勢判断・意思決定の数学 統計の威力—データマイニングからビッグデータまで」, Newton, 2013年, 12月号, 22-53.
- 5) 渡辺美智子「不確実性の数理と統計的問題解決力の育成—一次期学習指導要領の改訂に向けて—」, 日本数学教育学会誌, 第96巻, 第1号, 2014年, 33-37.