

SS課題探究Ⅱ（理数探究）の実践

都 丸 希 和・神 保 雅 一^{*1}

【抄録】 本校では「SS課題探究Ⅱ」という科目において、「科学倫理」と「数理探究」を実践している。このうち、「数理探究」の授業として、数学教員と理科教員が合同で授業を行い、実験の手法と統計的分析を指導した。さらにその結果に対して、専門家からの助言を得た後、各自でオリジナルデータを統計処理する方法を考察することにより、論理的な思考と表現力を身につけることができると考えた。

【キーワード】 理数探究 統計 仮説検定 論理的考察

1. はじめに

次期高等学校学習指導要領より、高等学校において理数探究という新たな科目が設置されることになった。本校では、平成28年度より「SS課題探究Ⅱ」という必修科目において、高校1年生では「科学倫理」「数理探究」高校2年生では、「STEAM（Science、Technology、Engineering、Art、Mathematics）」を開講している。このうち、研究課題に本質的に迫るためには、課題設定、仮説検定、内容分析という力だけでなく、その過程で多くの事柄を関連づけて考え、思考の枠組みを柔軟に修正しながら課題探究を深めていく力が必要であると考え、その力を育てる基礎を築くために「数理探究」を設定した。（注1）

2. 実施の概要（注2）

1) 対象

高校1年生を対象とする。（全員必修科目）

2) 担当教員

数学科と理科（化学）の教員の2名で行った。

3) 実施期間

2018年度後期（10月～3月）に実施した。

4) 授業形態

第2回～第7回は1クラス（40名）を2つのグループに分け、統計的分析を先行で学習する班と化学実験を先

行で行う班に分けた。その後は、1クラスを2人で担当した。

5) 評価方法

2回のレポート、2回の発表、学年末試験から評価した。学年末には、前期の科学倫理と総合してABC評価を行った。

6) スケジュール

回	〈統計先行班〉	〈実験先行班〉
1	オリエンテーション	
2～4	統計的分析の学習	実験の実施
5～7	実験の実施	統計的分析の学習
8～10	理科実験分析・まとめ （冬休み 各自オリジナルデータ探し）	
11	理科実験の分析に対する講評 （全体講評：神保）	
12～14	オリジナルデータ分析・まとめ	
15	オリジナルデータの分析発表 （全体講評：神保）	
16	学年末テスト	
17	テスト返却・解説	
18	オリジナルデータ分析・再構成	
19	評価のための応用課題 各自のポートフォリオ完成	

*1 中部大学現代教育学部教授

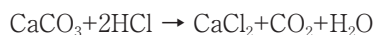
3. 実践の記録

1) 第1回 オリエンテーション

オリエンテーション後、化学実験に向けての基礎知識として、理科教員よりモル濃度についての授業が行われた。

2) 第2～4回 実験の実施（担当：理科教員）

塩酸と炭酸カルシウムの反応を調べる実験を行った。



これは、化学反応式が表す量的関係を調べるものであり、必修科目である化学基礎で学ぶ内容である。（注3）一定量の塩酸に対し、反応する炭酸カルシウムは決まっているので、過不足なく反応すると、二酸化炭素が発生しなくなる。この関係性について、生徒は5人班になり、実験の計画から自分たちで立て、計3回の実験を行った。

3) 第5～7回 統計的分析の学習（担当：数学科教員）

度数分布表、ヒストグラム、代表値、分散、標準偏差、散布図、相関係数を学習した。数Ⅰの教科書（注4）の内容を分析に必要な部分のみ簡潔に学習した。

また、仮想のデータを用いて、エクセルでグラフを書く練習も行った。このとき、過不足なく反応する点の調べ方についても考察し、近似直線を引くのは何回目までのデータが適切であるかを考えた。

4) 第8～10回 実験の分析・まとめ

班で実験した結果をもとに、個人でワークシートにまとめた。このとき、分析した結果から、再実験を行う班もあった。

レポートには、実験テーマ、目的、実験方法、実験結果、考察、引用・参考文献を明記した。また、実験結果については、グラフだけでなく元のデータも記載するよう伝えた。【資料①②】

5) 第11回 実験の分析に対する講評

事前に数名のレポートを送付したうえで、神保が生徒の分析に対する講評を行った。主に回帰直線の考え方、系統誤差、過不足なく反応した点の考え方について話された。後日、この日の生徒の質問に対して、フィードバックをした。

また、分析する上で留意する点をまとめたプリントを配布し、各自振り返りを行った。



【神保の講演の様子】

※講評に対する生徒の感想

- ・データを処理するうえで「誤差をできるだけ小さくする」という考えが大事だということがわかった。特に、系統誤差については、私たちの班でも見られたので、理由を考えたい。
- ・平方完成が統計でも使えるのに驚いた。普段の生活の中で、二次関数を使うことはないと思っていたが、意外と身近だった。
- ・エクセルに頼って出す近似直線でしたが、なぜこのような直線になるのか理由を深く学べて良かったです。

6) 第12～14回 オリジナルデータ分析

仮説検定の良さについて考えた上で、データを集めるポイント（目的にあったデータの範囲、データの軸、外れ値の扱い方）について解説した。また、データを多角的な視点で捉えることで、データのバリエーションを増やすことができることを伝え、個人で集めたデータを見直した。

次に、オリジナルデータの種類によって5人班をつくり、相談の上、班のテーマを1つに決めた。【表1】テーマを決める過程では、教員のフィードバックを行った。その後、データは班で共有し、分析は個人で行った。分析結果はA3の用紙1枚にまとめるよう指示した。

【表1】各班のオリジナルテーマ

A組1班	名大附生の誕生月の傾向【資料③】
A組2班	高度差による重力変化
A組3班	じゃがりこのLサイズはお得なのか
A組4班	ガチャの確率は本当にあっているのか
A組5班	種類別に見た本1枚当たりの値段
A組6班	さいころの振り方と出る目の数の割合
A組7班	体内時計の時間帯によるずれ
A組8班	階段の往復とその時間
B組1班	みかんの質量と中の房の数【資料④】

B組2班	使い慣れない道具の競技による違い
B組3班	柿の種とピーナッツの割合
B組4班	赤信号にひっかかる割合
B組5班	さいころの出る目の確率
B組6班	もやしの値段と本数の関係
B組7班	シャープ芯の種類と筆記可能な距離
B組8班	場所によって重力の強さは変わるのか
C組1班	みかんの房の数とへたの白い点の数
C組2班	スマホ使用時間と持久走記録の関係
C組3班	じゃんけんの必勝法
C組4班	1日の中での脈拍の変化【資料⑤】
C組5班	水を飲んだ量と体重の変化
C組6班	入浴時の脈拍の変化
C組7班	指スマで勝つ確率
C組8班	コピー用紙で物体を支える

7) 第15回 オリジナルデータの分析結果発表

異なる班の4人でテーブルを作り、各自のレポートの発表を行った。このとき、教員2名と神保で分担し、各テーブルの発表を聞いて回った。最後に、神保がオリジナルレポートについての講評を行った。主に、適合度検定や相関関係と因果関係の違いについて、主観を排除することの大切さについて説明した。



【発表会の様子】

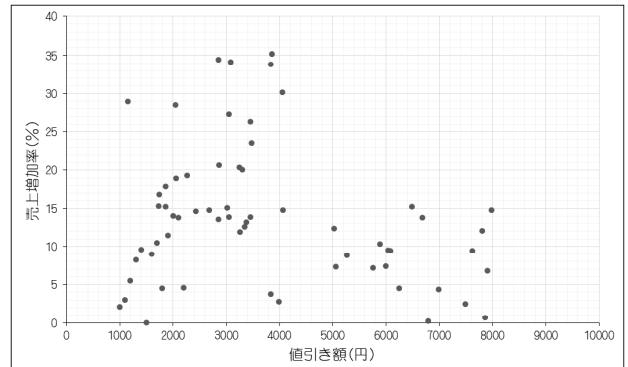
8) 第16・17回 学年末試験と解説

学年末試験を統計分野(50点)理科分野(50点)で出題した。統計分野ではグラフを読み取る問題を、理科分野では実験計画を問う問題を取り入れた。

【グラフを読み取る問題】

ある店舗でロボット掃除機を販売している。この製品には、普及グレードと高級グレードがあるが、最近売り上げが伸びず、値引きを行った。下のグラフは、横軸を値引き額(円)、縦軸は売上増加率(%)を表したこの製品全体の散布図である。このとき、次の問いに答えな

さい。



販売員Aはこのグラフだけを見て、次のように分析した。

「この製品は、値引きしても売り上げ増にはならず、無駄である。相関係数も -0.24 であった。」

販売員Aに反論する際の要点を3つ答えなさい。

※生徒の解答例

- ・このグラフは、製品全体を表しているので、普及グレードと高級グレードに分ける必要がある。
- ・4,000円以下では正の相関がある。つまり、値引きしすぎると商品に信頼がなくなるようだ。
- ・定価が分からないので、値引き額が定価に対して適正かがわからない。
- ・相関係数は直線近似であるので、相関係数が0に近いからと言って、因果関係がないとは言えない。
- ・いつの時期(期間)にとられたデータかわからない。時期を変えれば、変わる可能性がある。
- ・縦軸の増加率に負の値はないので、値引きに対してわずかでも必ず売り上げは増加している。
- ・1,100円の値引きに対し、30%近く売れている。値引き額が低く、売り上げが多いこの点に注目するべきだ。
- ・値段を区切って相関係数を考えると、違う傾向が見えてくるかもしれない。
- ・価格によってデータ数にばらつきがあるため、データ数を統一して行うべきだ。

9) 第18回 オリジナルデータ分析・再構築

前回の発表をふまえ、各自のテーマの振り返りを行った。また、次年度行われる「SS課題研究Ⅱ STEAM」の概要説明と講座選択を行った。

※テーマ振り返りにおける生徒のコメント例

- ・データの取り方の共通認識をしっかりと覚えるべきだった。人による誤差が出てしまった。
- ・データを10000個集めたが、1000個程度で同様の結果が出た。どの程度集めるのが妥当か、今後調べていきたい。

- ・複数のグラフを示す場合には、軸の幅を合わせるなど、正確に比較できるよう注意しなければならない。
- ・データを取る範囲や種類を変えたらどのような結果になるのか、追実験してみたい。
- ・データをとる状況を均一にしなければならなかった。

10) 第19回 応用課題・まとめ

記述型課題による思考力調査を実施した。

4. 考察・知見

1) 理科実験分析について

塩酸と炭酸カルシウムの反応を調べる化学分析では、一定量の塩酸に炭酸カルシウムの量（ xg ）を変化させて加え、発生する二酸化炭素の量（ yg ）を測定する実験を行った。この反応は、比例関係にあることが想定されるため、 $y=ax$ を回帰式として、最小二乗法で回帰係数 a を推定する方法を説明した。

このとき、 a を推定することは、観測値と回帰式 $y=ax$ との差の2乗和を a の2次関数とみて、その最小値を求めることとみなせることを説明し、数Ⅰで習得した2次関数の最小値の考え方が利用できることを明らかにした。数学と統計が強く関連していることを生徒が認識する良い例であったと思われる。また、このような化学反応の場合、比例関係にある反応が少なくないと思われるため、理数探究のように理科と数学の融合を目指す教科では、回帰分析の基礎的な考え方を理解しておくことは重要であると考ええる。

実験の分析の際には、実験グループによって、全体的に小さめの観測値が得られることも少なくなかったため、グラフを例示して系統誤差の存在を認識することの重要性を説いた。これにより、実験による系統誤差を小さくする工夫をすることも重要な観点であることが本課題研究を通して再認識できたと考える。

さらに、実験を行う際、最初に計画したとおりの実験方法で系統誤差が小さく偏りのない期待通りの実験結果が得られることは多くないことを生徒自身が認識することも重要である。本課題研究を通して、予備実験などを含めた実験の計画を緻密に行うことの必要性を理解する良い機会になったと思われる。

2) オリジナルデータの分析について

冬休みの課題として提出された生徒のデータは多様であり、オリジナル性も見られた。生徒自身が自分でテーマを選ぶことは、統計を身近な話題として捉えることができ、意欲につながったと考えられる。

一方で、個人のデータの中には、データ数の不足や、採取する条件が一致していないなど、多くの問題点もあった。特に、味覚といった人の感覚によるものや脈拍

のように環境に左右されやすいものはデータを採取する条件揃えるのが困難であった。生徒は、自分たちで採取したデータを使うことで、テーマの選び方やデータの取り方も大変重要であることを学ぶことができた。今回は、事後に振り返りを行い、班で1つテーマを選ぶという形を取ったが、事前に班でテーマを決め、それに対して教員がフィードバックした上でデータ採取を行うのも良いと考える。

また、分析は個人で行ったため、同じ班の生徒であっても、違う考察を行う姿も見られた。同一のデータから読み取り方によって、見解が変わることを知る良い機会となったと思われる。グラフも折れ線グラフだけでなく、箱ひげ図や円グラフなど、各自のテーマに合ったグラフを選ぶ姿勢も見られ、データ分析の多様性を実感することができた。

3) 学年末試験について

学年末試験の平均点は73.3点、標準偏差は13.1であり、70点以上の生徒が6割、60点以上の生徒が8割を占めた。

また、グラフを読み取る問題は、7割以上の正答率であった。先に示したように、生徒は複数の視点でグラフを読み取ることができ、グラフの見方によって分析が異なる場合があることを理解した生徒が多かった。

4) STEAM選択への影響

「SS課題研究Ⅱ STEAM」（高校2年生）の選択では、9つの講座から第三希望まで記入する。この際、統計を用いた講座を第三希望までに記入した生徒が全体の半数以上を占めた。これより、本授業を受けた結果、多くの生徒が統計的分析に興味関心を持ったと考える。

5. まとめ・今後の展開

理科と数学の融合において、統計的データ解析の果たす役割は大きい。本授業を通じて、生徒は自分でデータを取り、分析することで、誤差を少なくすることの大切さや、採取する条件を均一にすることの重要性を実感することができた。これは、普段の教科の授業ではあまり触れることができない分野であり、数理探究という合科ならではのものであったと思われる。

一方で、統計分析の理論には、高度な数学を必要とする場合が多々あり、その理論を生徒が理解することには困難が伴う。例えば、本課題研究の二つ目の課題であったオリジナルデータの解析では、統計的適合度検定、2標本検定などの手法が必要となるデータもあり、その解析手法のhow toだけでなく、生徒がある程度納得できる根拠を示す必要性が有る。計算機を用いたシミュレーションを取り入れ、検定統計量の分布を可視的に見せることも重要であると思われる。

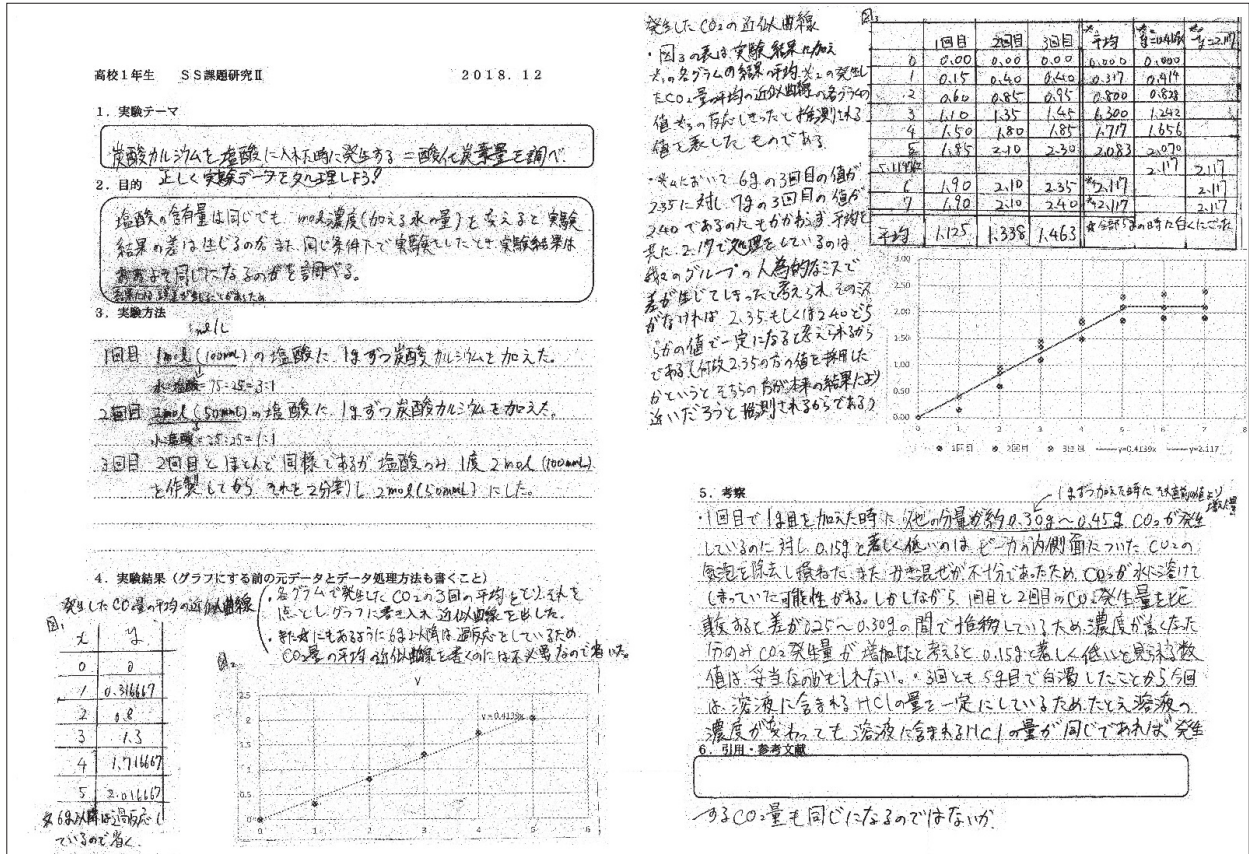
また、半期の授業で理数研究というテーマに沿って行える理科実験には、時間的制約が伴うため、化学実験や物理実験のように、繰り返しデータを収集しやすいテーマを選ぶ必要がある。今回、理論値が分かっている教科書に載っている実験を行うことで、自分たちで計画を立てること、実験を行うことの難しさをより実感することができたと思われる。

しかし、複雑な要因が絡むテーマは攪乱要因による誤差が大きくなり、期待する結果が得られないことも多い。これらのことを考慮して、生徒が選んだテーマに適切なアドバイスをすることも重要である。

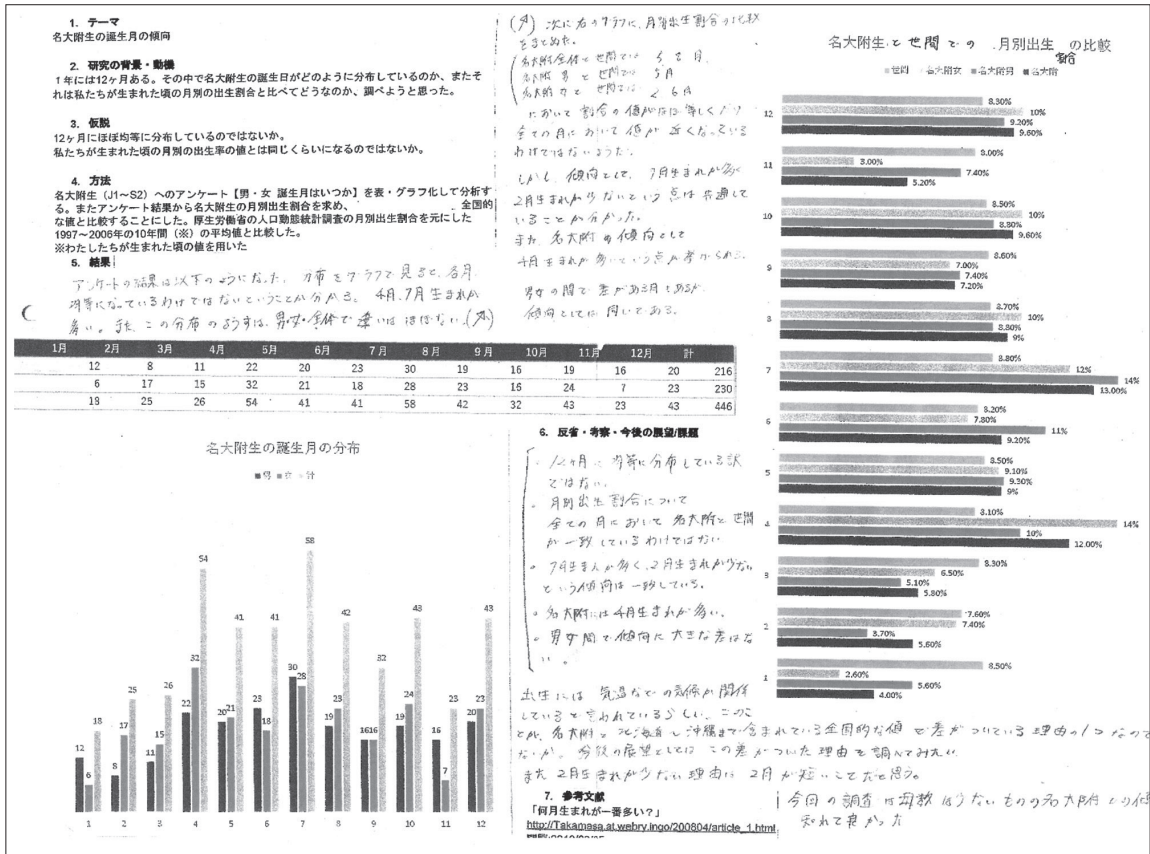
(注)

- 1 名古屋大学教育学部附属中・高等学校紀要 第64集 (本書)
第1部Ⅲ-1 SS課題探究Ⅱの概要から引用。
- 2 名古屋大学教育学部附属中・高等学校紀要 第64集 (本書)
第1部Ⅲ-3 数理探究を参照
- 3 数研出版 改訂版化学基礎 第2章物質の変化
- 4 数研出版 数学Ⅰ データの分析

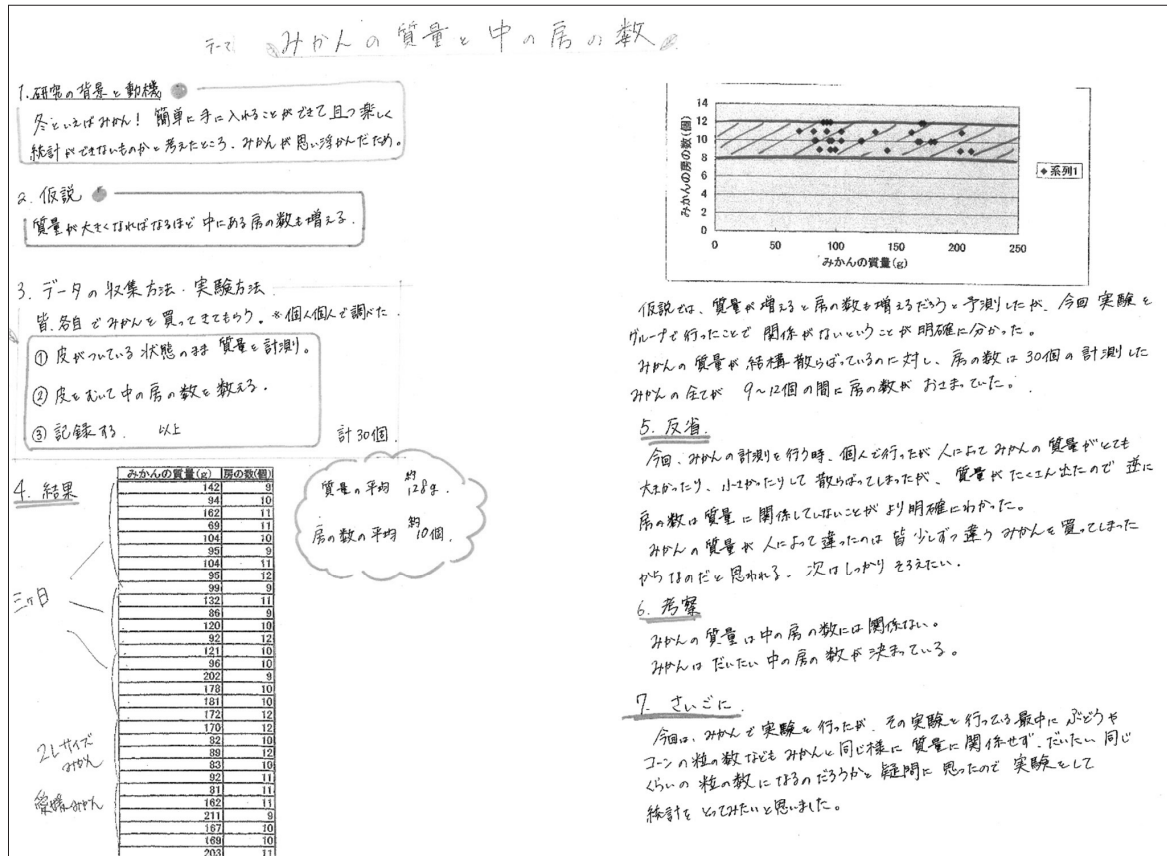
資料②



資料③



資料④



資料⑤

