

## 物質観を育てる教材開発 — 白い粉の正体 —

長 沼 健, 西 村 善 守  
(化学教室) (奈良県立五條高等学校)

### The Teaching Material to develop Student's View of Material — What is the white powder ? —

Takeshi NAGANUMA, Yoshimori NISHIMURA  
(Department of Chemistry) (Gojyo High School, Nara)

#### 要約

物質観を育てるために、「与えられた白い粉は何か」という単純ではあるが、生徒にとっては学習の復習と自主的な活動が必要な教材を開発した。TTを導入した中学校での実践をもとにアンケートを含めて評価を行った。

キーワード：物質観, 白い粉, 自己開発力

#### 1. はじめに

昨今、教育改革が行われ、とくに理科系での学力低下が著しいといわれている。大人になったとき、何が残っておりどのような手段が使えるかを考えると、基礎学力がどんなものであるかが見えてくるのではない。化学教育において、化学の基礎である原子・分子を理解することは不可欠のようであるが、それは原子論・分子論を必要とするわけで、なぜそういう考え方に到達するかが重要なのである。それでは、化学とは何かといえば、物質を取り扱うことと考えれば、数多くある物質をいかに整理するか、物質とはどんな性質をもっているのか、今回、我々はその点を強調した教材の検討を行った。同様の視点については、町井弘明<sup>(1)</sup>が、「ものに強い子を」の提案、盛口襄<sup>(2)</sup>は、「物へのアタック方法は、まず素手で、火ぜめ、水ぜめ、葉ぜめ、そででもだめなら電気ぜめ」を提唱、山本喜一<sup>(3)</sup>は「物質の面白さを引き出す実験を」と述べている。

著者らは、大学の分析実験のテーマの一つとして、『白い粉』を与え、その成分を判定する（機器分析は行わない）実験を与えた。単純なテーマであるが、学生は意欲的に取り組んだ。これらのことから、発達段階に応じた物質観を育てるために、『白い粉』の確認実験が教材にならないかを検討した。

一方、小・中学校の教育においても、視点を同様とする現行教材の中での工夫も参考に、実践とアンケートによる研究を進めた。

#### 2. 研究方法

##### 1) アンケート調査

##### ①学年別「物質や溶液の区別の仕方」の自由記述

小学校3年～中学校3年生までの生徒（9校472名）

##### ②中学校における授業『白い粉の正体を探る』の実践後の生徒へのアンケート実践中学校2校50名

##### 2) 授業分析

中学校3校の実践、うち2校は著者らの指導案を基にしたもので、授業はビデオ撮影と実験班ごとにテープレコーダーを備え、生徒の様子をまとめた。今回のまとめではその中の一部のみを利用した。実践させていただいた学校は以下の2校です。

・刈谷市立依佐美中学校2年生

・岡崎市立竜海中学校3年生

もう1校は水溶液の性質の導入に使用した授業（協力者）で、その指導案等を分析に供した。

・西尾市立寺津中学校1年生

##### 3) 単元開発

中学校での実践を試みるために、『白い粉』をどんな物質にするか、どこまで道具を準備するか、時間的な余裕はあるかなどを検討した。

#### 3. 教科書に出てくる物質

平成8～9年度版の理科教科書に出てくる『白い粉』の物質は以下のとおりである。

| 学年 | 化学物質                         | 実験項目                                 |
|----|------------------------------|--------------------------------------|
| 小5 | 食塩<br>* ホウ酸<br>* みょうばん<br>砂糖 | 溶解, ろ過, 蒸発                           |
| 小6 | 石灰石<br>石灰水<br>ホウ酸<br>食塩, 砂糖  | CO <sub>2</sub> の発生 (HCl との反応)<br>溶解 |

\*教科書によって異なる

中学校教科書での『白い粉』は、次のようである。

| 分野 | 化学物質                       | 実験項目     |
|----|----------------------------|----------|
| 第1 | 食塩, 砂糖<br>石灰水              | 物の性質     |
|    | 食塩, ホウ酸<br>硝酸カリウム<br>みょうばん | 溶解度      |
|    | 炭酸水素ナトリウム                  | 分解       |
|    | 塩化アンモニウム, 水酸化カルシウム         | アンモニアの発生 |
|    | 塩化バリウム                     | 化学反応     |
|    | パラジクロロベンゼン                 | 状態変化     |
|    | 水酸化ナトリウム                   | 電流, 塩基性  |
| 第2 | でんぷん<br>ブドウ糖               | 消化       |

中学校では、これらがそれぞれの単元ででてくるためまとめて物質として扱うのははじめの水溶液の性質での溶解性で比較する程度である。

以上、小学校と中学校を比較した場合、小学校では扱う物質が少なすぎるため中学校の教材を前提に考える方が望ましいことがわかる。

#### 4. 中学校1年「身のまわりの物質と水溶液」における『白い粉』判別の利用

実践は西尾市立寺津中学校での実践でTTでの授業T1: 今村敬子教諭, T2: 寺島裕子教諭である。10時間完了で『水溶液鑑定名人になろう』のテーマに導入として「5種類の粉は同じ物か, 違う物か, 調べよう」を行った。

まず, 調べる方法を考え, 実験を行う。

粉の種類は, A食塩, B砂糖, C砂糖(グラニュー糖), D石灰石の粉(炭酸カルシウム), E石灰(水酸化カルシウム)であったが, 抽出児E子の実験と判断は,

- A, B, C — 水に溶けた  
D, E — 水に溶けなかった  
A — 蒸発のとき, 塩のようにはねた  
B, C — きつね色(甘いにおい)になって, 黒くなった(こげくさい)。  
D, E — る過 D: 何も残らない  
BTB, 息 — 変化なし,  
E: 白いもの  
BTB, 青(アルカリ性)  
息 — 白く濁る

#### 《結果からの判断》

Aは食塩, Bは砂糖, C~Eは小麦粉か片栗粉とも思えるがわからない。

#### 《結果を聞いてからの感想》

「DとEはすごくびっくり。ぜんぜん知らなかった。AとBは予想通り, でもグラニュー糖にはだまされたっという感じ。ただの粉とばかにしちゃいけないと思った。粉のこと再発見し, 見直しちゃった。」

このあと, 水溶液についても同様の手法で実験を行い, 湿式分析の基礎ができあがる。

#### 5. 判別に用いる実験方法の調査

上記では, 中学1年生を対象にした。学年が上がり, 各種の実験技術や物質を知った場合, どのような方法を用いるのか。小学校3年から中学3年までの間に変化が起こるのかを, 15年前の林良重<sup>(4)</sup>の論文と比較するため, 同じ質問を試みた。

1. 水と食塩水があります。この二つを区別する方法を思いつくだけ書いてください。

2. 食塩と砂糖の粉があります。この二つを区別するための方法を思いつくだけ書いてください。

『白い粉』に関する2の問いについての小学4年生の回答では, 「なめる」「さわる」「におい」などの五感によるもの以外では, ほとんど出ず, 「水に溶かす」が10%以下であった。

このため, 小学校中学年での粉の認識は五感でしか判定しなく, 今回の研究の目的からははずした方が良いと判断される。

ここでは, 1の溶液についての手法を検討することで, 生徒はどのような物質観をもっているかを考えることとした。

今回のアンケートはかなりの数を行ったが, 発達段階をみるということで, ここで報告するデータは小学校や中学校の各学年調査できた学校にしぼった。

林(1984)の調査と比較して表1に示した。なお, 方法の分類・区分は林の結果に合わせた。

回答は正解であるかどうかは問わず, 方法としてどのようなものがあるかを問い, それを主に五感を用いた「感覚的操作」, ある判断のもとで操作を行う「科学的方法」, 日常生活の中から考えた「生活経験的方法」そしてその溶液の中の性質から考えた主に科学反応などにより判断する「科学的知識を応用した方法」で分類している。

表1 「食塩水と水を区別する方法」自由記述

注1) 表の数字は、答えた割合(答えた数×100/総人数)  
 注2) 各学年左側が今回の調査, 右側が林(1984)の結果

| 区別する方法\ 学年 |                      | 小学4年 |     | 小学6年 |     | 中学1年 |     | 中学2年 |     | 中学3年 |     |
|------------|----------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 感覚操作       | A 沈殿物がないか探す          | 7    | 5   | 9    | 13  | 5    | 4   | 3    |     |      |     |
|            | B 色やにごりがないか調べる       | 10   | 23  | 6    | 3   | 8    | 12  |      |     |      |     |
|            | C 味をみる               | 93   | 100 | 58   | 95  | 89   | 98  | 95   | 100 | 74   | 100 |
|            | D においを調べる            | 7    | 25  | 3    |     | 8    | 5   | 7    | 8   |      |     |
|            | E 手ざわりをみる            | 7    | 5   |      |     |      |     | 7    |     | 3    |     |
|            |                      | 124  | 158 | 76   | 111 | 105  | 108 | 125  | 111 | 77   | 100 |
| 科学的操作      | F 蒸発させる              | 4    | 5   | 64   | 95  | 90   | 93  | 93   | 98  | 77   | 95  |
|            | G 冷やす                | 2    |     | 5    | 5   |      | 15  | 13   |     | 8    |     |
|            | H 同体積の重さを比べる         | 4    |     | 6    | 58  | 2    | 38  | 20   | 3   | 48   |     |
|            | I 顕微鏡でみる             |      |     | 3    | 8   | 2    | 8   |      |     | 5    |     |
|            | J 食塩を加え溶け残りをみる       |      | 3   | 6    | 28  | 2    | 23  | 18   | 35  | 8    | 25  |
|            | K ろ紙でこす              |      | 3   | 3    |     |      |     | 8    |     |      |     |
|            |                      | 10   | 11  | 82   | 194 | 101  | 162 | 134  | 166 | 88   | 181 |
| 生活経験適用     | L 卵の浮き方をみる           |      | 5   |      | 15  |      | 5   | 5    | 20  | 6    | 48  |
|            | M りんごの色の变化をみる        |      |     |      |     |      |     | 4    | 5   |      | 13  |
|            | N 動物(犬, 猫)になめさせてみる   |      | 3   | 1    |     |      |     |      |     |      |     |
|            | O なめくじにかける           | 2    | 55  |      |     | 8    | 8   | 18   |     |      | 30  |
|            | P 料理に使ってみる           | 4    | 5   | 1    |     |      |     | 1    |     |      |     |
|            | Q 傷口につけて痛さを比べる       |      |     |      |     |      |     | 3    | 18  | 14   | 13  |
|            |                      | 6    | 68  | 2    | 15  | 0    | 13  | 21   | 61  | 20   | 104 |
| 科学知識       | R 銀イオンを加える           |      |     |      |     | 70   | 3   |      |     |      | 10  |
|            | S 通電, 電気分解を試みる       |      |     |      |     | 23   | 1   | 20   | 20  | 88   |     |
|            | T R以外の化学反応(炎色, 腐食など) |      |     |      |     |      | 29  | 40   | 15  |      |     |
|            | U S以外の物理性質(光, 浸透圧など) |      |     |      |     | 18   |     | 13   |     | 28   |     |
|            | V リトマス紙で調べる          |      |     | 3    |     |      | 7   | 3    |     |      |     |
|            |                      | 0    | 0   | 0    | 0   | 3    | 111 | 40   | 36  | 60   | 141 |

この結果から特徴的なことを挙げると、次のようになる(小学校3, 5年は省略してある)。

1) いずれの学年でも生活経験的方法は林の報告よりかなり下回っている。とくに4年生ではほとんど回答が見られない。理科の学習における現代での困難さは、生活体験的なことが少ないため、学習を定着させにくいと推定させる結果でもある。

2) 中学校1年で、15年前に比べて、科学知識の応用は極端に少なくなっている。この間に学習指導要領の改訂があり、化学反応は1年では扱わなくなったためと判断される。これらの純粋科学的な内容は、教科で習ったかが大きく現れていて、今回の回答では塩化コバルト紙の利用が中2, 中3でかなりあった。これはNaHCO<sub>3</sub>の分解の実験で水の検出として使用する学習から考えついたことであろうが、もちろん本件での区別には両方水溶液であるため利用できない。

3) 「なめる」という感覚的な方法は、科学的な「蒸発させる」という方法とどの学年でも突出して大きい。

前者は物質がわかっているから、できることでもある。後者では、物質が溶けてもなくなるという物質観はほとんど持っているようである。

各発達段階の「蒸発」と「つぶが見える」の変化を図1に示した。

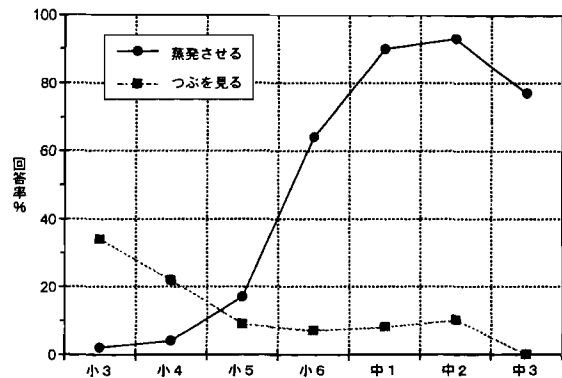


図1 「蒸発」と「つぶが見える」の変化

## 6. 中学校での実践

以上の結果から, 次のような授業案を作成し中学校での実践に臨んだ。

### 1) 『白い粉』に何を使用するか。

教科書にでてくるもので, 有機物と無機物の区別も判断できるようにする。第一段階は既知の物質を探すことにし, 班を4~5人として5種類を実験に使う。第二段階は, 日用品の中の主成分がそれらのものであることをつきとめる。そのため5種の物質は日用品に利用されているものとする。

結果として, 塩化ナトリウム(食塩), ショ糖(砂糖), 炭酸水素ナトリウム(重曹), 炭酸カルシウム(チョーク粉末), でんぷん(片栗粉)を選んだ。

### 2) 実験器具および薬品の準備

生徒が必要なものを言いに来てそれに対応する形が最も好ましいが, 時間の関係もあるので, 次のものを用意し, それ以外は必要に応じて渡すことにした。

| 実験器具   | 薬品   |
|--|--|
| ビーカー, 試験管<br>ガラス棒, ガス発生器<br>加熱道具, ロート<br>シャーレ, 温度計, ろ紙,<br>薬さじ, 燃焼さじ,<br>ピンセット | 希HCl, 希NaOH<br>BTB溶液, 蒸留水<br>ヨウ素液, リトマス紙<br>金属(Al, Zn, Fe, Mg) |

### 3) 資料の必要性

本来のねらいは, 資料を調べながら進めていくことを考えたが, 都合により, 使用した場合と不使用方法とに結果的になった。

### 4) 『白い粉の正体を探る』実践報告

実践Ⅰ 刈谷市立依佐美中学校2年生

授業者: T1原 知之(愛知教育大学化学教室4年生)

T2, T3 同大学4年生

授業日: 平成11年11月6日(土) 1限45分

班構成: 4班(1班6人)

資料は配布プリントのみ。

実践Ⅱ 岡崎市立竜海中学校3年生

授業者: T1原 知之(愛知教育大学化学教室4年生)

T2, T3 同大学4年生

授業日: 平成11年11月10日(水) 3, 4限90分

班構成: 4班(1班6人)

資料は, 配布プリント以外に教科書を使用

I, IIは同一テーマ, 授業者も同じであるが, 時間はIIの実践は2倍であり, 本実験では最も良い条件であった。課題については, ほぼ全班がこなすことができた。一方, Iでは時間が足りなく, 資料も与えてないため, 完全に推定できなかった班もできてしまった。

ここでは, IIの実践を中心に報告する。

各班の実験方法は, ほとんど次の操作に集約される。

- ①各粉末を水に溶かしてみる。
- ②リトマス紙あるいはBTB溶液で水溶液の液性を調べる。
- ③水溶液にヨウ素液を加え, 変化を見る。
- ④粉をそのまま燃やしてみる。
- ⑤試験管に入れ, バーナーで熱して, 分解されてできたものを石灰水などで調べる。

この5つの操作については, 順番に違いがあるものの, ほとんどが行った。Iの実践では, ⑤の操作はほとんどなかった。

このほかに, 次の操作が行われた。

- ⑥塩酸との反応をみる。
- ⑦炎色反応を行う。

以上のものを表で示すと, 表2のようになり, 操作の順番を考えると, 判定が可能になる。

表2 中学生の行った操作と結果

| 物質 | 水に溶かす    | リトマス紙/BTB | ヨウ素液    | 燃やす            | 熱分解                    | 塩酸と反応                 | 炎色反応    |
|----|----------|-----------|---------|----------------|------------------------|-----------------------|---------|
| A  |          | 中性        |         | パチパチ飛ぶ         |                        |                       | オレンジ色   |
| B  | 白く濁る     | アルカリ性     |         |                |                        | 泡がでる                  |         |
| C  |          | 中性        | 青紫色     |                |                        |                       |         |
| D  |          | アルカリ性     |         |                | 石灰水白濁                  | 泡がでる                  |         |
| E  |          | 中性        |         | 黒くこげる<br>(甘い香) |                        |                       |         |
| 判定 | これだけでは不明 | これだけでは不明  | でんぷんを判断 | 砂糖を判断          | NaHCO <sub>3</sub> を判断 | CaCO <sub>3</sub> を判断 | NaClを判断 |

正確に言えば、BとDは難しい点がある。水への溶解の違いがわかれば判定できるが、物質の溶解について中学生では、多くの知識や経験はない。結局、炎色反応で金属を決めることになる。

それでも実践Ⅱでは、ほとんどが正解であり、さらに日用品の確認もいくつかできた。

次に実験の終わったところで書いた生徒の感想をいくつか紹介する。

「今までに習ったことを使っているんなものを、調べることができた。同じ色の粉でも性質がぜんぜん違うなあと思った」

「とても楽しかった。また、こんな実験をやれたらやりたい。もっとたくさんのことを調べていきたい」

「もっといろんな白い粉を調べてみたい。最初に名前を提示しないで調べて、それが何か当ててみたい」

「今までやった実験で、これだけの白い粉が何だか分かるっていうのは、勉強にもなったし、自信にもなった」

「今までの理科の実験でやって、忘れていたことを復習することができた。また、生活の中で使う物の元となる物を知ることができて良かった」

「最初、見ただけでは何もわからなかった。だけど調べていくと楽しい」

この感想をみて、中学校における「選択理科」の題材に良いのではないかと思った。実際、教科書を調べ直しながら、試みて確かめていく過程は、個々の内容で別々に登場した物質を並べて、問い直してすることで、教科内容としての深まりを見せると同時に、自己の能力を開発する方法にもなると判断される。

授業は、最初に目的や共同で行うことを説明した後は、各班の近くにT1、T2、T3が控え、操作の間違いの指摘、困ったときのアドバイス、生徒からの質問への回答など、教師があまり表にでなくて生徒の相談による進行に委ねた。なお、各班の進み段階は録音によるデータの集積中であり、今回は詳細を省略した。

また、感想中に見られるように、より発展した『白い粉』の鑑定を望むようになれば、多くの分離・分析方法から科学的発展が期待される。

## 7. 大学生における『白い粉』の分析

既報<sup>(5)</sup>に一部紹介したが、実は大学での実験が基になって、中学校での実践計画を構築してきた。化学系大学生であるので、もちろん名前の提示はなく何かわからない物質（ただし純物質とは告知）として取り組むわけである。ほぼ2日間かけての実験であった。必要な器具、薬品は申請があれば提供し、機器分析によらない湿式法ならびに物性などにより推定するものである。

この年に砒素事件やアジ化ナトリウムが世間を騒がせたこともあり、『白い粉』をどうやって分析するのか、という内容はタイムリーな課題であった。

### 実践Ⅲ 分析化学実験Ⅰ（集中講義）

時期：平成10年度および11年度

対象：化学教室2年生20名（2～3名で班構成）

資料：何をしらべても良い

試料：11年度は各班2個の白い粉を調べる

ここでは、11年度の結果について、学生の答えとともに表3に示す。

表3 大学生の『白い粉』分析結果<sup>(5)</sup>

|   | 正 解   | 学生の答え   |
|---|---|---|
| A | CaCO <sub>3</sub>                                 | ○   |
| B | AlNH <sub>4</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> |
| C | KBr   | ○   |
| D | NaCl  | ○   |
| E | BaCl <sub>2</sub>                                 | CaCl <sub>2</sub>                               |
| F | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                 |
| G | NaHCO <sub>3</sub>                                | ○   |
| H | ポリビニルアルコール<br>(PVA)                               | ○   |
| I | シリカゲル   | 不明  |
| J | ホウ酸   | ○   |
| K | でんぶん  | ○   |
| L | KNO <sub>3</sub>                                  | CH <sub>3</sub> COOK                            |
| M | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                   | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                  |
| N | グルコース   | スクロース   |

この中で、A、D、G、Lについては中学校でも用いた粉である。ここでは正解であるが、NaHCO<sub>3</sub>やNaClなどでも確認するにはかなり難しいのである。これらの塩は陽イオンと陰イオンから成り立っているとすれば、両方を確認しなければならない。とくにNaイオンは呈色反応がなく炎色反応に頼るぐらいである。NaHCO<sub>3</sub>とNaCO<sub>3</sub>も判断が難しい。

また、何も反応しないシリカゲルには手を挙げたようで、反応してくれないことには判断ができなかったようだ。

この反応の中で、私が注目したのはPVA（ポリビニルアルコール）である。この物質そのものを見たことはないだろうが、この水溶液はPVAのりとして市販され、フレンドシップ事業で小・中学校訪問科学実験では大人気のスライムの原料である。PVAを水に溶かすとき、冷水ではほとんど溶けず、温度を上げて行くとかなりの量が溶け、状態が粘性がでてのり状になるのである。でんぶんでも同じことがいえる、これらのことから溶液として粘り気のある場合の共通項を見つけ出さないかと期待していたのである。物を溶かす

ときにはかなり、その性質が現れることになるのである。物質の学習の中に物質の溶解性、とくに水と油（n-ヘキサンかオクタノール）への分配比を出してみるのも環境教育との関係でも有効ではないかと思う。その比率の違いが分子構造からくることへと導くことによって、構造式の重要性を示せることになる。

### 8. 物質観を育てるために

自ら課題に取り組む方策としては、学習者が必然的に取り組む最も良い手段は、本人に与えたテーマに責任を持たすことであろう。しかし、大学までは自己責任は難しいと考えられるため、班によるアイデアの出し合いを通して進めることではかどることを確認した。また、いずれの実践もチームティーチング(TT)を採用したことで、それぞれのつまづきに助言を与えることができ成果を上げた。

物質を知ることは、違いを知ることであり、違いを知ることは構造を知ることである。

概念の重要性はもちろんであるが、生活体験を含めて物質観の乏しい現況において、推理物としての『白い粉の正体を探る』は各学年でそれぞれにあった試料を用意することで適用が拡大されると思われる。

今後、課題研究的なテーマとしての実践をさらに進め、科学的方法の習得にも有効であることを確かめる必要がある。

### 謝辞


本論文は、本学化学教室の原 知之君の卒業研究に負うところが多い。投稿規定により連名にできなかったことをお許しいただきたい。また、授業案を提供いただいた西尾市立寺津中学校をはじめアンケートならびに授業実践を許可していただいた各学校には深謝いたします。

### 文献

- 1) 町井弘明: 理科教室, 37, No.11, p6 (1994)
- 2) 盛口 襄: 高校化学教育(新生出版) など
- 3) 山本喜一: 理科教室, 37, No.6, p17(1994)
- 4) 林 良重: 日本理科教育学会研究紀要, 24, No.3, p1, (1984)
- 5) 長沼 健: 理科教育研究, 9, p8 (1999)

(平成11年11月25日受理)

資料: 授業実践で用いたワークシート

 「白い粉」の正体を探ろう!!

\_\_\_\_\_年 \_\_\_\_\_組

A~Eまでの5つの「白い粉」の入ったビンがあります。これらの「白い粉」は、

- ・ショ糖
- ・塩化ナトリウム
- ・デンプン
- ・炭酸カルシウム
- ・炭酸水素ナトリウム

という薬品のいずれかになります。

① まずは、これらの5つをグループで手分けして、いろいろな方法でそれぞれの性質を調べよう。

| 調べた薬品の記号 | 方法 | 結果 |
|----------|----|----|
|          |    |    |

② グループで調べた結果から、A~Eの「白い粉」はそれぞれ何であるか、予想しよう。

| A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |

次に、実際の生活の中で使われている「白い粉」は何であるのか、調べてみよう。

- ① グループで1つ、生活の中の「白い粉」について、A~Eのものを調べたときと同様に調べよう。

| 調べたもの | 方法 | 結果 |
|-------|----|----|
|       |    |    |

- ② この結果から、調べた「白い粉」は、A~Eの中のどの薬品と結び付けることができるだろうか。



<実験を行っての感想>

