

「シャボン半球」を用いた目の前に雲を作る教材の開発 —小学校理科出前授業の実践を通して—

名 越 利 幸*

(2012年3月5日受理)

Toshiyuki NAGOSHI

Development of Teaching Materials for Generating Clouds

Using a "Soap Hemisphere"

-Practice of an elementary school science visiting lecture-

1. はじめに

文部科学省学習指導要領(2009)によれば, 小学校理科4年, 生命・地球, 天気の様子の記事の中に, 「1日の気温の変化や水が蒸発する様子などを観察し, 天気や気温の変化, 水と水蒸気との関係を調べ, 天気の様子や自然界の水の変化についての考えをもつことができるようにする。水は, 水面や地面などから蒸発し, 水蒸気になって空気中に含まれていくこと。また, 空気中の水蒸気は, 結露して再び水になって現れることがあること。」とあり, 水の三態変化, 特に, 水蒸気が水滴になることの重要性が説かれている。この領域は, 1998年施行の学習指導要領における中学校の学習内容が小学校に移行したものである。断熱圧縮, 断熱膨張時の気温変化による雲の発生実験は, 中学校理科教科書に記述がある。しかし, 気圧概念(中学1年の内容)を学習していない小学生が生徒実験を行い「水蒸気が水滴に変化する過程」を発見学習できるような教材の開発はない。

そこで, 水蒸気が水滴に変化する際の凝結核に着目し, シャボン膜による透明な閉鎖空間を用い, 息による微粒子を凝結核として水滴になることを利用した「シャボン半球」を用い, 「雲を作ること」,

「雲がなぜ白いか」の原理を理解させる教材を開発した。さらに, 日本科学技術振興機構「卓越した理科特別講師」として, 小学校への出前授業を行った。その現場での実践を含め以下報告する。

2. 「シャボン半球」とその雲物理学的意義

1) 「シャボン半球」とは

「シャボン半球」とは, 水蒸気が水滴に変化する際の凝結核に着目し, シャボン膜による透明な閉鎖空間を用い, 息による微粒子を凝結核として水滴になることで現象を可視化したものである。シャボン膜は, 曇らないので内部が見やすいこと,



図1 シャボン半球(呼気を吹き込んだ状態)

*岩手大学教育学部理科教育科

たとえ割れても、簡単に再生することができる。

2) 「シャボン半球」の誕生と雲物理学の意義

シャボン半球は、1970年代に、信州大学岩井邦忠名誉教授が開発し、その後、大阪教育大学山下晃名誉教授（1990）がその凝結核と水滴の関係を凝結核カウンターを用い詳細に調査したことから発展した。シャボン半球の誕生は、当時、南極のような空気のきれいな所では寒くても吐く息が白く見えないという現象が有名になっていた。そこで、岩井は、第18次南極地域観測隊（1977年）で図2のような実験を行い、凝結核の存在の必要性に気がついたことが切っ掛けである。その実験とは、図2において、人が二人立っており、中央にドラム缶、煙は見えないが紙を燃やしている。風は風向計から分かる通り、左から右である。同時に、二人にハット息を吐いてもらった。風上側の人の吐く息は白く見えないが、風下でエアロゾル（気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子）が増えたところにいる人の息ははっきりと白く見える。気温は約零下10度だった。この実験の結果、エアロゾルが水蒸気凝結するときに必要なことを雲物理学的に裏付けた。その後、立花太郎著「シャボン玉－その黒い膜の秘密－」中央公論社、自然選書（1975）のシャボン実験の水の部分をお湯に替えたらどうなるかということから始まった。なお、最近では昭和基地では勝手に紙くずなども燃やしてはいけないことになっている



図2 南極での息を吐く実験
－2人で同時に息を吐く－

ことをお断りしておく。その後、このシャボン半球の実験は、嶋村他（1991）、木村他（1994）、名越・木村（1994）、二宮他（1997）で紹介され、雲の発生に凝結核が必要であるという簡単な実験として普及している。

3. 「シャボン半球」による雲の発生実験

「霧」という現象は、われわれの日常生活で身近にありながらあまり意識していない気象現象である。また、やかんの湯気のように、水蒸気と霧（水滴）とを多くの児童は誤解している。水蒸気は気体であり目に見えない。水滴は液体であり光が散乱（ミー散乱）して白く見える。すなわち、霧とは地面付近に生じた雲で、空中に浮かんだ無数の微小な水滴からできている。その水滴が地面に接していれば霧、空中に浮遊していれば雲と定義される。微小水滴（霧粒）は、光を散乱・吸収するので、霧の中では視界が悪い。気象観測では見通せる距離（視程）が1 km以上のときは、靄（もや）と呼び、霧と区別している。霧粒は空気中の水蒸気が凝結核（大気中に浮遊している液体や固体の微粒子）を中心に凝結してできる。一般に、空気中に含まれる水蒸気を凝結させるに十分な凝結核が大気中にあるので、冷却し気温を下げていくと霧が発生する。また、大気を冷却する原因には、地面の放射冷却、空気塊の上昇による断熱冷却、寒気との混合、暖かい水面からの水蒸気の供給などがあげられる。

現行学習指導要領小学校4年理科気象領域には、「空気中の水蒸気は、結露して再び水になって現れることがあること」を理解させるよう指示されている。この内容を簡単に再現できる「シャボン半球の実験」は、身近な材料、簡単なセットで児童一人一人が実験できる。以下に実験の詳細を述べる。

1) 霧（雲）の発生実験の流れ

ねらい：霧（雲）の発生の諸条件、および凝結核が必要かどうかを調べる。

準備：ミニカップ麺の容器、中性洗剤（ファミリーフレッシュが望ましい）、ストロー、

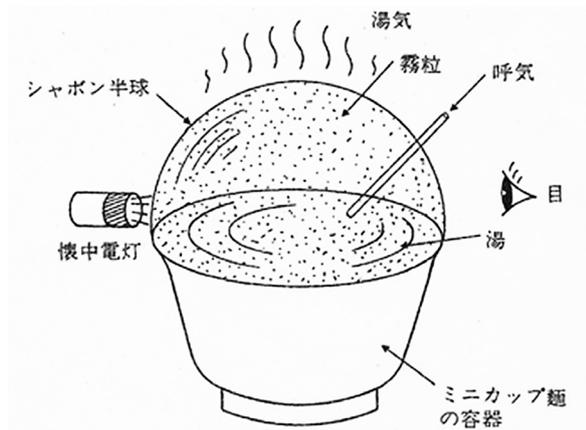


図3 「シャボン半球」装置の概念図

懐中電灯，お湯（約30度以上，約70度前後が良い）。

- 方法：①ミニカップ麺の容器に，お湯を容器一杯に入れる。
- ②①のお湯の中に中性洗剤を数滴（約1ml）たらし，ストローでよくかき混ぜる。
- ③ストローで息を吹き込み，シャボン半球を図3のように作成する（中性洗剤の種類によっては10～15分割れない。また，割れても簡単に，かつ，すぐに繰り返してできる）。
- ④観察者のいる反対側から懐中電灯で照らし（ミー散乱が後方散乱の為），シャボンの中の様子を観察する（図1）。
- ⑤しばらくして（中の様子が入れの前と同じような状態になったら），もう一度息を吹き込み④と同じ方法で観察してみる。
- ⑥針を取った注射筒の中に線香の煙を入れ，⑤と同様に，シャボン内に注入する。

結果と考察

- ①図1で，シャボン半球の内側に，霧（雲）が生じている様子が理解できる。霧（雲）は，半球内の熱対流とともに動いている様子が観察できる。
- ②1～2分観察していると，中の霧（雲）

が急激に減少する様子が分かる。これは，お互いの水滴が衝突併合したり，シャボンの膜面に付着したり，水面に落下することにより減少したものである。

- ③もう一度息を吹き込むと，シャボン半球の中に霧（雲）が再び発生する。この結果，半球の中に何もないのではなく，水蒸気がたくさん含まれているにもかかわらず，凝結核がないために霧（雲）になり得ない状態，過飽和状態にあることが分かる。息の中の凝結核が核となって水滴に変化したと考えられる。
- ④線香の煙という凝結核を半球内に注入すると，その凝結核数分だけ水滴に変わることが理解できる（図4）。



図4 線香の煙を入れた状態

以上の結果，水滴が生じるためには，凝結核が必要なことが理解できる。

2) 霧（雲）の見方について

山下（1990）の測定によると，発生した水滴の大きさは， $10\mu\text{m}$ 程度である。このくらいの小さな水滴は，ミー散乱による散乱が強いので，光の進行方向（懐中電灯の光の反対側から見る）からが最もよく見えることになる。そこに，二人で行う意義がある。

3) 凝結核の数と霧（雲）粒の数

人間の息の中にも凝結核が存在するので，ストローで息を入れると水滴が生じる。この水滴の数

は、息の中にあった凝結核の数と一致する。すなわち、水滴の数を数えることで、簡易の凝結核カウンターとなり、その気体の中にある凝結核の数を知ることができる。この方法で、大気環境のモニタリングを行うことも可能である。

4. ニュートンの分光実験と光の散乱

1) 三角プリズムによる分光演示実験

演示実験として、太陽光（曇りや雨の日はスライドプロジェクターの光）を、ニュートンにならない三角プリズムで分光し、天井に投影する。天井には、鮮やかな虹の七色が描き出される。波長が最も短い紫から赤までが可視光、紫より外側の波長が紫外、赤より外側の長波長帯が赤外、ともに目に見えないことを周知し、可視光という概念を児童に提起する。次に、光の三原色（RGB、赤（Red）、緑（Green）、青（Blue））がすべて混ざると白になること、一方、光が届かないと黒になることも理解させる。最近、文部科学省（2008）から「一家に1枚光マップ」という解説図版が発行され、Web上からも入手可能になった。これらを用い光に関するより詳細な理解を児童に促すことも可能となった。

2) 光の散乱と色

散乱とは、光などの波動が散乱体、つまり障害物にであったとき、それを中心とする球面を生じ、周囲に広がっていく現象のことを言う。一般に、散乱は散乱体の直径と光の波長の比によって影響を受ける。光の波長よりも散乱体の直径が小さく、その比が10分の1程度以下の場合、レイリー散乱という。一方、光の波長に対して比較的大きな粒子による散乱は、ミー散乱と呼ばれる。

レイリー散乱は、大気中の空気分子に光があたり散乱するものである。散乱光の強度は、光の波長の4乗に反比例するので、波長の短い青い光の方が赤い光より強く散乱される。太陽の白色光が大気中を通過したとき、光の青い成分は空気分子による散乱を受け、赤い成分は直進する。このため、白くひかる太陽は、青みが薄れ黄色に、空は青く見える。朝焼けと夕焼けは、大気層を

最も長く通過するので、赤や橙色に染まるわけである。

一方、ミー散乱は、光をすべて後方に散乱する。その結果、雲は白く見える。また、積乱雲のように雲頂までが高いと、地面付近では光が地上まで到達せず、黒色の雲となる。その両極にあたる白と黒の中間色が我々が雨の日によく見る灰色の雲となる。このような気象と光の関係を研究する分野が気象光学であり、このような内容を実験の前に講義することで、光と水滴と色の関係に、児童の興味・関心を向ける工夫をした。

5. 小学校での出前授業

1) 野田小での特設授業の流れ

日本科学技術振興機構「卓越した理科特別講師」として、2010年1月29日、岩手県野田村立野田小学校5年生35名を対象に、1時間半の出前授業を実施した。テーマは、「青い空と白い雲」である。授業の流れは、以下の様である。

- ①導入（リアルタイムな気象衛星全球画像の雲）
- ②三角プリズムによる分光の演示実験（太陽光利用）
- ③光マップによる「可視光」、「散乱」、「光の三原色」の講義
- ④シャボン半球の児童実験（2人で1組、必ず自分でシャボン半球を作る）



図5 岩手県野田村立野田小学校5年生の授業の様子

- ⑤雲の白さ、灰色の雲、空の青、夕焼けの赤の説明（実験と自然現象との関連性の理解）
 - ⑥まとめ（岩手大学「学校气象台」の話など）
- 授業の様子を、図5に示す。

2) 授業後のアンケートによる考察

小学校5年生であるので、ごく簡単な設問10問

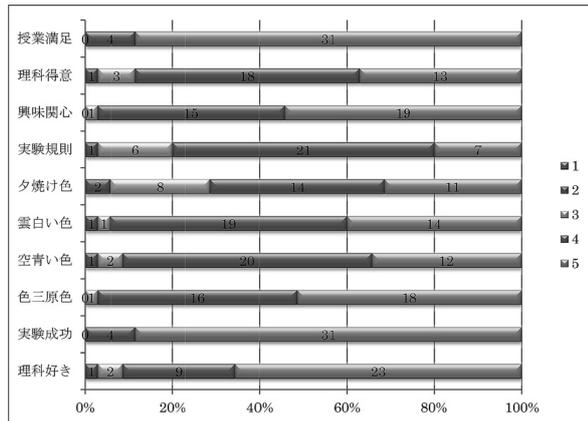


図6 各説明変数に関する満足率 (n=35)

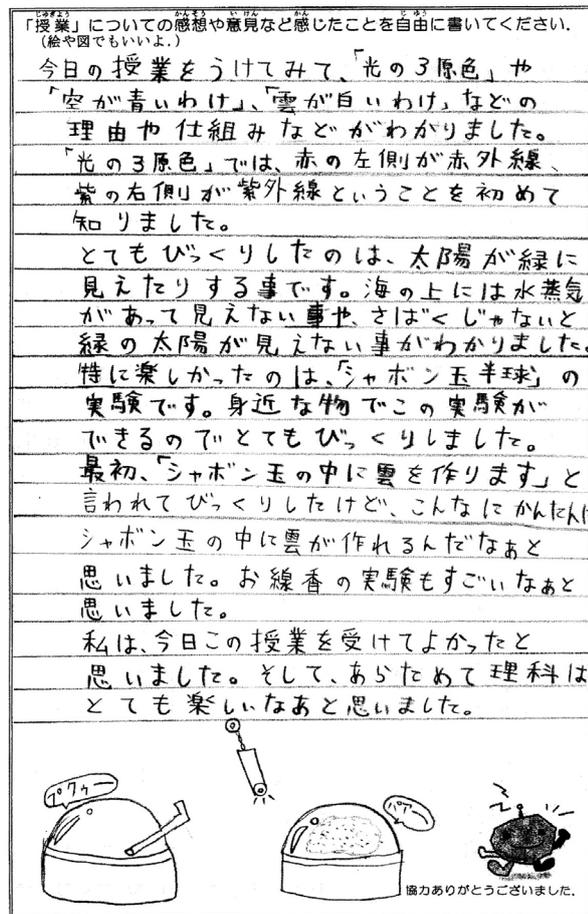


図7 実験授業後に取った児童の自由記述の例

に対して、5段階で解答してもらった。また、裏面を自由記述にし、感想などを書いてもらう形で事後アンケートを取った。

その結果を、グラフ化したのが図6である。各項目（説明変数）は、○理科は好きですか、○「シャボン半球」の実験で、雲を作ることができましたか、○「光の三原色」の意味がわかりましたか、○「空が青いわけ」の意味がわかりましたか、○「雲が白いわけ」がわかりましたか、○「夕焼けがなぜ生じるか」説明することができますか、○「シャボン半球実験」から何か規則性を見つけることができましたか、○今日の授業で、気象についての興味・関心がたかまりましたか、○理科は得意ですか、○今日の授業の内容は、全体的に満足できましたかの10項目である。

各説明変数に関する満足率（図6）から考察すると、授業の満足度ではほぼ全員満足し、全員がシャボン半球を作ることができた。一方、かなり高度な説明をしたため、気象現象の内容に関する説明や実験結果の規則性について捉えられていない児童が多い。菅（2007）によるCS分析を試みようとしたが、データが満足側に偏っているために、満足度や改善度を求めることができなかった。そこで、自由記述から抽出したものを図7に示す。この児童は、こちらのねらいどおり、光の三原色、青い空と白い雲の原理を少なからず理解している点、シャボン半球の実験を通して、理科の興味・関心が増したことが読み取れる。

7. まとめと今後の課題

水蒸気が水滴に変化する際の凝結核に着目し、シャボン膜による透明な閉鎖空間を用い、息による微粒子を凝結核として水滴になることを利用した「シャボン半球」という教材を開発した。この教材は、気圧概念を学習することなく雲を作ることができ、小学生に適している。また、日常、身の回りにあるもので簡単に実験ができること、通常シャボン半球は十数分割れることはないこと、たとえ割れても、すぐに作るができるという利点をもつ。この教材の小学校における教育効果

を、出前授業で試行、検証した。簡単な事後アンケートの結果、概ねその目的は達成されたと考える。少なくとも、児童の気象現象に関する興味・関心は高まった。

今後、この教材を小学校で普及させていくために、どのような方策が考えられるのか。この課題の改善の方策を模索したい。全国の児童が、「目の前に雲を作る」実験を行い自然への興味・関心をますます高めることを期待したい。

謝辞

本研究の骨子は、2007年度日本地学教育学会において発表したものを加筆、修正した。信州大学岩井邦忠名誉教授には、シャボン半球誕生の秘話、及び「南極での息を吐く実験」の写真をご提供頂いた。尚、本研究の一部は、2008年度日産科学振興財団環境教育助成、及び2009年度科学研究費若手研究スタートアップによった。深くお礼申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 菅 民郎 (2007) : Excel で学ぶ多変量解析入門【第2版】、オーム社、p273.
- 2) 木村龍治他 (1994) : うずまく大気と海、岩波書店、p150.
- 3) 文部科学省 (2008) : 一家に1枚 光マップ、(http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/04/08040301.htm, 2012. 3. 1 現在)
- 4) 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、p105.
- 5) 名越利幸・木村龍治 (1994) : 気象の教え方学び方、東京大学出版会、p217.
- 6) 二宮洸三他 (2007) : 図解気象の大百科、オーム社、p628.
- 7) 嶋村克・山内豊太郎 (1991) : 「雨のち曇り、ときどき晴れ」のサイエンス、PHP 研究所、p235.
- 8) 立花太郎 (1975) : 「シャボン玉ーその黒い膜の秘密ー」中央公論社、p180.

- 9) 山下 晃 (1990) : 「シャボン半球の実験」、大阪教育大学研究紀要、No. 14.