

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26381248

研究課題名(和文) 寒剤と寒剤を利用した拡散霧箱の研究

研究課題名(英文) The research of freezing mixture and the diffusion cloud chamber by using freezing mixture

研究代表者

柚木 朋也 (Yunoki, Tomoya)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：00311457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：この研究の目的は、学校などにおいて容易に使用できる簡易霧箱を開発することで放射線や原子力に関する教育の向上に資することである。従前のドライアイスの代わりに化学的な寒剤で放射線の飛跡を観察することができるS霧箱を開発した。さらに、S霧箱を学校などで使用し、教材としての有効性や適切性について明らかにした。S霧箱を開発したことにより、放射線の飛跡をより容易に観察することができるようになると思われる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to contribute to the improvement of education on atomic energy and radiation by developing the simple cloud chamber that can be easily used at schools. We developed an S cloud chamber which enabled us to observe the track of radiation by using chemical freezing mixture instead of usual dry ice. Moreover, we used the S cloud chamber at schools to clarify the effectiveness and suitability as teaching materials. By developing an S cloud chamber, it seems that the track of radiation can be observed more and more easily.

研究分野：理科教育学, 教育方法

キーワード：霧箱 寒剤 放射線 塩化マグネシウム 融雪剤 塩化ナトリウム ホコリ S霧箱

1. 研究開始当初の背景

平成 23 年 3 月 11 日における東日本大震災による福島原子力発電所の事故以来、放射線という言葉が聞くことが日常的になった。直接見ることでできない放射線について学習する場合、霧箱はきわめて有意義な教材であり、その教育的効果はよく知られている。しかし、学校などでの利用は必ずしも十分とはいえず、例えば、教員免許取得を目指す学生 215 名について調査したところ、霧箱を実際に見たことがある学生はわずか 3 名という結果であった。霧箱に関しては、現在まで多くの先行研究により、高温拡散型霧箱や液体窒素、ガラス容器などを利用した様々な霧箱が工夫されている。特に、ドライアイスを利用した霧箱は、構造が簡単で比較的低コストで実現でき、使用が容易である。しかし、ドライアイス自体の保存が難しく、地域によってはドライアイスの入手が難しいという問題点がある。例えば、北海道立教育研究所附属理科教育センターによれば、「ドライアイスを使わなくても放射線が簡単に見える霧箱はありませんか?」という問い合わせがよくあるとのことである。この問題を克服するために、ドライアイスの代わりに融雪剤から精製した塩化カルシウムを寒剤として利用することを試み、その結果を発表した(柚木、津田、2012)。塩化カルシウムを寒剤として利用することで、ドライアイスがなくても容易に放射線の軌跡を観察することができることに大きな意義があった。また、教材としての塩化カルシウムに関する研究を進めた結果、様々な点で教材として使用できる可能性を大きく広げた(柚木、2012)。しかし、その後の研究の結果、塩化カルシウム 6 水和物 ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) には次の問題点があることが明らかになった。

ア 塩化カルシウム 6 水和物は融点が低いため(約 30)、夏には液体になってしまうこと。

イ 塩化カルシウム 2 水和物(融雪剤)から 6 水和物を精製することは比較的容易であるものの、時間と労力が必要であること。

ウ 6 水和物を寒剤として使用するためには、粉状にする必要があること。

以上のことから、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を寒剤として使用するためには、冬季に粉状にして冷蔵庫に保管する必要があるなど、学校などで使用することはそれほど容易ではないことが明らかになった。また、ピーカーを利用した簡易霧箱をその後に作成したが、放射線の軌跡を観察することができる場合もあれば、観察できない場合もあった。いつでもどこでも、容易に確実に放射線の軌跡を観察することができるためには、さらなる研究が必要であ

ることが明らかになった。

2. 研究の目的

本研究の目的を次の 3 点に定めた。

ア 霧箱の冷却に適切な寒剤とその効果的な使用法について研究する。

イ 霧箱の諸特性を解明し、寒剤で放射線の軌跡を観察することができる霧箱の開発を行う。

ウ 開発した簡易霧箱を学校などで使用し、教材としての有効性や適切性について検証する。

3. 研究の方法

(1) 寒剤の特性について

今回、主として対象としたのは、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 NaCl 、 $\text{NaCl} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ などである。ここでは、小・中・高等学校の理科室で冷蔵庫(冷凍庫)があれば、容易に再現できることを念頭に、簡易装置を用いて室温で実験を行った。

実験に使用する氷は、電動かき氷器を使用し、雪に近い細かいかき氷(密度 0.2~0.3 g/cm³)に加工した。作成した氷 100 g を発泡スチロール製容器(発泡どんぶり 上口径 180 mm 底面径 105 mm 高さ 70 mm)に入れて食品包装用ラップフィルムで蓋をし、低温恒温器(ヤマト科学 プログラム低温恒温器 IN604W -2.0 に設定)に 2 時間以上保存した。使用するときは、恒温器から取り出した後、プラスチックトレイの上で約 1 分間、プラスチックのスプーンで素早くかき混ぜた。ここに、寒剤を入れてプラスチックのスプーンで素早くかき混ぜ、一様に混ぜた頃に熱電対を入れて測定した。熱電対は T 型熱電対を使用し、必要により、標準水銀温度計で補正した(測定機器は熱電対温度ロガー(4ch) testo176-T4 及び T 熱電対フレキシブル温度プローブ testo0628.0023 で 5 秒ごとに測定、校正は棒状標準温度計 -50~0 安藤計器製工所 製品 No 1-06-0W No 0 -50~0 JCSS 校正証明書付で行った)。なお、測定は、室温(20 ± 2)で行い、ラップなどでふたをせずに開放系で測定した(柚木、2015)。

(2) S 霧箱の開発

ドライアイス(-79)で冷却する場合と比較すると、寒剤による冷却温度(-20 ~ -50)は高温である。そのため、季節や室温などの状態にかかわらず、確実に放射線の軌跡(特に 線など)を観察するためには、寒剤を使用するのに適した簡易霧箱を設計する必要がある。学習者一人に一個かグループに一個で使用できることを前提とした安価で簡単な構造の簡易霧箱の開発を目指し

た。具体的には、
 寒剤の冷却能力で使用できる。
 線源がなくても自然放射線の軌跡を確
 実に観察することができる。
 生徒が自分で観察できる（安全、低コス
 ト、取り扱いが容易など）

- を目標とした。さらに、
- 冷却は融雪剤（ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ）を寒剤として使用する。
 - 上部は室温である。
 - 霧箱のサイズはあまり大きくしない。
 - 横から光を当てるために、透明な容器を使用する。
 - 霧箱内部の底面はつや消しの黒（濃い色）にする。
 - 上部（蓋）は、透明である。
 - 線源を霧箱内に簡単に入れることができる。

を条件に試行錯誤を繰り返した。しかし、目的とする霧箱はなかなか開発できなかった。それは、d が原因であった。様々な実験の結果、放射線の飛跡ができるためには、温度勾配のある安定した過飽和層とそれを保持する必要があることが明らかになった。そのためには、霧箱の側面の熱伝導が小さい必要があり、透明な容器ではそれが難しいことが明らかになった。実際、これまで開発されてきた小サイズ霧箱のほとんどすべてが透明な容器でできていたのである。そこで、霧箱の本体には、根伝導の極めて小さい発泡スチロールの一種であるポリスチレンペーパー（PSP）を使用した。さらに、底面を急速に冷却することによって大きな温度勾配をもつ過冷却層を作るために、底面に薄いアルミニウムはく（厚さ 0.02 mm）を使用した。また、エタノールの保持方法や製作などについて様々な工夫を施した。このようにして、開発した霧箱を S 霧箱と名付けた（柚木、尾関、田口、2015）。

なお、ポリスチレンペーパー（PSP）は、カップ麺の容器から適切なもの（形や大きさ）を使用することができる。そのため、作成のための材料を容易に入手できる。

図 1 は、製作した S 霧箱の本体であり、図 2 は、S 霧箱で放射線の飛跡を観察する構造を示したものである。

(3) 教材としての有効性についての検証計画

開発した S 霧箱を本学ならびに各種学校現場で使用し、その有効性を検証した。生徒の反応なども含め、実証的に検証することとした。

本学の授業（物理学基礎実験など）に取り入れ、実施する。

本学附属中学校で実施する。

各種研修会で実施する。

開発した霧箱は、学習者一人に一個かグループに一個で観察することを想定し、計画を立案した。



図 1 製作した S 霧箱

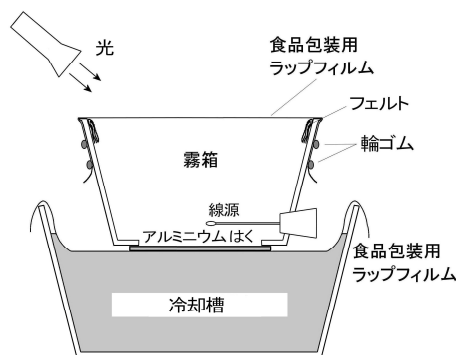


図 2 霧箱の構造

まず、本学の学生（大学院生を含む）を対象に実施する中で問題点を洗い出し、十分な結果が得られたところで、本学附属中学校での実践を行った。中学校で実践する場合、最も問題となったのは線源の確保であった。今回は、ゴム風船でホコリを集める方法と掃除機でホコリを集める方法を用いた。は、バルーンアート用の細長いペンシルバルーンを膨らませたものをティッシュペーパーでよく擦り、静電気を起こしたものをコンクリート壁などに近づけて約 30 秒間、ホコリを風船の表面に集めたあと、風船の空気を抜いてしばませ、ホコリのついた部分を約 1 cm × 1 cm の大きさに切り取ったものを線源とする方法である。ゼムクリップを変形させた針金に挟んで取り付ける。は、市販されている紙製のキッチンタオルで家庭用の小型掃除機の吸い取り口を塞ぎ、人気のない部屋で

約1時間、空気中のホコリを集めた後、ホコリの付いた部分を約1 cm×1 cmの大きさに切り取ったものを線源とする方法である。ゼムクリップを変形させた針金にホコリの付いた面を外側にしてスティックのりで貼り付ける。

附属中学校での実践

附属中学校では、本時の目標を「霧箱を使った実験を行い、線や線など放射線の種類と特徴を理解することができる」とした。生徒が自分たちで霧箱を製作し、さらに校舎のホコリを採取して線源とすることで、自分たちにとって身近なものと認識することをねらった。

調査対象等

日時 2015年5月28日(木)、29日(金)
場所 北海道教育大学附属札幌中学校理科第一室
対象 北海道教育大学附属札幌中学校3年生3クラス(男子61名、女子62名、計123名)

実施方法

授業は2時間続きで行った。1校時目に放射線(線、線、線、中性子線、X線)の復習、霧箱の原理について簡潔な説明を行ったあと、S霧箱の製作に取りかかった。放射線の学習は修学旅行前に行っていたが、修学旅行を挟んで時間が経過していたため、5種の放射線の種類と特徴についてまとめた表を用いて簡単に復習した。ここでは、線と線の質量の違いなどを説明した。霧箱の原理については、過冷却層が冷却することによって下部にできることや飛行機雲を例に霧ができることについて簡単に説明した。その後、S霧箱の製作方法を写真や図を用いて説明した。2校時目に線、線の飛跡の観察を行ったあと、観察結果についての話し合いとビデオによる放射線の確認を行い、線と線の質量による見え方の違いなどについてまとめた。なお、各クラスはそれぞれ12グループ(1グループ3~4名)構成であり、S霧箱は各グループで1個ずつ製作した。冷却は、雪のない時期であったため、かき氷と融雪剤(MgCl₂・6H₂O)を使用した。線源については、身近なホコリを利用することにした。ホコリの採取方法は、前述のゴム風船でホコリを集める方法と掃除機でホコリを集める方法の2種類のうち、いずれかの方法を選択し、観察した。授業後にアンケート調査を行い、その日のうちに回答できた102名からアンケートを回収した(柚木、伊藤、浜田、2015)。

教員研修における実践

S霧箱を製作し、身近なホコリから出る線や線などの放射線の飛跡を観察するこ

とを第一の目的とした。また、放射線についての認識の変容や教材に対する意見などを調査することも目的の一つとした。

調査対象等

日時 2015年8月6日14:00~15:00
場所 北海道教育大学札幌校(224実験室)
対象 小学校教員27名(男性8名、女性19名)

本研修は、教員免許認定講習の現代的な課題についての一つとして実施した。なお、霧箱を見たことがある教員は2人(1/27人)であり、ほとんどの教員は初めてであった。

実施方法

前時に、原子力に関する概略を説明した。その後、霧箱の原理について、冷却することによって下部に過冷却層ができることや飛行機雲を例に霧ができることについて簡単に説明した。また、S霧箱の製作方法を写真や図を用いて説明した。その後、6グループ(各グループ4~5名)に分かれ、グループで1個ずつS霧箱を製作した。雪のない時期であったため、冷却には、かき氷と融雪剤(MgCl₂・6H₂O)を使用し、線源には、1時間別室で掃除機を用いてキッチンタオルにホコリを集めたものを使用した。研修後にアンケート調査を行った(柚木、2016)。

4. 研究成果

(1) 寒剤の特性について

寒剤のデータは、実践で使用できるデータが少ないため、有用であると思われる。

図3は、かき氷100gにCaCl₂・6H₂O(0)143g、MgCl₂・6H₂O(0)85g、NaCl(0)30g、CaCl₂・2H₂O(0)96g、NaCl(20)30g+C₂H₅OH(20)20gをそれぞれ混ぜ合わせた場合の温度変化の結果を示したものである。なお、CaCl₂・6H₂O、MgCl₂・6H₂O、NaClは、薬剤を0.5mm~1.0mmの細粒にしたものを、CaCl₂・2H₂Oは粒状の融雪剤(1~4mm)を使用した。

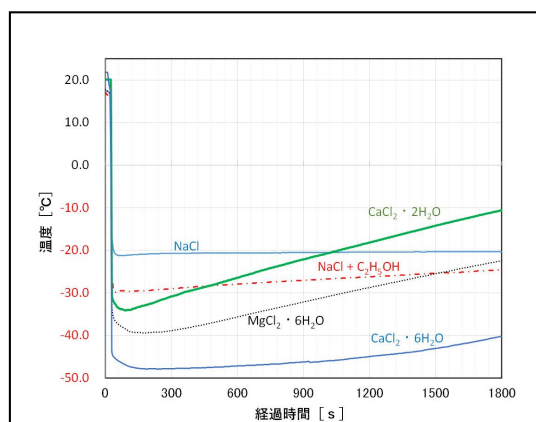


図3 氷100gにそれぞれの薬剤を混ぜ合わせた場合の温度変化

温度だけを考えれば、 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ の優位性は高い。しかし、前述のように取り扱いの難しさがある。 $NaCl$ は最も身近で取り扱いも容易であるが、やや温度が高い。 $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ は融雪剤 ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) を使用でき、取り扱いも容易であるが、発熱が大きく、低温の保持時間が短い。

$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ は、開発した S 霧箱に適していると考えた。というのは、 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ は融雪剤 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) としても販売されているので、安価であり、取り扱いも容易であるからである。過冷却現象が生じることがあるため、温度が -33.6 以下になることも多いが、霧箱の観察には適している。また、 $NaCl + C_2H_5OH$ も適している。 $NaCl$ だけでも、S 霧箱であれば、放射線を見ることは可能であるが、その見え方は十分とは言い難い。しかし、 C_2H_5OH を加えることによって約 -30 まで低下し、十分に放射線の飛跡を観察できる。

以上から、S 霧箱に適した化学的な寒剤としては、融雪剤 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) が最も適しており、次に、 $NaCl + C_2H_5OH$ が適していると判断した。

(2) S 霧箱について

開発した S 霧箱は、驚くべきことに冷却槽に置くとすぐに放射線の飛跡を観察ができることが明らかになった。そして、 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ を使用した場合、10 分以上、放射線の飛跡を観察することが可能であった。図 4 は、大気中のホコリを掃除機で集めて線源とした S 霧箱による放射線の飛跡の写真である。ホコリは北海道教育大学の部屋で 1 時間採取したもので、採取から約 5 分後に観察したものである。冷却槽に置いて 3 m7 s 後、寒剤温度は -31.4 、室温は 24.0 (± 1) であった。複数の線によると思われる飛跡と線 (4 時の向きに出ている曲がっている細い線) によると思われる飛跡が中央部の線源から放射状に出ている。

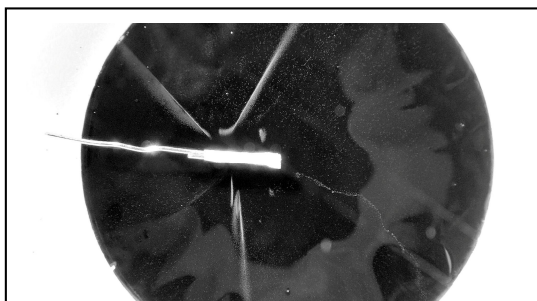


図 4 掃除機で集めたホコリを線源とした放射線の飛跡

このように、従来の簡易霧箱では観察することが難しかった線や自然放射線も S 霧箱では容易に観察することが可能となった。なお、 $NaCl$ と C_2H_5OH でも、明瞭に放射線の飛跡を観察できることも明らかになった。

加えて、S 霧箱の構造は比較的簡単であり、材料の入手も容易であることから、学習者が簡単に製作することができる優れた教材であると考えられる。

(3) S 霧箱を使用した実践について

本研究では、S 霧箱を実際に中学校で製作し、採取したホコリを線源として放射線の飛跡を観察した。冷却は、電動かき氷器で作成したかき氷と融雪剤 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) を混ぜて使用した。その結果、中学生でも線と線の違いを確認することができ、放射線の種類による違いを理解することができた。また、生徒の放射線に対する「怖い、危険」、「人体に悪い、有害」という否定的なイメージが減少し、「身近である」、「きれい、美しい」、「神秘的、不思議、感動的」などが増加することが明らかになった。

また、教員研修でも、製作した S 霧箱でホコリから出る線や線などの飛跡を実際に見ることができた。また、興味に関しても、「今まで興味はなかったが、興味をもった」15 名、「今までも興味はあったが、一層興味をもった」12 名とすべての教員に興味の向上が見られた。多くの観点で、教員の放射線に対する認識の変化も確認することができた。

(4) 発展的な成果について

以上のように、S 霧箱は当初の予想を超えたすぐれた教材であることが明らかになった。

さらに、構造が簡単なため、紙による線の遮蔽実験や底面のアルミニウムはくはくはネオジウム磁石をはり付け、線の飛跡が曲線を描くようすを観察するなど応用的な取り扱いもできることを確認した。また、線源を入れなくても自然放射線や宇宙線を観察することができることも確認した。

<引用文献>

柚木 朋也、津田 将史、塩化カルシウムを寒剤とした拡散霧箱の開発、物理教育、60(3)、2012、184 - 187

柚木 朋也、身近な素材を用いた結晶に関する教材の開発 - 凍結防止剤用塩化カルシウムを利用して -、科学教育研究、3(4)、2012、332 - 339

柚木 朋也、「寒剤」に関する一考察、北海道教育大学紀要、66(1)、2015、149 - 160

柚木 朋也、尾関 俊浩、田口 哲、融雪剤を用いた簡易霧箱の開発、物理教育、63(1)、2015、35 - 38

柚木 朋也、伊藤 雄一、浜田 康司、S 霧箱を使用した放射線の観察に関する研究 - 中学校における取組 -、理科教育学研究、57(2)、2016、155 - 168

柚木 朋也、S 霧箱を使用した教員研修の取組、北海道教育大学紀要、67(2)、2016、135 - 143

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

柚木 朋也：S 霧箱を使用した教員研修の取組、北海道教育大学紀要、査読無、第 67 巻、第 2 号、2016、135-143

柚木 朋也・伊藤 雄一・浜田 康司：S 霧箱を使用した放射線の観察に関する研究 - 中学校における取組 -、理科教育学研究、査読有、57(2)、2016、155-168

柚木 朋也：「寒剤」に関する一考察、北海道教育大学紀要、査読無、第 66 巻、第 1 号、2015、149-160

柚木 朋也、尾関 俊浩、田口 哲：融雪剤を用いた簡易霧箱の開発、物理教育、査読有、Vol. 63, No. 1, 2015, 35-38

[学会発表](計11件)

柚木 朋也：磁場による放射線の飛跡の変化 - S 霧箱を使用した放射線の飛跡 -、日本理科教育学会近畿支部大会、2016.11/26、大阪府・大阪教育大学。

柚木 朋也：紙による放射線の遮蔽実験 - S 霧箱を使用した放射線の飛跡 -、平成 28 年度日本理科教育学会東北支部第 55 回研究大会、2016.11/5、青森県・弘前大学。

柚木 朋也：大気中のほこりの半減期についての一考察、平成 28 年度日本理科教育学会 北海道支部大会、2016.10/1、北海道・北海道教育大学札幌校サテライト。

柚木 朋也、田口 哲、尾関 俊浩：S 霧箱の特性と課題についての一考察 - 化学的な寒剤を使用して -、日本科学教育学会年会、2016.8/19、大分県・大分大学。

柚木 朋也：S 霧箱を活用した教員研修における実践 - 霧箱の製作と放射線の観察 -、日本理科教育学会第 66 回全国大会、2016.8/6、長野県・信州大学。

柚木 朋也：S 霧箱の開発、日本物理教育学会北海道支部物理教育研究会、2015.12/5、北海道・北海道大学。

伊藤 雄一、柚木 朋也：S 霧箱を活用した中学校における授業実践、日本理科教育学会北海道支部大会、2015.10/3、北海道・北海道教育大学旭川校。

柚木 朋也：実用的な「寒剤」に関する一考察 - 融雪剤と塩化ナトリウムについて -、日本科学教育学会第 39 回年会、2015.8/23、山形県・山形大学。

柚木 朋也、田口 哲、尾関 俊浩：寒剤を利用する S 霧箱の開発 - 融雪剤と塩化ナトリウムの利用 -、日本理科教育学会第 65 回全国大会、2015.8/1、京都府・京都教育大学。

柚木 朋也、田口 哲、尾関 俊浩：簡易霧箱についての一考察 - 融雪剤の利用と霧箱の特性 -、日本理科教育学会 2014 年支部大会、2014.9/28、北海道・北海道教育大学函館校。

柚木 朋也、田口 哲、尾関 俊浩：融雪剤を利用した寒剤についての一考察 - 塩化カルシウムと塩化マグネシウムを利用して -、日本理科教育学会第 64 回全国大会、2014.8/24、愛媛県・愛媛大学。

6. 研究組織

(1)研究代表者

柚木 朋也 (YUNOKI, Tomoya)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号：00311457

(2)研究分担者

尾関 俊浩 (OZEKI, Toshihiro)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号：20301947

田口 哲 (TAGUCHI, Satoshi)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号：60281862

(3)連携研究者

(4)研究協力者

三木 勝仁 (MIKI, Katsuhito)
伊藤 雄一 (ITO, Yuichi)
小路 美和 (KOJI, Miwa)