

平成 22 年 6 月 7 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18500647
 研究課題名(和文) 食塩を主題とした科学知識の主体的体系化を促す探求型化学実験教材の開発とWeb化
 研究課題名(英文) The development of questing chemical experiments and demonstrations with sodium chloride for acquiring systematic science knowledge.
 研究代表者
 田口 哲 (TAGUCHI SATOSHI)
 北海道教育大学・教育学部・准教授
 研究者番号：60281862

研究成果の概要(和文)：本研究課題では，“食塩水からの水の蒸発に伴う食塩結晶析出”を中心主題とした物質理解の為の新しい探求型実験教材の開発をおこなった。「食塩(塩化ナトリウム)の水への溶解現象」の本質の理解には種々の科学知識が必要である事を明示し、学習者が自らの知識体系を探究的に構築できる新規の実験教材開発を行なった。さらに、この実験教材を動画化することで、自然科学の階層的知識体系を可視化することを試みた。

研究成果の概要(英文)：We have developed the questing chemical experiments and demonstrations for understanding of various chemical concepts, which are needed for the analysis of the recrystallization process of sodium chloride from its aqueous solution. These experiments and demonstrations were recorded as movies so that the systematic science knowledge can be visualized demonstratively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,600,000	630,000	4,230,000

研究分野：物理化学 化学教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学, 科学教育

キーワード：科学教育, 化学教育, 理科教育, 実験・観察, 塩化ナトリウム

1. 研究開始当初の背景

食塩は、身近な物質の一つであり、小学校理科の「物の溶け方の規則性」の単元に始まり高校化学に至るまで、繰り返し取り上げられる。小学校理科では、食塩の水への溶解を通して、“目で直接見えなくなっても物質は無くなってはいない”という自然観・科学観

を育成する。中学校理科から高校化学へと進むに従い、「物質は原子からできている」→「原子の内部構造を理解する」という流れで巨視的観点の理解から物質内部の微視的構造への理解に進む。一般に、このような系統的学習で、学習者が知識の体系化を自ら図るとの暗黙の前提で教育が行われている事が多い。

一方、種々の学力調査等から児童・生徒、大学生の学力に関する課題として、科学に関する基本的概念の理解や観察・実験の結果に基づいて考察すること等に課題があることが明らかにされていた。

ところで、食塩水から水が蒸発し食塩の結晶が析出する事は極当たり前の事のように思われるが、その本質の理解には様々な体系化された科学知識（例えば、湿度の違いによる水の蒸発速度の違い、結晶核の形成メカニズム、過飽和現象、原子・イオン・水分子の構造、イオンの水和、電荷間の相互作用、質量保存則、熱力学第二法則）を要する。

2. 研究の目的

このような背景と問題認識から、“食塩水からの水の蒸発に伴う食塩の結晶析出”を中心主題とする主体的な知識体系構築を促す新しい実験教材の開発とその映像化を研究の目的とした。

3. 研究の方法

食塩結晶析出過程は色々な因子（湿度・温度・食塩水滴の厚み）の影響を受けることが予想される。そこで第一段階では、結晶析出に影響を与える因子の制御法を開発した。

第二段階では、これら因子のうち注目する因子以外の因子の値は固定し、注目する因子の値を変えて食塩結晶析出過程（結晶数増加速度・結晶成長速度）に対する影響を調べた。これにより、科学的なものの見方を学ぶ教材を開発した。

第三段階では、「この現象に対してある因子が影響を与えるのはなぜか？」の探究に必要な基礎知識・周辺知識に関する演習実験教材を開発し、インターネット上で配信可能な映像教材に仕上げた。

4. 研究成果

(1)条件制御下において食塩水（塩化ナトリウム水溶液）からの NaCl 結晶析出を観察できるシステムの開発。

初等・中等教育での物質の溶解・再結晶の学習では、結晶析出-成長過程はほとんど扱われていない。しかし、この過程の観察は、物質科学に対する興味・関心の喚起だけでなく、目には直接的には見えない物質の存在認識の強化にもつながる。また、この過程を可能な限り条件制御下で調べることは、科学的思考の育成の上でも重要である。そこで、スライドガラス上の食塩水滴からの水の蒸発に伴う食塩結晶析出・成長過程の観察を条件制御下で行うことができ、且つその過程の撮影

が可能なシステムを構築した。具体的には、ビデオカメラを装着した実体顕微鏡を用いて、温度、食塩水の初期濃度と体積は一定のもと、結晶核生成数の時間変化と結晶成長速度に対して湿度と食塩水滴の表面積が与える影響を調べることができるシステムを開発した（写真1）。

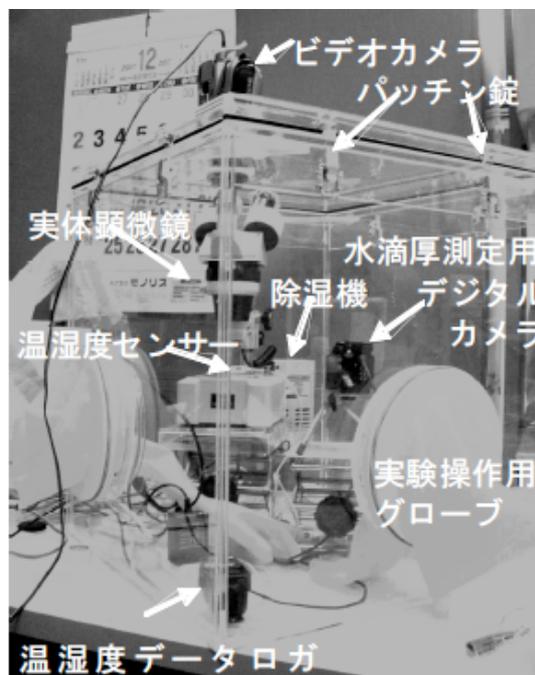


写真1 開発した条件制御機能を持つ結晶析出観察システム。

システムは、アクリル板製の本体と蓋から構成されている。本体側面には、湿度制御用除湿機（とグローブボックス用アダプタを取り付けた。また、本体側面下部の穴（RTV ゴムで目張り）にタップ付き電源コードを通しシステム内に電源を確保した。温度制御用に、サーミスタに接続したリボンヒータ（スライダックで電圧調整）を内部に設置した。本体と蓋の接触面にはクッションソフトテープを貼り、パッチン錠で本体と蓋を密閉可能とした。システム内部を高湿度にする場合は、気化式加湿器を用いて加湿空気を送り込んだ後、系を密閉した。低湿度にする場合は、システムに組み込んだ除湿器を目的の湿度値に設定し作動させた。

システム内部には、5.82 M 塩化ナトリウム水溶液（飽和濃度の95%）、デジタルマイクロピペット、実体顕微鏡（ラボジャッキ上）、デジタルカメラ、温湿度データロガー（センサーは顕微鏡ステージ上）を設置した。顕微鏡の接眼レンズ上にはカメラ接続用アダプタを取り付け、筐体の蓋の穴（隙間はシリコン

ゴムシートで目張り)を通してハイビジョンデジタルビデオカメラを取り付けた。

食塩水滴初期表面積の制御は、高撥水性印刷スライドガラスを使用する方法を考案した。これは、スライドガラス表面の円形部以外にフッ素樹脂が印刷してあるもので、その円形親水性非印刷部 ($\phi = 5 \text{ mm}, 8 \text{ mm}, 10 \text{ mm}$) に食塩水滴 $38 \mu\text{l}$ をデジタルマイクロピペットで静かにのせて表面積を制御した (写真2)。顕微鏡に装着したビデオカメラで、食塩水滴の真上からの撮影を動画もしくは1分毎のデジタル静止画として水が全て蒸発するまで行なう事で、結晶析出の様子を観察が可能である。



写真2 高撥水性印刷スライドガラスを用いた食塩水滴表面積の制御。

このシステムとは別に、条件制御性および結果の再現性はやや低下するが、金属フレーム・布団圧縮袋・シリカゲル・自動車ガラス用撥水性ガラスコーティング剤を部分的に塗布したスライドガラスを使用して構築したより安価で同機能を持つシステムも開発した。

(2) 食塩水滴からの食塩結晶析出過程 (結晶数増加速度・結晶成長速度) に対する湿度と水滴表面積の影響。

上で述べたシステムを用いて、温度 ($26^\circ\text{C} \pm 0.7^\circ\text{C}$)、食塩水の初期濃度 (5.82M) と体積 ($38 \mu\text{l}$) は一定のもと、生成結晶数の時間変化 (結晶数増加速度) と結晶成長速度に対して湿度と食塩水滴の表面積が与える影響を各々測定した (写真3, 図1, 図2)。

これらの結果から、(1) 湿度の低下と食塩水滴の表面積の上昇は、生成結晶数の増加速度を増大させること、(2) 湿度の低下と食塩水滴の表面積の増加は、結晶成長速度を低下させること、がわかる。すなわち、本研究で開発したシステムを用いて、初等・中等教育においても取り上げられる食塩 (塩化ナトリウム) 水からの水の蒸発に伴う結晶析出を条件制御下で行なうことで、上記条件が結晶析出過程に与える影響を観測することに成功した。その結果、生成結晶数の増加速度の上昇と結晶成長速度の低下は、いずれも食塩水からの水の蒸発速度が上昇すると起こると考察される。小学校・中学校理科の教科書に

は溶液からの再結晶によって大きな結晶を作ることが取り上げられているが、上記の結果の考察によって、大きな結晶を得るために必要な条件の理解に繋がると考える。

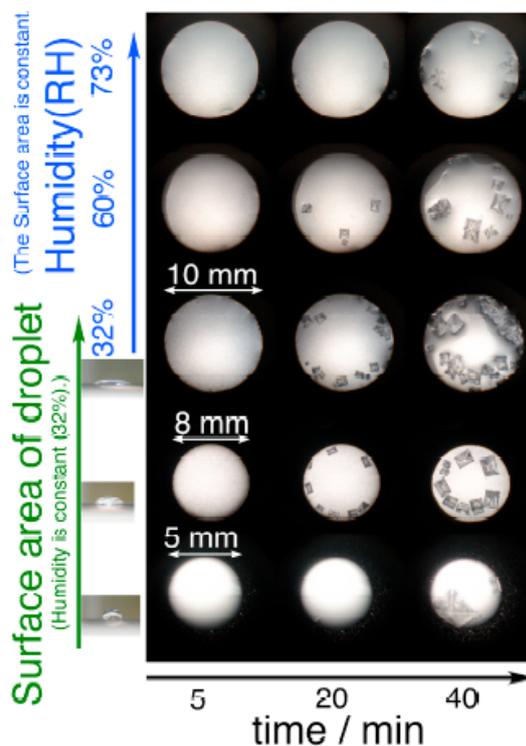


写真3 食塩水滴からの水の蒸発に伴う結晶析出過程に湿度と食塩水滴表面積が与える影響 (顕微鏡下で撮影した画像)。

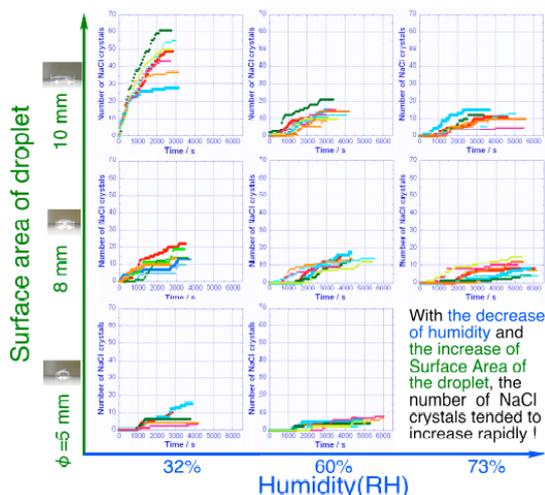


図1 温度 ($26^\circ\text{C} \pm 0.7^\circ\text{C}$)、食塩水の初期濃度 (5.82M) と体積 ($38 \mu\text{l}$) は一定条件のもと、生成結晶数の時間変化に湿度と食塩水滴表面積が与える影響。各条件で6~7回測定。

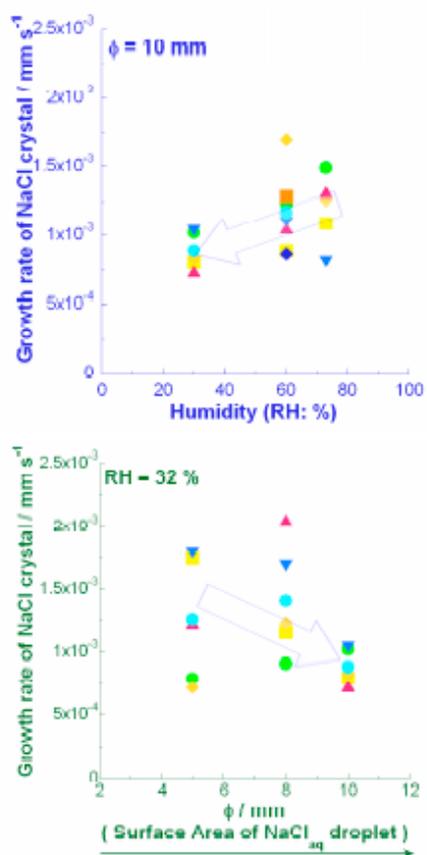


図2 温度 (26°C ± 0.7 °C), 食塩水の初期濃度 (5.82M) と体積 (38 μl) は一定条件のもと, 結晶成長速度に湿度と食塩水滴表面積が与える影響。各条件で6〜7回測定。

なお, 写真3に例示した食塩水滴からの結晶析出過程を顕微鏡下で観察して得られた1分毎の静止画(水滴から水が全て蒸発するまで撮影)は動画教材にした。各測定は1回あたり少なくとも50分以上かかるが, 作成した動画教材では早送りして結晶析出過程を教室やWeb上で示すことができる。過飽和が起こり易い水滴周辺部で結晶析出が起こることや, 結晶成長速度は水滴中心部に向かう方向の方が小さいことなどを臨場感を持って教室で示す事ができる。

(3) 食塩水滴からの食塩結晶析出メカニズムの探究に必要な基礎知識・周辺知識に関する系統的演示実験教材の開発。

『食塩(塩化ナトリウム)は水に溶解する』という現象を用いて, この現象の理解に必要な知識間のつながりを意識しながら原子・イオンの実在認識を強化し物質観を育む, 一連の系統的化学演示実験プログラムの開発とそ

のデジタル映像教材化に取り組んだ。食塩と水を題材に選んだのは, 私たちにとって身近な物質であり, 小学校理科から高校化学に至るまで繰り返し教科書に登場する物質だからである。この実験映像教材プログラム全体は, 主として高校生を対象に想定したが, 個々の教材は, 小・中学生も対象となり得るものもある。さらに先に述べたように, 教師(特に小学校教師)自身が, 教えている内容に関わる知識の系統性や構造の理解が必ずしも高くはないことも考えられるので, 児童・生徒に授業で指導している内容に関する知識構造を教師自身が確認できる研修教材としての用途も考慮した。

上記現象を本質から理解するために必要な科学(化学)知識を以下の5つの観点, (1)質量保存則(水+食塩の質量は溶解前後で変化しない), (2)食塩の構成元素(塩化ナトリウムはナトリウムと塩素からできている), (3)イオン結合(塩化ナトリウムの結合様式), (4)原子の構造, (5)水分子の分極(イオンの水和)に関する演示実験を映像教材化した。実験の様子はハイビジョンデジタルビデオカメラで撮影し, その実験映像をパーソナルコンピュータに取り込み, 動画編集ソフトウェアを用いて動画編集を行い教材化した。映像は可能な限り短くした。その上で, 動画上への解説字幕の挿入を行った。(1)〜(5)の観点で計25の映像教材を作成した。例として(2)食塩の構成元素に関する映像教材(塩素ガスと金属ナトリウムを接触して塩化ナトリウムを生成する実験)を写真4〜8に示す。

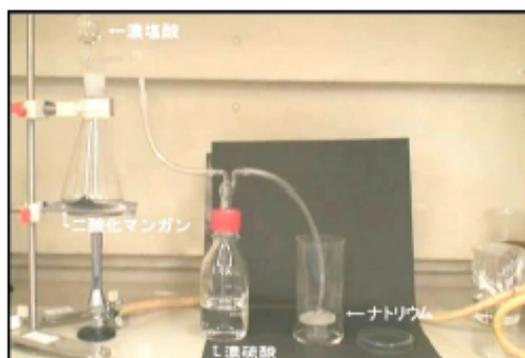


写真4 塩素ガスと金属ナトリウムから塩化ナトリウムを生成するための実験器具(ドラフト中)。塩素ガスは二酸化マンガンに濃塩酸を加えて加熱することで発生。



写真5 塩素ガスと接触する前の金属ナトリウム薄片。



写真6 塩素ガスと7時間接触させた金属ナトリウム薄片（この様子は5分毎の静止画と撮影してから繋げて動画教材化した。パイが膨らむように塩化ナトリウムが生成する様子がわかる）。



写真7 写真6の薄片の表面に生成した物質を炎にかざすとナトリウムの炎色反応が確認できた。

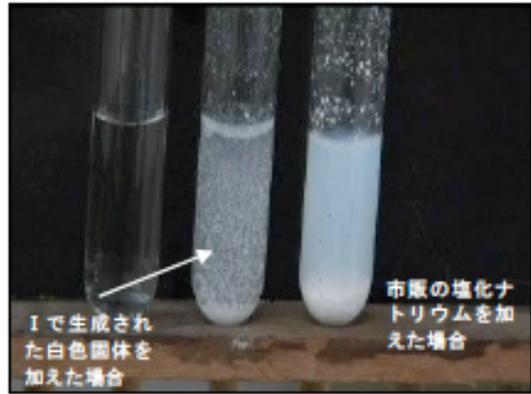


写真8 写真6の薄片の表面に生成した物質を硝酸銀水溶液に入れると塩化銀の沈殿が形成された。

下記の発表論文に加え、現在、以上に関して2編の論文をさらに準備中である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

① 田口 哲, 樋田拓至, 条件制御下における食塩水滴中の結晶析出挙動の観察教材-コンピュータとデジタルビデオカメラ装着実体顕微鏡を活用した実験教材プロトタイプの開発-, 北海道教育大学紀要(教育科学編)第59巻第2号, 査読無, pp. 33-42 (2009), <http://s-ir.sap.hokkyodai.ac.jp/dspace/handle/123456789/951>

② Satoshi Taguchi, Hisanori Sato, Observation of NaCl crystallization process from its aqueous solution droplet on a glass slide using a computer and the video camera mounted on a microscope under controlled experimental conditions: Effects of humidity and surface area of the droplet on the crystallization process, Abstract of Third NICE -Network for Inter-Asian Chemistry Educators - Symposium (NICE2009), 査読無, p.41, (2009)

③ 田口 哲, 並川寛司, 岡村 聡, 森田みゆき, 杵淵 信, 教科の専門性に裏打ちされた「科学・技術・芸術」に対する深い興味の喚起を促す小・中学生向け講座の開発と実践-拓北・あいの里地区地域連携ボトムアップ型事業「土曜講座」-, 北海道教育大学生涯学習教育研究センター紀要, 査読無, 第8号, pp.185-187 (2008),

〔学会発表〕（計6件）

① 田口 哲, 吉川敏史, 佐藤久典, 原子・イオンの実在認識の強化と物質観を育むた

めの「食塩と水」を主題とした系統的化学演
示実験の映像化，第90回日本化学会春季年
会，2010年3月28日，近畿大学本部キャン
パス

② 田口 哲，教員養成制度の構造改革と本
学における理科教員養成・化学教育，200
9年 北海道地区化学教育研究協議会（主
催：日本化学会北海道支部・日本分析化学会
北海道支部・日本化学会化学教育協議会），
2009年11月7日，北海道大学理学研究院

③ Satoshi Taguchi, Hisanori Sato,
Observation of NaCl crystallization
process from its aqueous solution droplet
on a glass slide using a computer and the
video camera mounted on a microscope under
controlled experimental conditions:
Effects of humidity and surface area of the
droplet on the crystallization process.
Third NICE -Network for Inter-Asian
Chemistry Educators - Symposium
(NICE2009), 2009年7月30日, Tokyo
Gakugei University

④ 田口 哲，佐藤久典，条件制御下での食
塩水滴中の結晶析出観察実験教材：顕微鏡・
ビデオカメラ・コンピュータを活用したプロ
トタイプの製作，日本化学会第89春季年会，
2009年3月28日，日本大学理工学部船橋キ
ャンパス

⑤ 田口 哲，並川寛司，岡村聡，森田みゆ
き，杵淵 信，教科の専門性に裏打ちされた
「科学・技術・芸術」に対する深い興味の喚
起を促す小・中学生向け講座の開発と実践：
拓北・あいの里地区地域連携ボトムアップ型
事業「土曜講座」，19年度北海道教育大学
生涯学習研究大会，2007年10月26日，北海
道立道民活動センター かでの2・7

⑥ 田口 哲，樋田拓至，田中麻衣，顕微鏡
下における食塩水滴からの結晶析出の教材
化：結晶析出挙動に対する種々の条件の影響，
日本化学会第87春季年会，2007年3月25日，
関西大学千里山キャンパス

〔その他〕

アウトリーチ活動（計1件）

田口 哲，見えないものを観る基礎基本-測
定・単位・物理量- 大学教育の現場からみ
た確かな学力を育む為の小中学校理科系
教育の重要性と課題，招待講演，第32回
苫小牧市教育研究大会理科研究部会，2006
年11月8日，苫小牧市立明倫中学校

ホームページ

<http://s-mac-p92.sap.hokkyodai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田口 哲 (TAGUCHI SATOSHI)

北海道教育大学・教育学部・准教授
研究者番号：60281862

(2) 研究分担者

三浦 啓子 (MIURA KEIKO)

北海道教育大学・教育学部・講師

研究者番号：50322871

(平成20～21年度：連携研究者)

(3) 連携研究者

()