

地域の産業をテーマにした STEM 教育のための教材開発と実践

(教育学研究科 理科教育専修) 珠山 信昭, 小澤 優樹, 坂本 捷彰
三浦 孝之, 森川 雄介
(理科教育講座) 向 平和, 隅田 学, 中本 剛, 大橋 淳史
日詰 雅博, 中村 依子, 佐野 栄
(数学教育講座) 吉村 直道
(技術教育講座) 大西 義浩

Development and Practice of a Teaching Material Focusing Regional Industry for STEM Education

Shinsho TAMAYAMA, Yuki OZAWA, Katsuaki SAKAMOTO,
Takashi MIURA, Yusuke MORIKAWA
Heiwa MUKO, Manabu SUMIDA, Go NAKAMOTO, Atsushi OHASHI,
Masahiro HIZUME, Yoriko NAKAMURA, Sakae SANŌ
Naomichi YOSHIMURA, Yoshihiro ONISHI

(平成28年 7月28日受理)

連絡先: 向平和 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学教育学部理科教育講座 muko@ed.ehime-u.ac.jp

(抄録) 地域産業の一つである「塩づくり」をテーマに STEM 教育に資する教材開発を行った。塩づくりの過程を理解しながら、海水に含まれるプランクトンの観察、エネルギー効率、塩製品の特徴と結晶構造の関係など STEM 教材として活用できるプログラムが開発できた。また開発した教材を用いて、小学生、大学生を対象とした授業実践を実施した。その結果、本教材によって地域にとって身近な素材を用いることで、多様な領域や分野の内容を横断的、統合的に学習することができることが示された。

キーワード: STEM 教育 (STEM education), 地域産業 (Regional industry), 教材開発 (Development of teaching material), 授業実践 (Practice of teaching), イノベーション人材 (Innovation human resources)

1. はじめに

(1) 研究の背景

アメリカでは、理工系人材の育成を目的とした STEM 教育が推進されている。STEM 教育とは Science : 科学, Technology : 技術, Engineering : 工学, Mathematics : 数学の4つの領域に関する横断的・総合的教育カリキュラムである。アメリカではこれまでも科学の一部として技術 (Technology) と数学

(Mathematics) を捉えられることがあり、STEM 教育ではさらに科学と工学 (Engineering) を柱として考えられている。現代社会の問題の解決にはこれら4つの領域の理解が重要であると考えられている。日本においても、STEM 教育が広がりを見

せており、教材開発や授業研究が行われている。STEM 教育において扱われる題材は、ロボット教材 (小林 2012) のように科学技術に関係のある素材や、研究所や工場の見学ツアーといった地域の施設や素材を活用した実践がある (斉藤ら 2014)。

本研究では、斉藤らの地域の素材を活用した STEM 教育の実践に着目し、愛媛県の産業を題材として教材開発を行うこととした。愛媛県の産業の中でも、本研究では塩作りをテーマとした。瀬戸内海に面した地域では、古代から塩作りが盛んに行われており、現在も数社の製塩工場が存在している。愛媛県では弥生時代から奈良・平安時代の製塩土器が出土しており、江戸時代には十州塩の一つに数えられる地域であった (公益財団法人

人塩事業センターホームページより)。また塩作りは、科学、技術、工学、数学に深く関係していることから、塩作りを題材とした教材開発を行うこととした。(塩作りに関しては、「2 塩作りの工程について」にて記載)

(2) 研究の目的

本研究では、愛媛県の地域産業を題材として、STEM教育を実践できる内容でプログラムを構築することを目的とした。また開発したプログラムを用いた授業実践を行うことで、プログラムの効果について検討した。

2. 塩作りの工程について

塩は、生物の活動やからだの働きにとって欠かすことのできない物資である。よって古代から現在に至るまで、その製造方法は変遷をとげてきた。

そこで、愛媛県今治市の伯方塩業株式会社の大三島工場を訪れ、過去から現在まで行われてきた塩の製造工程の歴史を学び、教材開発のための知見を得た。

塩作りは、「濃縮工程」と「煮詰め工程」の2つの工程に大きく分かれている。

「濃縮工程」は「採鹹」とよばれている。海水を濃縮して、より塩分濃度の高い塩水（以降かん水）を作る工程である。塩水を作ることによって、水を蒸発させる際に必要なエネルギーを節約することが可能となる。

採鹹の流れは以下の通りである。

- ①大量の海水を採集する。
- ②海水をろ過し、プランクトンなどの異物を取り除く。
- ③ろ過した海水を濃縮し、かん水を作る。

濃縮する方法として、主に揚浜式塩田法、流下式枝条架併用塩田法、イオン交換膜法、の3つの方法が行われている。(伯方塩業株式会社ホームページより)

・揚浜式、入浜式塩田法：江戸時代中期から瀬戸内海や北陸地方で行われてきた方法である。揚浜式は、砂地に海水をまくことによって天日で濃縮する方法である。入浜式は、海水を砂地に引き込むことで、濃縮する方法である。

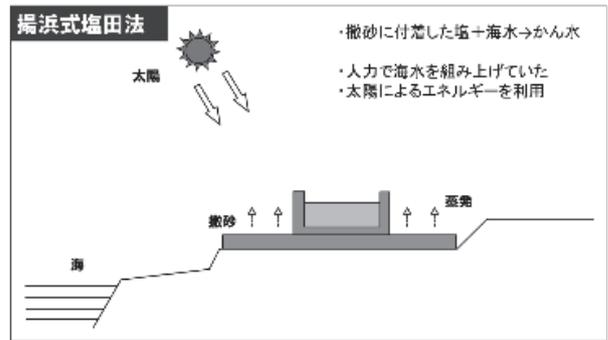


図1：授業のために作成した揚浜式塩田法の簡略図

・流下式枝条架併用塩田法：枝状の槽をたてて、海水を流して天日によって濃縮させていく方法である。明治時代に主流の方法であった。伯方塩業大三島工場では、当時の流下式塩田を再現し槽を制作している。しかしイオン交換膜と比較すると維持費や生産コストがかかることから、稼働は限定されている。

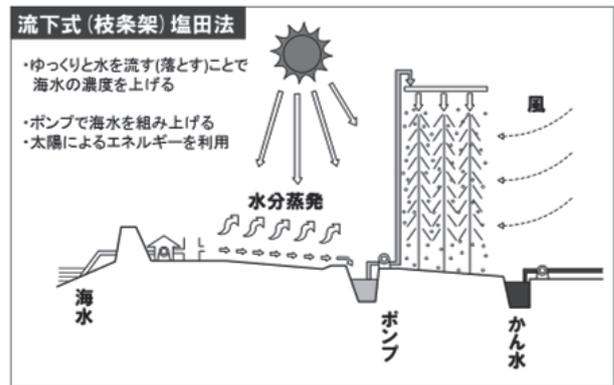


図2：授業のために作成した流下式塩田法の簡略図

・イオン交換膜法：塩が電離する性質を利用して、イオン交換膜と電気を用いて、ナトリウムイオンと塩化物イオンを濃縮する方法である。公益財団法人塩事業センターホームページによると、イオン交換膜法は昭和47年4月以降に導入されたとされている。その後、塩専売制によって一時は、採鹹の工程は全てイオン交換膜法に切り替えられた。1997年の塩専売制の廃止に伴い、塩の生産方法は自由化され、現在に至っている。

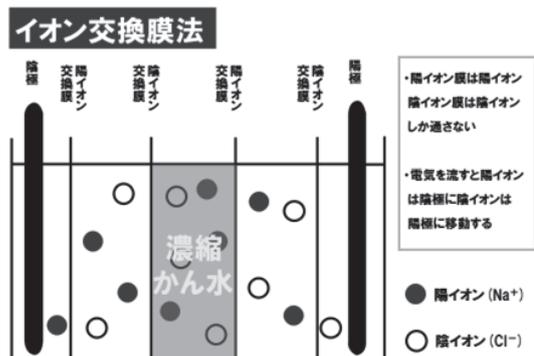


図3：授業のために作成したイオン交換膜法の簡略図

「煮詰め工程」は「煎熬」とよばれている。かん水を煮詰めることによって塩にする工程である。

煎熬の行程は以下の通りである。

- ①かん水を煮詰めて、水分を蒸発させる。
- ②蒸発させた塩から鉄分などの不純物を除く。
- ③塩の結晶を水と分離させる。
- ④水を蒸発させる。
- ⑤ふるいにかけて、塩を選別する。
- ⑥さらに異物を取り除く。

「煎熬」の工程は、煮詰め方や煮詰める釜によって分かれており、方法によって生成される塩も変わってくる。煮詰めるための窯は「立釜」と「平釜」が主に扱われている。2つの方法は、塩を製品化する際に、目的に応じて使い分けられている。

- ・立釜：立釜は真空蒸発釜ともいわれている。密閉して加圧することで、水分を蒸発させて塩の結晶を得る方法である。
- ・平釜：密閉をしていない釜で煮詰めて結晶化させる方法。

以上の塩作りの工程から、特に科学、技術、工学、数学にかかわりの深い工程として、「海水のろ過」「エネルギーの計算」「塩の結晶化」に焦点を当てて、教材の開発を行うものとした。

3. 教育教材の開発

(1) 開発した教材について

STEM教育に関する教材開発に際して、学校教育でのSTEMに関する領域を、物理、生物、化学、地学、技術、数学とした。さらに、塩に関する領域として、歴史や文化も加え開発を進めた。

それぞれの領域に関連する教材や活動を以下に示す。

- ・プレゼンテーションソフトを使った解説用教材の作成

Microsoft PowerPoint2013を使用して、化学、生物、地学、歴史それぞれの領域と塩の関連について解説用のスライドを作成した。

- 化学 — イオン、塩化ナトリウムの結晶について
- 生物 — 塩と生物の生命維持活動について
- 地学 — 地球の地殻と海水中の塩分について
- 歴史・文化 — 塩の文化、ことわざの紹介

- ・塩に関するガイドブックの作成

塩に関する情報や知識を補完するものとして、ガイドブックを作成し、受講者に配布した。作成したガイドブックの概要は以下に示す。

(1) 塩に関する豆知識

塩に関することわざの由来や歴史を紹介している。

(2) 塩の科学

塩化ナトリウムの基礎知識について記載している。

(3) 塩と生物

生物にとっての塩の役割について記載している。

(4) 塩と地学

海水に塩分が含まれる理由について記載している。

(5) 製塩技術の科学

製塩技術がこれまでどのように変遷を遂げてきたのかを記載している。

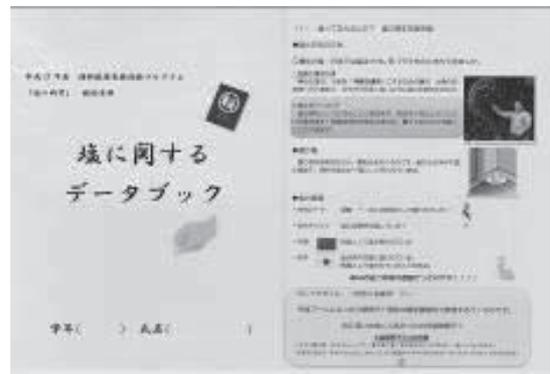


図4：作成したガイドブックの一例

(2) 実験活動について

塩作りを題材とした教材開発は、これまでも行われており、垣内ら(2014)は海無し地域での海洋教育を行うことを目的として、総合的な学習の時間や教科内とし、特別な教具等を必要としないことを条件として開発を行っている。垣内らの実践では、海水を蒸発させることで海水中に溶け込んでいる溶質が溶解度の順に析出するという実験を考案している。しかし、垣内らの実践では、海水の蒸発を活動としており、その他に塩作りの方法については言及されていない。

そこで今回の教材開発では、塩作りの工程に沿って、3つの実験を考案した。

【実験①：海水のろ過と生物の観察】

目的：塩作りでは、海水中の微生物などの不純物を取り除くことを目的としてろ過が行われる。製塩の過程で濾過が重要であることを確認すると共に、海水中に生息する微生物の観察を行うことを目的とする。

準備物：ろうと、ろ紙、ろうと台、ビーカー、海水、光学顕微鏡、スライドガラス、カバーガラス

方法：採集した海水をろ過して、ろ紙に付着している不純物を

スライドガラスに落とす。光学顕微鏡を用いて、生物の観察を行う

【実験②：塩づくりに必要なエネルギーの計算】

目的：塩づくりでは、海水から灌水を作ることで、煮詰める際に必要なエネルギーを節約している。本実験では、濃度の違う食塩水を煮詰めることで、灌水の使用によって削減できるエネルギーの計算を行った。

準備物：ビーカー、実験用ガスコンロ、食塩、ストップウォッチ、3%食塩水、20%食塩水

方法：1gの食塩が溶解している3%食塩水と1gの食塩が溶解している20%食塩水2つの食塩水を用意し、実験用ガスコンロで加熱して蒸発させる。水分が蒸発するまでの時間を計測することで、必要なエネルギー量の計算を行う。

[エネルギー量の計算方法]

・3%食塩水

(計算式) $700 \times \text{蒸発にかかった時間 (秒)}$

*ガスコンロで強火で加熱するのに必要なエネルギー(J/秒)

・20%食塩水

(計算式) $3600 \times \text{蒸発にかかった時間 (秒)}$

**イオン交換膜法で3%食塩水から1gの食塩が入った20%食塩水をつくるには約3600J必要とされている。() 3%食塩水から20%食塩水をつくるために必要なエネルギーを3600Jとした。

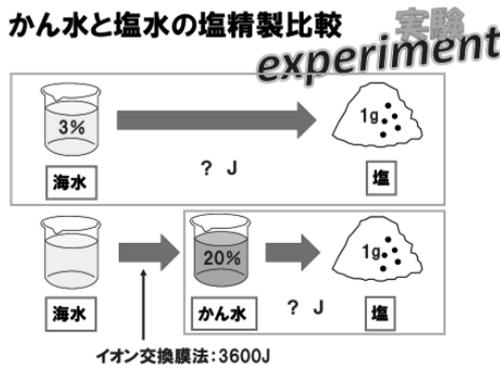


図5：作成したプレゼンテーションの一例

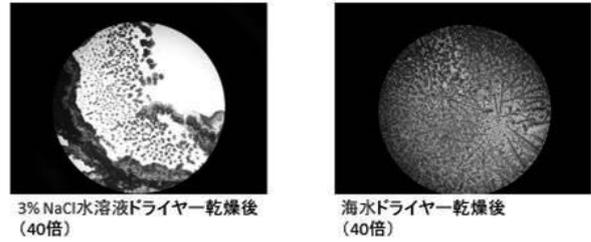
【実験③：塩の結晶の観察】

目的：塩の結晶は、通常立方体であるが、生成の過程によって媒晶剤の有無によって形が変わる場合がある。実験では、海水と食塩水の2種類を加熱して結晶を作り、顕微鏡で観察を行った。

準備物：海水、3%食塩水、光学顕微鏡、ホットプレート、軍手、スライドガラス、ガラス棒

方法：海水と食塩水を1滴、スライドガラス上で乾燥させる。

乾燥させる場合は、ドライヤーまたはホットプレートを用いる。乾燥させたものを光学顕微鏡で観察する。海水と食塩水の結晶の形の違いを観察する。



海水はNaCl以外の塩類を含むため結晶形が異なる

図6：作成したプレゼンテーションの一例

4. 開発した教材を用いた授業実践

開発した教材を用いて、小学生、大学生を対象とし、授業実践を行った。実践は、愛媛大学大学院教育学研究科教科教育専攻理科教育専修の大学院生5名で実施した。以下大学生への実践を実践I、小学生への実践を実践IIとする。

(1) 実践Iについて

大学生を対象とした授業は「理科観察実験体験プログラム」の1回分の中で行った。「理科観察実験体験プログラム」とは、愛媛大学教育学部理科教育専修が毎週木曜3限に実施している、大学生が小学校や中学校で学習する理科実験について体験する講座である。対象は1回生から大学院生まで、学部を問わず、毎回30名程度の学生が参加している。

・対象：1回生(13名)、3回生(12名)

科目等履修生(2名)

・参加人数：27名

・日時：12月17日(木) 12:40~14:10

大学生を対象とした実践Iでは、まず「塩の科学」と「塩と文化」について、作成したプレゼンテーションを用いて説明した。次に実験②と実験③を行った。

(2) 実践IIについて

小学生を対象とした活動は、「ほりえ科学クラブ」内で実施した。「ほりえ科学クラブ」とは、松山市の堀江地区で開催されている科学教室であり、堀江地区に住む小学校高学年の児童が参加している。愛媛大学では、毎年「大学生からの挑戦状」と題して、実験教室を行っている。今回はその一環として開発した塩の教材を用いて3時間の活動を実施した。

- ・対象：小学校 第5学年（7名）、第6学年（7名）
- ・日時：1月23日（土）9：00～12：00
- ・参加人数：14名

(3) 実践Ⅰと実践Ⅱの変更点

実践Ⅱでは小学生を対象としていることから、実践Ⅰの内容や実験方法を一部変更して行った。変更点は表1にまとめた。

表1：実践Ⅰと実践Ⅱの変更点

実践Ⅰ		実践Ⅱ
教科や領域によって、実験や活動	目的	塩づくりの流れに沿って、実験や活動を配置した。
【実験③】 塩水をドライヤーで乾燥させながら、結晶化の過程と結晶を観察した。	方法	【実験③】 プレパラートに落とした塩水と海水を、 ホットプレート を用いて乾燥させて結晶化した物を観察した。
実験②：エネルギー計算、実験③：結晶の観察のみ実施した。	活動	実験活動の追加 実験①：海水のろ過 海水に不純物があるため、ろ過の必要性を体感してもらう。また海水中にプランクトンが存在していることを調べるために実施する。
説明や解説を中心に行った。	教授法	クイズ形式の学習、ワークシートの改善を行った。

5. アンケート分析

(1) 実践Ⅰのプレ調査、ポスト調査の概要

実践Ⅰでは、塩に関する知識と知識内容に関する設問をプレ調査とポスト調査、実践Ⅱでは、授業後に各実験の面白さや難易度を尋ねる質問紙調査を実施した。ここでは、ポスト調査の教材と関連する領域に関する設問の回答結果の一部を表3に示す。

表2：プレ・ポスト調査の設問

[プレ調査]	[ポスト調査]
(1) 塩と科学	(1) 塩と科学
(2) 塩と工学・技術	(2) 塩と工学・技術
(3) 学習教材について	(3) 本プログラムについて
(4) 理科について	(4) 本プログラムの教材
(5) STEM教育について	実験について

(2) プレ調査、ポスト調査の回答結果 — 塩に関する知識

塩に関する知識として、海水の塩分濃度、塩と生物のかかわりについて問うた。知識に関する設問はプレ調査とポスト調査で共通の質問とし、活動前後での受講生の知識の比較を行った。

海水の塩分濃度についての質問では、活動前は本来の濃度である約3%と回答している受講者が24名中8名であったのに対し、活動後では27名中25名の受講者が正しい回答をすることができていた。(表3-2)

塩と生物、塩の製造に関する質問は、活動後に評価の平均が高くなっていった。塩と生物の質問については活動の前後で有意差はみられなかった。塩の製造に関する質問は、プレ調査にて半数以上が、最低の評価であったのに対し、ポスト調査では平均の評価が2倍以上に増加している。またこの結果から、教材を用いた活動によって、受講者は塩の製造方法について理解することができたということが分かる(表4-3、4-4)。

表3-1：塩分濃度についての回答結果 (*記述形式)

3 海水中に塩分は何%含まれているか				
	正答	誤答	p値	χ^2 値
プレ (n=24)	9	15	0.00**	17.4
ポスト (n=27)	25	2		

表3-2：塩と生物に関する質問の回答結果 *5段階評価

4 塩は生き物にとって大切だと思いますか								
評価	1	2	3	4	5	平均	p値	t値
プレ (n=24)	0	1	1	8	14	4.46	0.14	1.49
ポスト (n=27)	0	0	1	5	21	4.74		

*1：全くあてはまらない ～ 5：よくあてはまる

表3-3：塩の製法に関する質問の回答結果 *5段階評価

1 塩工場での塩の作り方を説明することができますか								
評価	1	2	3	4	5	平均	p値	t値
プレ (n=24)	13	7	3	1	0	1.67	0.00**	9.29
ポスト (n=27)	0	2	3	21	1	3.78		

*1：全くあてはまらない ～ 5：よくあてはまる

(3) ポスト調査回答結果 — 教育内容について

ポスト調査では、実践で行った実験や活動の内容と教科や領域との関連性についての設問を作成した。回答結果は表4-1から表4-3に示す。

塩に関する学習は、特に化学、生物、地学と関連が深いと感

じた受講者が最も多かった。一方で、物理、数学、技術について関連が深いと感じた受講者が少なかった(表4-1)。

今回開発を行った教材は、化学分野との関連が深いと感じている受講者が最も多かった(表4-2)。一方で充実させてほしい内容としては、物理分野が最も多かった(表4-3)。物理に関する内容は、エネルギー計算の実験のみであったことが要因であると推察される。

表4-1：ポスト調査回答結果 (n=27) * 回答人数

1 塩に関する学習はどの分野と関連が深いと思いますか (複数回答可)							
教科	物理	化学	生物	地学	数学	技術	その他
ポスト	9	26	22	21	5	5	0

表4-2：ポスト調査回答結果 (n=27) * 回答人数

2 本プログラムはどの分野の内容と特に関連が深いと感じましたか (複数回答可)							
教科	物理	化学	生物	地学	数学	技術	その他
ポスト	0	24	9	9	2	4	1

表4-3：ポスト調査回答結果 (n=27) * 回答人数

3 本プログラムで、さらに充実させてほしいと感じた分野はどれですか (複数回答可)							
教科	物理	化学	生物	地学	数学	技術	その他
ポスト	11	3	7	6	2	3	1

(4) 実践Ⅱの質問紙調査について

実践Ⅱでは小学生を対象とし、活動後に質問紙調査を実施した。参加した子どもたちが、それぞれの活動について、難易度とおもしろさを5段階で評価した。以下の表は活動①②③の回答結果を示したものである。

質問紙調査の結果から、どの活動も子どもたちの評価は高くなっている。その中でも特に実験③塩の結晶は、とてもおもしろいと回答した子どもが最も多かった。実験②のエネルギーに関する実験は、難しかったと回答した子どもが多く見られた。記述の回答にて「計算が難しかった。」と回答した子どももいた。計算式は小学校既習内容で解くことが可能であるが、エネルギーの単位や

このことから計算過程を子どもたちにわかりやすくする工夫

が必要であることが示唆される。

表5：質問紙調査の回答結果 * 5段階評価の平均

実験の内容	難易度	おもしろさ
実験① 海水のろ過	3.21	4.29
実験② エネルギー	2.93	4.21
実験③ 塩の結晶	3.86	4.86

*難易度は1：難しかった～5：簡単だった

おもしろさは1：つまらなかった～5：おもしろかった

6. 終わりに

本研究で開発した教材は、微生物の観察やエネルギー計算、顕微鏡の利用など一部中学校理科の内容も含まれるが、小学生でも十分に楽しく学ぶことができた。また教員養成系大学生でも海水の塩分濃度や製法を知らない学生が多く、教員養成プログラムの内容としても十分に利用可能であると思われた。

学校理科で溶解や再結晶は、粒子的な領域として扱われる。今回開発、実践したプログラムについて、大学生は主に関連するのが化学領域であると認識しつつも、生物学や地学との関連もそれぞれ約30%の学生が認識し、約15%の学生が技術との関連も認識した。こうした結果は、本プログラムが領域横断的で統合的な学習を促進する可能性を示唆するものであり、重要な成果と考えることができるであろう。一方で、エネルギー的な考え方が様々なに含まれているにも拘わらず、物理領域との関連を認識できた学生がいなかったことは課題であり、今後の改善に生かしていく必要がある。

今回行ったプレ調査において、教員養成系大学生の約80%(24名中20名)が製塩工場での塩の製法を説明できないことが明らかとなった。瀬戸内海に面する愛媛県は、塩田利用地域もあり、大きな製塩工場が現在でも稼働している。古くから塩の生産の拠点の一つとされており、歴史的に製塩法の技術革新も経験した。長谷部九兵衛は1683年(天和3年)に県内最古の入浜式塩田を開発したとされている。愛媛県で教員を目指し、学ぶ大学生が、自分が生活する地域の特色ある素材についてSTEMを学ぶことにより、科学的な素養を備えた市民としての自覚が高まることが期待されると共に、学校と地域、世界が実践的に繋がる新しい教育を展開することができるであろう。

参考文献

・千田有一(2013) 米国における科学技術人材育成戦略—科学、技術、工学、数学(STEM)分野卒業生の100万人増員計画—

科学技術動向, 2013年1・2月号

- ・垣内康孝・清本正人・千葉和義 (2014) 海洋教育の実践：小学校で簡便に授業実践できる「塩作り」教材, 日本科学教育学会年会論文集, .38 : 449 - 450
- ・小林道夫 (2012) ロボット教材を活用した STEM 教育の実践, 神奈川大学心理・教育研究論集, 31 : 77 - 86
- ・斉藤智樹・熊野善介 (2014) (3) 研究所・企業等を見学する STEM ツアーにおける受講者の学習とその振り返りに関する一考察, 静岡 STEM ジュニアプロジェクト, 平成 26 年度報告書 : 137 - 144
- ・文部科学省 (2008) 小学校学習指導要領解説理科編
- ・Rodger W. Bybee (2013) The Case for STEM Education Challenges and Opportunities, NSTA press.

[註 1] 塩作りの歴史や工程については、以下のホームページを参照した。

- ・伯方塩業株式会社 <http://www.hakatanoshio.co.jp/>
- ・公益財団法人塩事業センター <http://www.shiojigyo.com/>

附記

本研究は平成 27・28 年度愛媛大学教育改革促進事業（愛大 GP）の支援を受けて行った。また、本稿は日本科学教育学会第 40 回年会において発表した内容に大幅に加筆したものである。