

「解説」

体験教室に有用な化石レプリカの作製法

古閑 公浩^{*}・濱田 祥蔵^{**}・羽田 伊織^{**}・岩川 風^{***}

1. はじめに

化石のレプリカ（複製）は、実物資料の保護、研究、復元、展示、教育活動に有用である。化石には壊れ易い物もあるので、博物館などではレプリカを展示に用いたり、研究資料として用いたりしている。さらにレプリカの製作の過程を体験させることで見たり触れたりすることができ、化石に対して興味関心を持たせ、理解を深めさせることができる。

化石レプリカの製作を取り入れた授業や体験教室の取り組みは広く実施されているが、体験教室で使用するレプリカ型の作製方法は、ほとんど知られていないと考えられる。従って、ここでは、特に体験教室等に有用な化石レプリカの作製法とその活用について紹介する。

2. 化石レプリカ作製方法

(1) 作業工程

化石レプリカ作製のおおまかな作業の流れは、図1に示すとおりである。まず、化石の型取りをして雌型を作製し、石膏や樹脂などを使用して成型を行い、必要に応じて着色を行う。

(2) 型取り

化石レプリカを作製するには、まずシリコン樹脂 (silicone) などの印象材を用いて、化石表面の形状を写し取る必要がある。ここで紹介する雌型は、図2のように上型と下型の二つ割りで構成されていて、それらは図3のように内側のシリコン樹脂の型と外側の石膏の支持型で構成されている。この雌型で、化石全体を再現したレプリカを作製することが出来る。このような雌型には様々なものがあるが、ここでは支持型を大きくして高価なシリコン樹脂の使用量を少なくした雌型Aと、体験用に改良された雌型Bを取り上げてみる。

雌型Aは、支持型を大きくして、高価なシリコン樹脂の使用量を少なくできるという特徴を持っている雌型である（図4）。型の内側は、シリコン樹脂の部分と支持型の噛み合わせの部分（石膏）からなっている（図5）。しかし、成型作業前に支持型の内面にワセリンなどを塗っておかないと、成型時に使用する石膏が付着してしまい、繰り返し使っていくうちに型の噛み合わせが悪くなる。多くの人が同時に作業する場合は、準備や指導が行き届かず、型にダメージを与える事が多い。

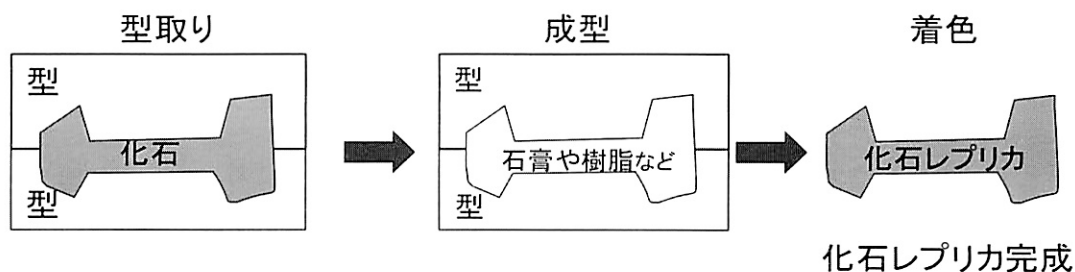


図1 化石レプリカ作製の作業の流れ。化石レプリカの製作作業は、「型取り」、「成型」、「着色」の順に進むが、研究用のレプリカは着色しないことが多い。

^{*} 御船町恐竜博物館 ^{**} 熊本市立鹿南中学校 ^{***} 福岡県遠賀郡遠賀町 [†] 現所属：八代市立八代養護学校

2010年1月17日受付，2010年9月2日受理

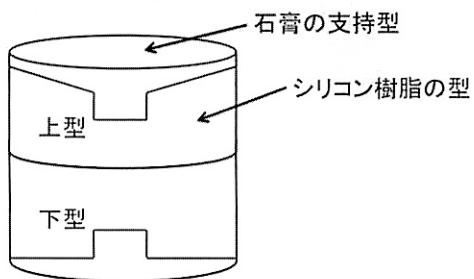


図2 上型と下型で構成された二つ割りの化石レプリカの型。上型と下型は、それぞれ石膏の支持型とシリコン樹脂の型で構成されている。

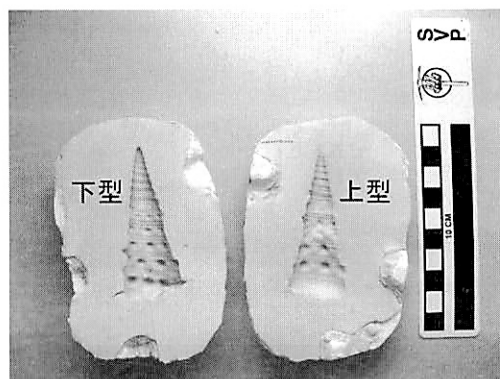


図5 雌型Aの内側の部分。シリコン樹脂の部分と支持型の噛み合わせの部分（石膏）からなっている。

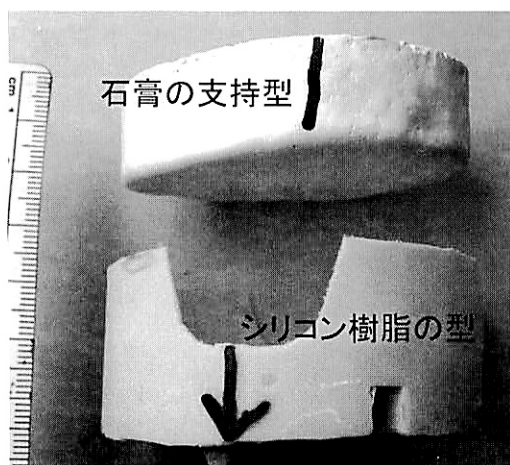


図3 石膏の支持型（上）とシリコン樹脂の型（下）。



図6 雌型Aから余分な石膏がはみ出している様子。はみ出した材料の石膏が支持型に付着してしまい、上型と下型が離れにくくなる。



図4 雌型A。支持型を大きくして、高価なシリコン樹脂の使用量を少なくできるという特徴を持っている。

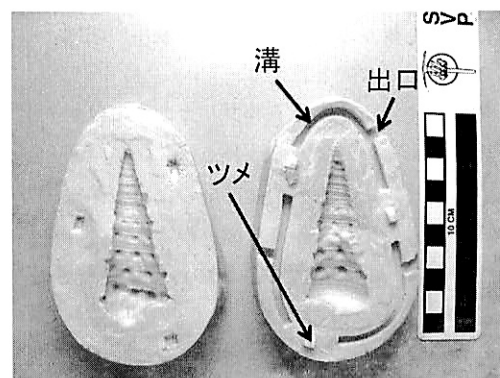


図7 雌型Bの内側のシリコン樹脂の型の部分。化石の印象部分の周りに溝、出口、ツメが見られる。

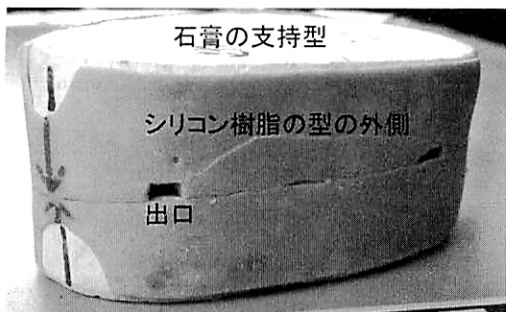


図8 雌型Bの上型下型を合わせた様子。シリコン樹脂の型の外側に、出口が見られる。



図9 余分な石膏が出口から出ている様子。余分にはみ出た石膏をシリコン樹脂の型の外側の部分に付着させ、外枠の石膏の支持型にくっつくのを防ぐ。

また、余分にはみ出した材料の石膏が支持型に付着してしまい、上型と下型が離れにくくなる(図6)。シリコン樹脂の型も型同士を外す時に無理な力が加わるので破れやすくなる。よって雌型Aは、何度も繰り返して使用する体験用の雌型としては向いていないと言える。

体験用に使用する化石レプリカの型には耐久性が要求される。雌型Bの改良点は、図7、図8のようにシリコン樹脂の型の部分の化石の印象部分の周りに溝と出口を作り、図9のように余分な石膏をシリコン樹脂の型の外側の部分に付着させ、外枠の石膏の支持型にくっつくのを防ぐ点である。余分な石膏がシリコン樹脂の型に付着しても容易に剥がれる。

またシリコン樹脂の型の外側の部分が外枠の石膏の支持型をしっかりと覆い、シリコン樹脂の型



図10 シリコン樹脂の型の内側にある噛み合わせの役割をするツメ。シリコン樹脂を固めて作ったものである。

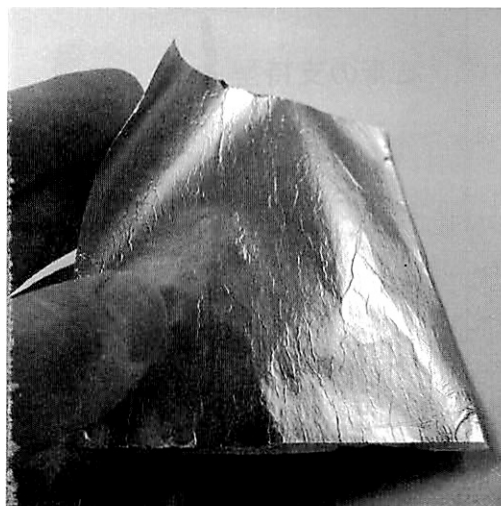


図11 スズ箔。化石の表面にある割れ目などに印象材が入りこむのを防止する。

の内側に噛み合わせの役割を果たすツメ(図7、図10)を付けたことにより、上下の型を合わせた時にシリコン樹脂の型がずれにくく正確な化石レプリカを作ることができる。

以上の点から雌型Bは、ダメージを受けにくく耐久性があるので、体験教室用に向けた雌型であると言える。

雌型の作製には様々な方法があるが、ここでは体験教室用に改良された雌型Bの作製の作業手順を示す。型取りに必要な材料を表1に示す。

表1 型取りに必要な材料。

| | |
|--------|---|
| 化石の保護剤 | パラロイドB-72, アセトン, スズ箔 |
| 道具類 | 油粘土, ラバーボウル, プラ板 (薄いプラスチック板), ディスポカップ, 硬いステキナイフ, 筆, パレットナイフ, アートナイフ, ハサミ, つまようじ, 油性ペン |
| 型の材料 | シリコン樹脂, シリコン樹脂用の硬化剤, ガーゼ, 石膏 |
| 離型剤 | ワセリン |
| 保護具 | 長袖の白衣, 保護メガネ, ゴム手袋, 防毒マスク, 防塵マスク |

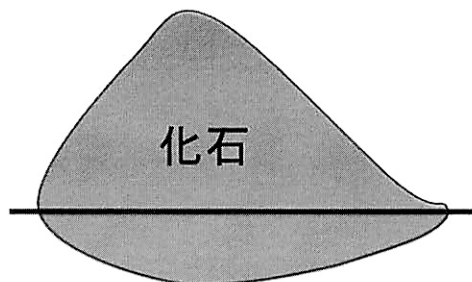


図12 型の境界の設定。化石の最も幅が広い部分に境界を設定する。

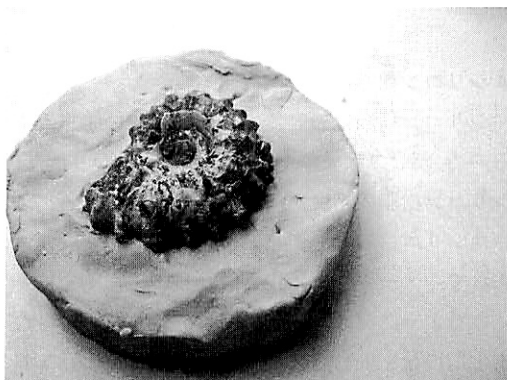


図13 作成途中の土台。化石の最も幅広い部分を油粘土で隙間なく固定し、油粘土の表面は、なるべく滑らかに仕上げようにする。

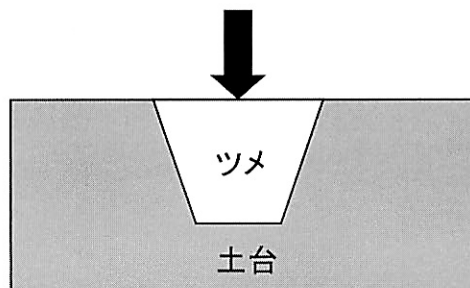


図14 油粘土の土台へのツメの埋め方。ツメは、下が細くなるように埋める。

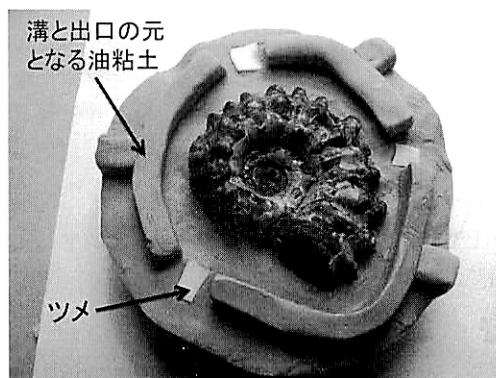


図15 完成した油粘土の土台。化石の周りの油粘土の土台にツメを埋めて、パレットナイフ、アートナイフなどで細長く切り断面を四角形に整えた溝と出口の元となる油粘土を、土台にしっかりと固定する。

(3) 雌型Bの作製の注意事項と作業手順

雌型作製には様々な材料を使用するので、目と皮膚を保護するために、保護メガネ、長袖の白衣、ゴム手袋を着用する。アセトンなどの有機溶剤は使用時に有毒なガスが出るので、これらを使用する時は防毒マスクを着用する。石膏は使用時に粉末が空气中に浮遊しやすいので、防塵マスクを着用する。

①化石の保護

化石が脆い場合は、アセトンで溶かしたパラロイドB-72などのアクリル樹脂を化石にしみ込ませたり、化石表面をスズ箔(図11)で覆うなどして化石を保護する。

②土台作り

化石の最も幅広い部分が型の境目になるようにして、図12のように境目を決めて、境目にびつ

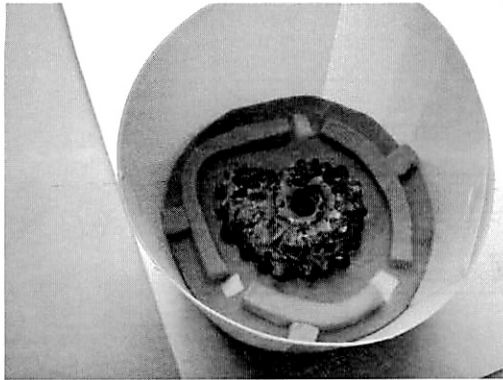


図16 プラ板で土台を覆う。土台の側面が滑らかになるように、パレットナイフで油粘土の土台の側面と油粘土の出口の部分を整えながら切り取り、プラ板で土台の周りを隙間が無いように覆い、テープなどでしっかり固定する。

たりと合わせて、化石と油粘土の間に隙間が無いように油粘土で固定する（図13）。境目の面はなるべく滑らかに仕上げるようにする。化石との隙間を油粘土で埋めるためには、つまようじなどを使って化石を傷つけないように油粘土を丁寧に埋めていき油粘土の土台（以下、土台と略す）を作っていく。土台の厚さは、化石の最下部がしっかり覆われる程度にする。

上型と下型の噛み合わせの役割をするツメ（図10, 14）を、シリコン樹脂を固めて作り、下が細くなるように2～3個土台に埋める（図14, 15）。また、余分にはみ出た化石レプリカの材料（石膏など）を型から逃がすために、溝と出口の元を油粘土で作る。油粘土は細長く切り、断面は四角形になるようにパレットナイフ、アートナイフなどで仕上げる。仕上げた溝と出口の元となる油粘土を、土台に隙間なくしっかりと固定する（図15）。

③シリコン樹脂をかける準備をする

土台の側面が滑らかになるように、パレットナイフで油粘土の土台の側面と油粘土の出口の部分を整えながら切り取り、化石の最上部より5cm程度高くなるように、プラ板（薄いプラスチック板）で、土台の周りを隙間が無いように覆いテープなどでしっかり固定する（図16）。土台とプラ

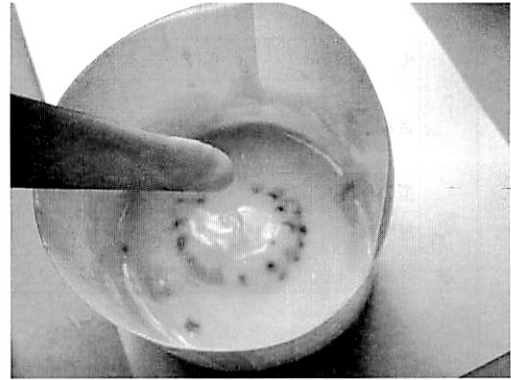


図17 シリコン樹脂を化石にかけている様子。パレットナイフなどでシリコン樹脂をすくい、シリコン樹脂を糸状に垂らし、化石と土台の上に気泡が入らないように少しずつかける。シリコン樹脂が化石と土台のすべてを覆い隅々まで行き渡ったら、プラ板の内側にもシリコン樹脂をパレットナイフなどで塗る。

板の間を密着させる理由は、シリコン樹脂が隙間から下に流れてしまわないようにするためである。

④シリコン樹脂などを準備する

シリコン樹脂は、容器内で分離している事があるので、硬いステーキナイフなどでしっかり混ぜ、シリコン樹脂の粘度が均一になるようにする。混ぜたシリコン樹脂をディスポカップに必要なだけ入れて、メーカーで指定された量の硬化剤を均一になるように混ぜる。硬化時間を遅めたい場合は、硬化剤の量を少し減らす（ただし硬化剤の添加量の割合は、シリコン樹脂の0.3～1%程度の範囲内に収めるようにする）。また、シリコン樹脂の補強のためのガーゼを適当な大きさに何枚か切っておく。

⑤シリコン樹脂をかける

パレットナイフなどでシリコン樹脂をすくい、シリコン樹脂を糸状に垂らし、化石と土台の上に気泡が入らないように少しずつかけていく（図17）。シリコン樹脂が化石と土台のすべてを覆い隅々まで行き渡ったら、プラ板の内側にもシリコン樹脂を化石の最上部より3cm程度高い位置までパレットナイフなどで塗っていく。



図18 シリコン樹脂の上にツメを乗せた状態。シリコン樹脂が固まりかけた時に、ツメをシリコン樹脂の上に乗せる。

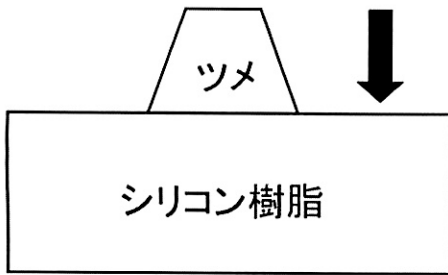


図19 ツメの乗せ方。ツメは上が細くなるような向きで乗せる。シリコンがかたまりかけたときに作業すると良い。

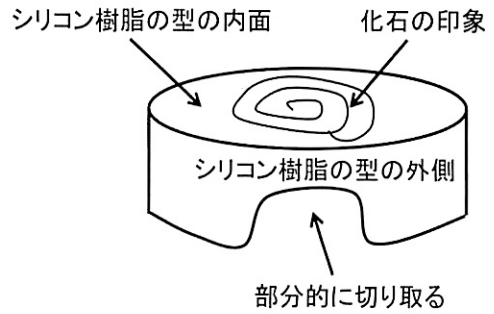


図21 シリコン樹脂の側面の形の整え方。上型のシリコン樹脂の型の外側の向かい合う二箇所を部分的に切り取り、下型も同様にする。

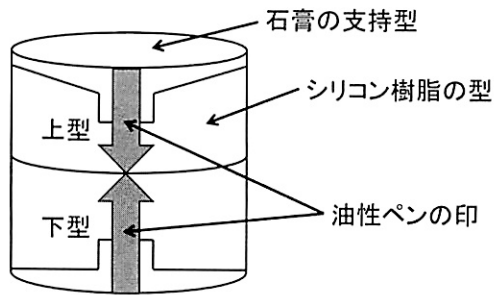


図22 目印の付け方。シリコン樹脂の型と石膏の支持型を合わせ、上下の型を合わせて油性ペンで印をつける。油性ペンの印の向かい合う反対側も同様に、色違いの油性ペンで印をつける。

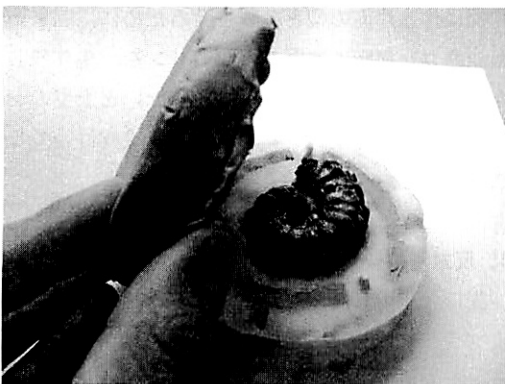


図20 油粘土をはぎ取る。シリコン樹脂の溝と出口の部分に埋まっている油粘土は残しておく。

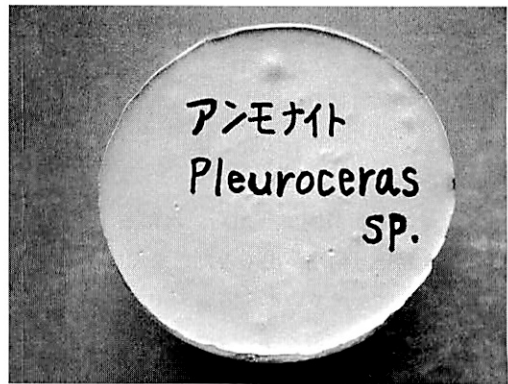


図23 完成した雌型。型(石膏の支持型)の上に、油性ペンで化石の名称を書いておく。

表2. 化石レプリカの材料（プラスチック樹脂、石膏）の利点と欠点.

| プラスチック樹脂 (エポキシ樹脂・不飽和ポリエステル樹脂) | 石膏 |
|---|--|
| (利点) 軽くて丈夫 傷がつきにくい | (利点) 有毒なガスは発生せず安全 短時間で硬化する 微細な部分の特徴を再現できる |
| (欠点) 有機系の有毒なガスが発生する 硬化に時間がかかる 硬化後少し収縮する (※収縮率 エポキシ樹脂・・・1%以下 不飽和ポリエステル樹脂・・・6～9%) | (欠点) 粉末が空気中に浮遊しやすい 型が重くなる |

⑥シリコン樹脂の補強

シリコン樹脂が固まったら、補強のために、切っておいたガーゼにシリコン樹脂を浸して、固まったシリコン樹脂の上に隙間なく貼っていく。プラ板の内側の部分にも同様にシリコン樹脂を浸したガーゼを隙間なく貼っていく。

⑦さらにシリコン樹脂をかける

シリコン樹脂が固まったら、ガーゼの上からさらにシリコン樹脂を糸状に垂らし、隙間なく覆う。プラ板の内側の部分にも同様にシリコン樹脂を塗っていく。シリコン樹脂で覆った後、シリコン樹脂が固まりかけた時に、ツメを上が細くなるようにシリコン樹脂の上に乗せる（図 18, 19）。シリコン樹脂が軟らかいうちにツメを乗せると、ツメがシリコン樹脂の中に沈んでしまう。

⑧石膏をかける

シリコン樹脂が固まったら、水に石膏を入れ、軽くかき混ぜ、粘性が出てきたところで、シリコン樹脂の上にかけていく。石膏の中の気泡を出すために、机の上で軽くトントンと土台ごと叩く。軽く振動を与えると、石膏の表面は水平になる。

⑨プラ板をはぎ取る

石膏が固まったら、プラ板をはぎ取り、余分に

はみ出たシリコン樹脂の側面の壁を切り取り整える。また余分な石膏部分もアトナイフなどで削っておく。

⑩粘土をはぎ取る

土台の油粘土をはぎ取るが、シリコン樹脂に埋まっている溝と出口の部分の粘土は残しておく（図 20）。化石やシリコン樹脂の表面に僅かに付着している粘土も、化石を傷つけないように気を付けて筆などで取り除く。また余分なシリコン樹脂は切り取り、シリコン樹脂の部分を整える。

⑪シリコン樹脂にワセリンを塗る

次に作る片面の型と分離させるために、固まったシリコン樹脂に離型剤のワセリンを、塗り残しが無いように塗る。この作業をしないと上型のシリコン樹脂と下型のシリコン樹脂がくっ付いてしまう。

⑫ 反対側の型を作る

先ほど使用したプラ板をきれいにし、もう一度プラ板で型を隙間が無いようにしっかりと覆う。その後、先ほどの型作製時と同様にして、硬化剤を混ぜたシリコン樹脂を、固まったシリコン樹脂、溝と出口の粘土の部分、化石表面に糸状に流してプラ板の内側にも塗る。シリコン樹脂が固

表3 プラスチック樹脂および有機溶剤の毒性

| 有機溶剤・樹脂 | 毒性 |
|-------------|--|
| アセトン | 蒸気を吸入すると粘膜を刺激し、咳、頭痛、息切れなどを生じ、高濃度の蒸気は麻酔性があり（許容濃度 200ppm）、液体に触れると、皮膚が脱脂され刺激と発赤を生じる（中井、1996） |
| シンナー | 麻酔作用、皮膚粘膜刺激作用がある。気管支や喉頭の刺激、肺水腫、多幸性、頭痛、めまい、運動失調、錯乱、昏睡、心室細動、肝障害、好酸球増多、代謝性アシドーシス、腎不全などを引き起こす。慢性症状として、CPK 上昇、ミオグロビン尿症、幻覚、小脳運動失調などの症状がある。依存症になると不可逆性が強く、回復には長年月を要する（Anthony T. Tu, 2005）。 |
| エポキシ樹脂 | エポキシ樹脂の主剤の主成分のビスフェノール A は、目や皮膚に接触すると強い刺激作用を示し、炎症を引き起こす（泉、2008）。硬化剤であるアミンはアレルギー症状がある人にとっては刺激が強く、目がかゆくくなったり、湿疹が出る場合がある（杉本、2003）。 |
| 不飽和ポリエステル樹脂 | 不飽和ポリエステル樹脂の主成分のステレンは、ヒトが蒸気を吸入すると鼻やのどの粘膜が刺激され、胃腸にも障害がおよぶ。高濃度ではめまいや意識の混乱・消失も生ずる。また、接触によって眼や皮膚が刺激される（泉、2008）。硬化剤であるパーメックの主成分のメチルエチルケトンパーオキシドは、目に入ると目を刺激し、粘膜を侵す。皮膚を刺激し、皮膚を荒らす（厚生労働省安全衛生部、2002）。 |

まったら、先ほどの型作製時と同様にして、⑥～⑨の作業を進める。

⑬型を仕上げる

上下の型を化石が壊れないようにゆっくりと引き剥がし、溝と出口の部分に埋まっている粘土や化石とシリコン樹脂に付着している粘土を、化石が傷つかないように取り除き、化石が壊れないように注意しながら、化石をシリコン樹脂からゆっくりと外す。余分にはみ出たシリコン樹脂は切り取る。上型のシリコン樹脂の型の外側の向かい合う二箇所を部分的に切り取り、下型も同様にする（図 21）。切り取ることにより外枠の石膏の支持型が外し易くなる。

⑭化石レプリカの型の完成

シリコン樹脂の型と石膏の支持型を合わせ、上下の型を合わせて油性ペンで印をつける（図 22）。油性ペンの印の向かい合う反対側も同様に、色違いの油性ペンで印をつける。印をつけることにより外した型を合わせ易くなる。最後に型（石膏の支持型）の上に、油性ペンで化石の名称を書いておく（図 23）。

（4）成型作業

化石レプリカの材料には主に石膏、プラスチック樹脂がよく使われる。石膏とプラスチック樹脂

にはそれぞれ利点と欠点があるが、その詳細を表 2 に記す。

表 2 に示すように、プラスチック樹脂は軽くて丈夫なので、大型の化石レプリカ作製に向いている（ただしエポキシ樹脂は高価なので、コストがかかる）。しかしプラスチック樹脂は有機系の有毒なガスが出るので、体験用には使わない方が良い。石膏は有毒なガスは発生せず、また短時間で硬化するので、石膏はプラスチック樹脂よりも体験用の化石レプリカ作製に向いている。ただし石膏の粉末が成型時に浮遊しやすいので、保護メガネと防塵マスクを着用する。また、石膏は化石の微細な部分の特徴を再現できるので、小型化石の研究用レプリカ作製に向いている。

①プラスチック樹脂による成型作業の注意事項

未硬化の樹脂やシンナーなどの有機系の材料から有毒なガスが発生するので、必ず換気をしっかりとして防毒マスクを着用する。また未硬化の有機系の材料が目や皮膚に付着する危険があるので、保護メガネをしてゴム手袋を着用する。しかし、完全に硬化したプラスチック樹脂は、有毒なガスは発生せず、触れても皮膚を荒らすことはない。プラスチック樹脂でできたレプリカを教材等で使用しても安全である。有機系の材料の毒性については、表 3 に記す。

その他の注意事項としては、樹脂が硬化する時は発熱するので火傷をしないように気をつけることや、有機系の材料は引火性があるので作業場では火気厳禁ということなどが挙げられる。

②歯科用硬石膏による成型

石膏で化石レプリカを作るとプラスチック樹脂より重くなるので、比較的小型の化石レプリカの材料に使用する。体験教室等では安全性と作業時間を考慮して、雄型の成型に石膏を用いることが多い。作業手順を以下に示す。

(i) ラバーボウルに石膏を必要なだけ入れて、メーカーで指定された混水比の量の水を混ぜる。

(ii) 両面の型の化石の印象部分に、石膏を少し盛り上がる程度に入れる。

(iii) タオルなどを置いた机の上で、両面の型を軽くトントンと叩き、石膏の中の気泡を出す。ここまでの作業を5分以内くらいで終える(石膏が固まってしまうため)。

(iv) 石膏がこぼれないように素早く両面の型を合わせ、ゴムバンドで固定する。

(v) メーカーで指定された硬化時間が経過して、ラバーボウルに残っている石膏が固まったら、型の中の石膏も固まっているので、上下の型をゆっくりと開き、化石レプリカを取り出す。

(vi) 化石レプリカの周りのバリを、ニッパーなどできれいに取り除く。

(5) 着色

完成した化石レプリカには、必要に応じて着色する。ただし研究用のレプリカには、着色しないことが多い。作業手順を以下に示す。

①アクリル絵の具を水で薄めながら化石レプリカに重ね塗りをし、実物標本をよく観察しながら着色していく。

②絵の具が乾いたら艶出し剤、艶消し剤を必要に応じて塗り、乾いたら完成である。

3. 作業工程の説明映像

体験教室等では、短時間で参加者に化石レプリカの作り方を指導しなければならない場合が多い。そこで動画編集ソフトを使い、作業手順を説明する動画を作製した。実際に使用する道具や作業の様子が映像で示されるため、言葉や説明書で説明するより、効果的な説明を行うことが出来る。

4. おわりに

体験教室で使用する化石レプリカの型は多くの人が使用するため、耐久性がある型でなければならない。今回は、耐久性があり正確な化石レプリカが作れるように型を改良した。今回改良した化石レプリカの型は、体験教室に有用であると言える。本稿をまとめるにあたり、御船町恐竜博物館の池上直樹、永田紘樹両氏には、粗稿を読んでもいただき、有益な助言をいただいた。記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

高橋啓一 (2000) : I - 6 「複製標本の作製」. 化石の研究法～採集から最新の解析法まで～, 化石研究会編, 共立出版株式会社, p. 21-23.

川辺文久 (2000) : II - 3 - 4 - 2 - (4) 「石こう模型の作製」. 化石の研究法～採集から最新の解析法まで～, 化石研究会編, 共立出版株式会社, p. 148-150.

中井多喜雄 (1996) : 危険物用語辞典. 株式会社朝倉書店, 304p.

Anthony T. Tu (2005) : 毒物・中毒用語辞典. (株)化学同人, 352p.

泉邦彦 (2008) : 有害物質小事典. 株式会社研究社, 357p.

杉本賢司 (2003) : 図解プラスチックがわかる本. 株式会社日本実業出版社, 170p.

厚生労働省安全衛生部 (2002) : 2000 - 2001 化学物質の危険・有害便覧. 中央労働災害防止協会, 1107p.