

青銅器をつくる

—ものづくり体験を基礎にして人間と自然のかかわりを見つめ直す学習^{※1)}の展開—

境 智 洋

青銅器づくりを教材として扱うことによって、人類が培ってきた技術の歴史を学ぶだけでなく、このようなものづくり体験を基礎にして、人間と自然のかかわりを見つめ直し、現在の環境問題を基本的な視点から学習する素材として活用できる。ここでは、鋳物づくりとともに、青銅器づくりから、人間と自然とのかかわりを理解する学習プランを検討した。

[キーワード] 総合的な学習の時間 ものづくり 青銅 アルミニウム 人間と自然とのかかわり

はじめに

「考古学」では人類の歴史を利器（切ったり、削ったりする鋭利な道具）の素材を基に、石器時代、青銅器時代、鉄器時代と分類する。^{※2)} 都市が誕生し、人間の分業が進み、自然を加工してものを作り出し、豊かな文明が出現したのは、青銅器時代からである。環境を大きく変え、環境問題が起り始めたのも青銅器時代以降である。ゆえに、青銅器は、人間と自然のかかわりを見つめ直す教材として活用できる素材であると考えられる。

青銅器作りは、道具や素材をそろえることや、道具の扱いが難しいとされてきた。それは、高温で金属を溶かす過程で、扱いを間違えると危険を伴うからである。そこで、安全に配慮して、金属の性質と鋳型の特性を理解した上で、鋳物作りを安全に教材として扱うことを検討した。ここでは、より身近な道具と素材で鋳物を作ることによって、小学校でも鋳物を扱うことができるように、青銅に変わる素材も検討した。また、理科と総合的な学習の時間を関連させ『人間と自然のかかわり』を考える授業プランを検討した。

1 青銅の性質

中国前漢時代（紀元前202～8年）『周礼』^{しゅらい}「考工記」^{こうこうき}には、青銅器の種類による錫・鉛と

銅の割合が書かれている（表1）。^{※3)} これらは、鏡、劍それぞれに銅と錫・鉛の質量比を変えて、用途に合わせた色や硬さを生み出す合金の技術ができていたことを示している。そこで、錫と銅の質量比を変えて合金を作り、その色、硬さ、合金ができる温度、合金の溶ける温度を比較することを実験室で試みた。

準 備

ステンレス皿、黒鉛るつぼ（1/2号）、マッフル、バーナー（ブタンガス）、強力バーナー（プロパンガス；市販されている1900℃まで可能なバーナー）、耐熱板、鉄製スタンド、錫と銅（質量10g：10g、8g：12g、6g：14g、4g：16g）、錫は顆粒状、銅は板状で1cm四方に切ったもの）、熱電対温度計（1200℃まで測定可能なもの）、ハンマー

方 法

A 合金づくりと錫に銅が溶け出す温度の測定

- (1) 錫10gをステンレス皿に載せ、バーナーで強熱する。その際、試料が炎の中に入るようバーナーの先を金属に近づける（図1）。
- (2) 溶けた錫の中に、銅の小片を埋め込むように入れる。

表1 質量比

器種	質量比率 (%)	
	銅	錫・鉛
かねなえ 鐘鼎	86	14
おの 斧斤	83	17
ほこ 戈戟	80	20
なぎなた 大刀	75	25
やじり 削殺矢	71	29
かがみ 鑑燧	67	33



図1 錫に銅を溶かし込む

(3) すべてが溶けたらすぐに、熱電対温度計で測定する。

(4) 同様に質量比を変えた錫と銅で方法(1)～(3)を行う。

B 合金の溶ける温度の比較

(1) 鉄製スタンドにマッフルで囲んだ黒鉛のつぼを固定し、下からバーナーで加熱する。その中に作った合金（青銅）を入れ、上からさらに強力バーナーで加熱する（図2）。

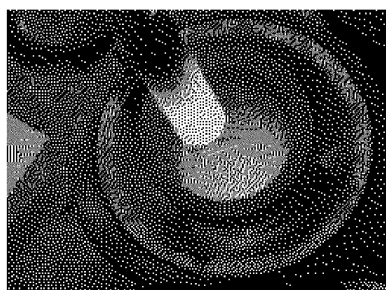


図2 青銅を溶かす

(2) 青銅が全体に溶け、つぼの中心部に液体の金属が集まる状態になったらすぐに熱電対温度計で温度を測定する。

C 合金の強さ

できあがった青銅を高さ約30cmから振り降ろしたハンマーで強打する。その変化を観察する。

結果

錫の融点は231℃、銅が1084℃^{*4)}であるが、融かす錫と銅の質量比によって合金になる温度に変化が生じる。また、合金の融点も錫と銅の割合によって変化する。合金は錫の割合が多いと銀色に変化し、簡単な打撃実験の結果からも脆くなる^{もろ}ことがわかる（表2）。

考察

この実験により、合金にすることで溶ける温度が銅の融点よりも下がることや、性質が変化

表2 合金の性質

錫の質量(g)	20	10	8	6	4	0
銅の質量(g)	0	10	12	14	16	20
合金を作る温度		645	730	730	*760	
融点(℃)	232	685	770	770	810	1085
打撃による結果	○	×	×	×	○	○

×割れたもの

*はすべてが溶けない状態で測定した

表3 発掘された青銅器の質量比率(%)

	銅	錫	鉛	その他
銅鐸	84.23	8.84	6.10	1.43
細型銅剣	46.93	44.15	5.73	3.18
鏡	66.23	22.15	4.64	6.98

することを理解させることができる。また、日本で出土した青銅器の銅、錫、鉛の質量比^{*5)}を平均したもの（表3）をみると鏡はより明るい色にするため錫を多くし、銅鐸はより硬くするために銅の割合を多くしていたことがわかる。

古代に、中国・朝鮮から伝わってきたと思われる青銅器が、すでに高い水準にあったこと、また銅、錫、鉛の精錬、合金の製作には、高温をつくるために多くのエネルギーを必要としていたことも想像できる。

2 鑄型を変えて青銅鏡をつくる

鑄型の始まりは、1つの石を彫って鑄型にする開放鑄型であった。約4000年前のエジプト文明の遺跡から銅の平斧^{ひらおの}が見つかっている。^{*6)}その後、銅より流動性のある青銅の作り方が発見され、石を掘り2つ以上の鑄型を合わせてつくる閉鎖鑄型の技術ができあがった。紀元前1500年頃エジプト文明のテーベ墳墓壁画には、青銅の鑄造の様子がすでに描かれている。^{*7)}矢



図3 テーベの壁画^{*7)}

印の湯口（金属を鑄型に流し込む口）に、溶かした金属を流し込んでいる様子を見ることができ。このように古代エジプト時代に始まった鑄物づくりを身近な素材と道具で再現する。

境

A 石（レンガ）で鋳型をつくる

遺跡から見つかる石型は、長石、石英分が75%前後、雲母・粘土分（酸化アルミニウムなど）が12～15%の石が多く使われている。^{*8)} 風化した石英斑岩、砂岩が多いことから通気性がある程度有り、成型しやすい石を使っていたと想像できる。ここでは、成型しやすさ、通気性を考慮し珪素土質の耐火レンガを使う。

a レンガで鋳型をつくる

準備

B 2耐火レンガ（イソライト）、彫刻刀またはカッターナイフ、紙ヤスリ（#80～120）

方法

レンガに掘りたい図柄を描き、彫刻刀で彫る（図4）。

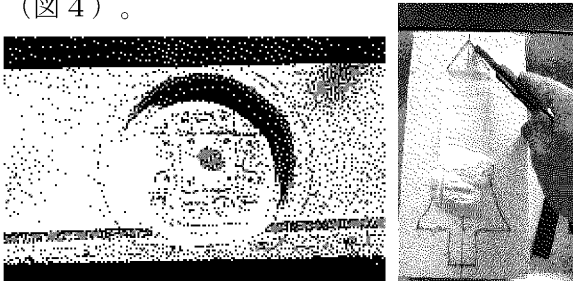


図4 レンガの鋳型をつくる

b 炉の製作

準備

七輪、木炭（2cm程度に輪切りにしたもの）、送風機（ドライヤー）、レンガまたはコンクリートブロック2個、黒鉛るつぼ（4号）、安全メガネ

*黒鉛るつぼは、るつぼと接している面の金属の酸化を防ぐことができる。（黒鉛るつぼは、ホームセンターで注文する）。

方法

- (1) 七輪をレンガやコンクリートブロックの上に置き固定する（図5）。
- (2) 七輪の通気口に風が入るようにドライヤーを向ける（風量は、風の入り方で工夫する）。
- (3) 木炭に火を付け、上に



図5 七輪炉

黒鉛るつぼを置く。さらに、黒鉛るつぼの周りに木炭を置き、送風を開始する。

c 鏡を作る（直径10cm、厚さ1cmの鋳型）

準備

火ばさみ、るつぼばさみ、銅線（直径1mm；1200g）、錫（500g）、作製したレンガの鋳型、木の棒（直径10mm、長さ1m）、砥石、金属磨き粉、耐水研磨紙（#800、#1000）、金やすり

方法

- (1) 黒鉛るつぼに錫（500g）を入れて溶かし、溶けてきたら金属の表面が酸化するのを防ぐために木炭の粉を表面に落とす。

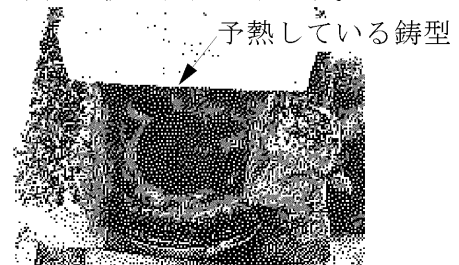


図6 七輪炉に入れた黒鉛るつぼ

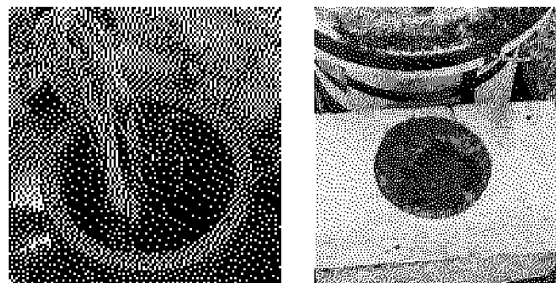


図7 錫に銅を溶かす 図8 流した青銅

- (2) 七輪の縁に鋳型を置き、予熱する（図6）。
- (3) 溶けた錫の中に銅線を適当な長さに切り何度かに分けて錫の中に入れる（図7）。
- (4) 木炭が減るごとに周りに木炭を追加する。木の棒を使いながら、すべてが溶けたか確認する。^{*9)}
- (5) 予熱したレンガの鋳型を平らな乾燥した場所に置き、るつぼをるつぼばさみで挟み、できあがった青銅を流し込む（図8）。
- (6) 金属が冷えてから鋳型より取り外す。
- (7) 金やすりで鏡の部分进行削る。
- (8) 砥石で表面が平らになるまで磨く。さらに耐水研磨紙で磨き、最後に金属磨き粉で仕上げる（図9）。

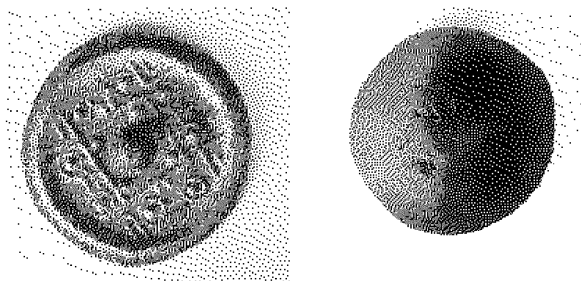


図9 出来た青銅鏡の表と裏

結果

『周礼』『考工記』を参考に錫と銅の質量比 3 : 7 にして作製した。鑄型通りの鏡ができ、鏡面は白い輝きを見せる。

留意点

炭を適当に割って、高温になった炉の周りに入ると弾けて飛び出す。2 cm で輪切りにし、大きい場合はさらに2等分するなどして、大きさを揃えた方がよい。飛び出す場合を考慮し、炭を入れる時は、安全メガネを着用し、炉の周囲に人を近づけないようにする。

B 砂で鑄型を作る

鑄物砂は、きめの細かい砂と、粘土を調合して作製していた。^{*10)} きめがそろっている鑄物用砂オリビンサンド(7号)と焼き物用粘土(信楽粘土)を乾燥させて粉末にしたものを割合を変えて混合したが、砂が流れ鑄型にはならない。このことから水分が必要であることがわかる(図10)。図11は、砂の質量に対して水を5%、10%、15%、20%と変えて鑄物砂を作り、図10の左の型から鑄型を作り、錫を流してみたものである。結果、水分が15%を越えると、鑄物に空隙ができ、20%になると、形が崩れてく

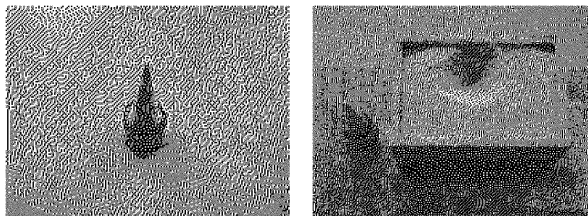


図10 砂と粘土で木型から鑄型をつくる

る。また水蒸気を発生し閉鎖鑄型になると、危険が生じることも明らかである。そこで、水分をできる限り少なくし、成形性を保たせるため

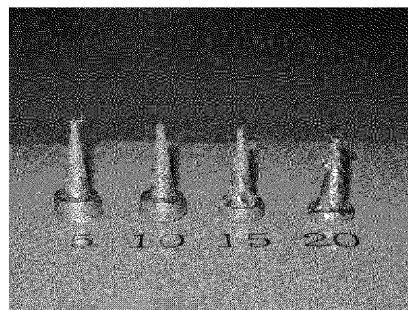


図11 水の配合比と鑄物

に、室蘭工業大学材料プロセス学研究室桃野正教授からアドバイスを頂き、砂に対して、粘土 5~7%、水 4%を目安に鑄物砂を作ることとした。ここでは、海岸砂(石狩浜)を利用して開放鑄型を作製する。

準備

乾燥した海岸砂(2 kg)、乾燥した焼き物粘土(100 g)、水(80 g)、はかり、木で作った型(図12)、ピーカー、バケツ、木枠(内側 15cm x 15cm x 3 cm 程度)、板(20cm x 20cm x 1 cm 程度)、棒(2 cm x 2 cm x 20cm 程度)、茶こし



図12 木型をつくる

方法

- (1) 乾燥した砂を茶こしでふるい、バケツに 2 kg 集める(図13)。
- (2) 乾燥した粘土を茶こしでふるい(100 g)、方法(1)の砂と混合させ、水 80 g を加え、よく混ぜる。
- (3) 板の上に木枠を置き、その中に上を向けた鑄型を置く。
- (4) 茶こしで乾いた砂を軽くふるい、その上に方法(2)で作った砂を入れ木の棒で押し固める(図14)。



図13 砂をふるう

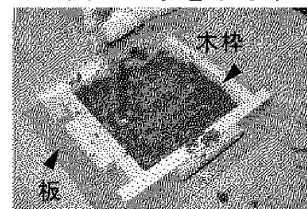


図14 砂を固める

境

(4) 静かにひっくり返し、静かに木型を外すと完成する(図15)。

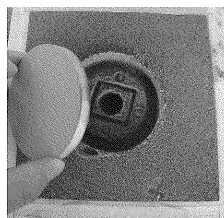


図15 木型を外す

(5) これに溶かした青銅を流して、石型と同様に作り上げる(図16)。

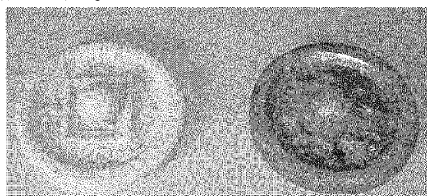


図16 砂型でつくった青銅鏡

結果

表面がざらざらしているが、青銅は、流れやすく型どおりに鏡が完成する。

考察

きめの細かい砂を使うことにより細かな形の鋳物を作る鋳型を作ることができる。粘土質量の5%の水を加えた粘土だけで鋳型を作製した場合は、鋳物と粘土から生じる水蒸気等が抜けるために空隙ができる(図17)。鋳物に適した砂、土、水分量を見つけ出してきた人間の歴史を感じることができる。

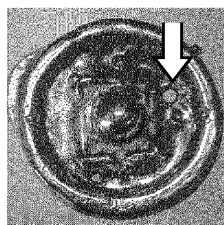


図17 生じた空隙

3 融点の低い金属で鏡をつくる

青銅鏡を作製するには750℃以上の高温が必要である。ここでは、青銅よりも融点の低い金属による鋳物づくりを行う。

A アルミニウムを融かしてアルミ鏡をつくる

アルミニウムの融点は、660℃である。このことから青銅よりもより低温で溶かし鋳物を作ることができる。^{*9)} 炉は、青銅を作る炉を利用する。アルミニウムの原料としてアルミニウムできたビール缶を利用した。

準備

アルミニウム缶(500ml; 20缶)、他は、青銅鏡を石型でつくると同じ

方法

(1) 黒鉛るつぼにアルミニウム缶1缶を飲み口

を上にして入れる。溶けてきたら表面の酸化を防ぐために木炭の粉を表面に落とす(図18)。

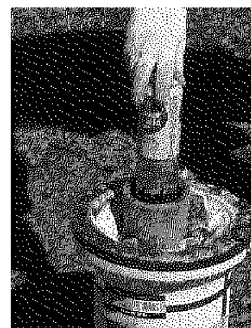


図18 缶の挿入

(2) アルミニウム缶が溶けるごとに、1缶ずつ方法(1)の要領で入れていく。炉の周りに鋳型をおいて予熱する。

(3) るつぼをるつぼばさみで持ち、溶けたアルミニウムを鋳型に流し込む(図19)。

(4) 以下は、青銅鏡の石型と同様に作り上げる。

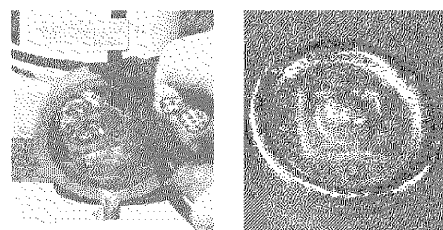


図19 鋳型に流し込み(左)とできた鏡(右)

結果

青銅よりも流れにくく、細かい形は出にくいですが、鏡を作ることができる。アルミニウムは非常に酸化しやすい。20缶(1缶18.5g)で約230gのアルミニウム鏡と約140gのスラグ(酸化アルミニウム等)ができた。

考察

アルミニウム鏡を作り、青銅鏡と比較すると、軽いことを実感できる。人間の歴史の中で人間が日常生活でアルミニウムを手に入れるようになったのは、電解精錬法(1886年)が確立してからである。^{*11)} このことから人間がアルミニウムを手に入れるまでなぜ長い時間がかかり、なぜ今リサイクルで回収しているのかを考えることができる。

留意点

缶の内側のコーティング剤が熱で溶け、可燃性のガスを発生させる。そのため、飲み口は必ず上に向けてるつぼに挿入する。

B 錫で鏡をつくる

室内で、鋳物を行うには低融点金属が扱いやすい。手に入れやすい鉛(融点327℃)や、ハ

ンダ（錫・鉛合金，融点183℃）^{*4)}があるが，鉛の毒性を考えると教材としては適当ではない。そこで，錫（231℃）で鋳物づくりを行った。錫は，家庭用コンロを使いステンレス鍋で溶け（図20），室内で鋳物を作ることが出来る（図21）。錫鋳物の鋳型は，レンガ型，砂型以外にも，木の板にすき間をつくらず置いた厚紙の枠（図22）でもできる。錫は小学校でも十分扱える素材である。

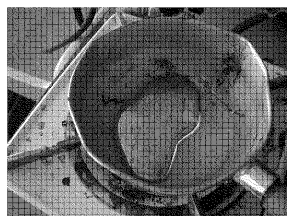


図20 鍋で溶かした錫

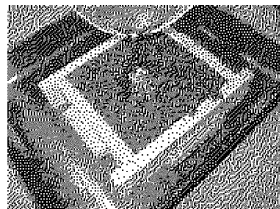


図21 流し込んだ錫



図22 紙枠に流した錫

参 考

インターネット上で錫のインゴットが1000円/kgで販売されている。また，錫よりも融点の低い金属（易融合金）にビスマス合金があるが，毒性のあるカドミウム，鉛を含むため教材としては適さない。^{*12)}

5 「大地のつくり」から「総合的な学習の時間」へ

図23は，小学校6年生における総合的な学習の時間と理科との関連を例にしたものである。理科「大地のつくり」を学ぶことによって地域の地質に関する情報を得る。その中で，鉱山の操業が行われていたり砂鉄が多く産出する地域では，社会科で学んだ人類の歴史とともに，金属によるものづくりを取り入れることができる。そこで人類は自然から様々な素材を手に入れ，自然を加工してものを作り出すことで豊かな物質文明を築いてきたことを実感する。さらに，一方では金属を鉱石から製錬し，加工するためには多くのエネルギーを使い，地球規模で環境を破壊してきたことも考えることができる。

子どもたちが自然体験の中での出会いから課題を見つけ「調べる→まとめる→発表する」のサイクルを作りあげるように教師が支援する。

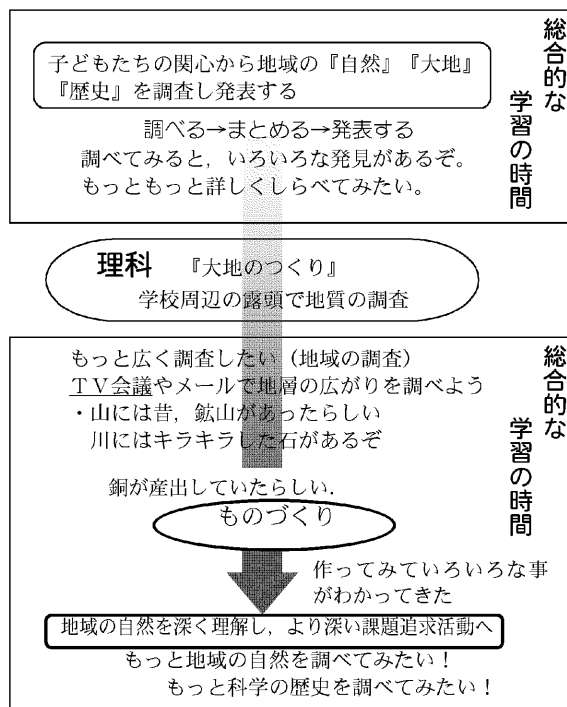


図23 理科と総合的な学習の時間の関連

さらに，子どもたちが発表の中で交流し新しい課題を見つけ，深めていけるように調査活動やものづくりを位置付ける。この授業展開を行うことで，子どもたちの課題意識がより深まり，子どもたちが地域へ飛び出し，大人と対話し，地域を変える力になる。さらに，学ぶ力を身につけ，学び続ける力が持続するようになる。

「ものづくり」をイベント的に考えるのではなく，子どもたちにもものづくりを通して何を学ばせるかを教師側が持つことで，子どもたちが自己の在り方や生き方まで考えることができる教材へと発展させることができる。

参考文献

- 1) 八島弘典 「総合的な学習の時間」で何を学ぶか pp28-29 道立理科教育センター研究紀要 第13号 2001
- 2) 中口裕 銅の考古学 pp15-82 雄山閣考古学選書 1972
- 3) 村上恭通 金属器製作の復元 ものづくりの考古学 pp231-257 東京美術 2002
- 4) 理科年表平成14年 p411 丸善 2002
- 5) 中口裕 銅の考古学 p142 p151 p260 雄山閣考古学選書 1972
- 6) 中口裕 銅の考古学 p20 雄山閣考古学選書 1972
- 7) 平田寛 図説科学・技術の歴史 p11 朝倉書店 1985
- 8) 藤瀬禎博 青銅器 p53-58 季刊考古学 第81号 雄山閣 2003
- 9) 八重樫 義孝 身のまわりの素材の活用法 pp64-65 北海道立理科教育センター研究紀要 第13号 2001
- 10) 村上恭通 金属器製作の復元 ものづくりの考古学 p232 東京美術 2002
- 11) 日本アルミニウム協会 <http://www.aluminum.or.jp>
- 12) 日本金属学会編 金属便覧改訂6版 p601 丸善 2000

(さかい ちひろ 地学研究室研究員)

境