

# 江戸からくりの学び 日本のものづくり力 上ノ巻 Produced by 学生編集委員

学生編集委員が、「江戸からくりの学び日本のものづくり力」と題して、日本固有のからくり技術に注目し、ものづくりの原点の素晴らしさを2回にわたりお届けしようと思います。上ノ巻では、江戸からくりの概要とからくり人形の技術を中心にお届けします。日本古来のものづくり力に学び、今後の読者皆様の研究力の糧にしていだければと思います。

## はじめに

「からくり」という言葉が使われたのは、江戸時代になってからと言われています。「機巧」と書いて「からくり」と読ませ、中国伝来の仕掛物という意味である「唐繰り」が語源であるといわれています。からくりの技術は西洋から機械時計が持ち込まれたことにより、自動化が始まったとされています。からくりは、人々を楽しませるためのからくり人形や万年時計などの日本独自の技術へと変化し発展を遂げ、確立されていきました。そこで本記事では、上ノ巻：からくり人形、下ノ巻：万年時計をとりあげ、そこにみられる技術を紹介いたします。日本のものづくりの原点を見つめなおし、今後の技術発展に生かす手掛かりとなれば幸いです。

## 機巧図彙<sup>1)</sup>

「機巧図彙（からくりずい）」は、細川頼直が寛政8年（1796年）に著した、からくりの構造・原理・製作法が詳細な図解によって記されている書物です。機巧図彙は、時計の部（首巻）と玩（もてあそ）び物の部（上・下巻）の2部構成（全3巻）です。首巻は4種類の時計について、上・下巻は9種類のからくりについて述べられています。機巧図彙は当初、上・下巻のみでしたが、からくりの話をするうえで、どうしても時計の話が必要となるため時計の部を後付けし、首巻としたそうです。

機巧図彙（上巻）のはじめに、「本書は、子供の玩具づくりと大差はないが、人によっては、起見生心の一助ともなるであろう」と当時の言葉で記述されています。これは、技術者としてたいへん重要な考えです。

18世紀末の日本は鋼鉄製のゼンマイすら作られていない時代であり、その時代に今回紹介する茶運び人形（図1）

などの自動制御精密機械が存在したことには驚かされることでしょう。もし、機巧図彙が出版されていなければ、からくり人形の復元は困難であったかもしれません。

## 江戸時代のからくり技術

江戸時代は戦争がなかったため、西洋とは異なり日常生活に密着した技術が発達していました。例えば人形浄瑠璃（文楽）や歌舞伎の舞台技術などです。また和時計などの技術も存在しておりました。その中でも江戸からくりを象徴するものの一つに茶運び人形があります。茶運び人形は、主人がお茶を入れた茶碗を乗せると、客人のところまで持っていき、客人がお茶を飲み終えると空の茶碗を再び主人のところまで戻っていくといった動作をします。現代人の手にかかれば、このようなメカニズムはモータを動力とし、センサやスイッチ、マイクロコンピュータなどを用いて複



図1 茶運び人形（ムービー）

雑なものになっていることでしょう。しかし、機巧図彙に記されている茶運び人形は鋼鉄製のゼンマイさえもなかった時代にすでに作られていたのです。これはさながら全体の動作をあらかじめプログラム化された自動制御のロボットです。お茶を運ぶという目的のみに着目すれば、人形がまるで自分の意思をもったかのように動いて見えることに面白さがあります。この他にも段返り人形など様々なからくり人形が発案されており、おもちゃではありますが、当時の社会状況や技術水準を知ることができます。<sup>2)3)</sup>

## 茶運び人形

茶運び人形の詳細な製作方法は、前述の機巧図彙(上巻)に記述されています。茶運び人形の動作については、

『人形の持つ居る茶台のうゑに茶わんをおけば 人形向ふへ行く 茶碗を取れば行き止る また茶わんをおけば あとへ見かへりて元の所へもどる也』とあります<sup>1)</sup>。つまり、人形が手にしている茶たぐに茶碗を乗せると、人形は客の方向へ向かって自動的に進んでいきます。客が手元に来た茶碗を取ると人形はその場に止まり、客が茶碗を茶たぐに戻すと、人形はくると回って向きを反転し、戻っていきます。茶運び人形は機巧図彙に詳細な記述があるにもかかわらず、未だその実物は発見されておらず、幻の人形とされています。現存する茶運び人形は、後人が機巧図彙を基に復元したもののみです<sup>4)</sup>。

今回、この茶運び人形の復元を手がけているからくり人形師の半屋春光さんに取材させていただきました。機巧図彙の記述は完全ではないため、半屋さんは独自に開発・工夫し、製作しています。茶運び人形の衣装を外した内側の機構部を図2に示します。茶運び人形は高さが約40cmで、衣装を除いたすべての部品が木製です。当時(江戸時代)の日本では製鉄技術が未発達であったため、動力部であるゼンマイは金属製のものではなく、クジラのヒゲを利用したものでした。このゼンマイは十分な動力を生み出すことができないため、人形の軽量化が不可欠であり、そのため木材が用いられています。茶運び人形は動力源となるゼンマイ、動力を伝える歯車と糸、構造材(枠部分)により構成されており、ねじなどを使用していないため、構成部品は約70点と少なくなっています(図3)。それにもかかわらず、そのメカニズムは非常によくできており、特に、足と首を動かす機構や向き反転の機構、ゼンマイのエネルギーをコントロールするガンギ車などはたいへん興味深いものとなっています。

茶運び人形の材料には木材が使用されています。木材を

用いる場合、金属を用いた際には生じない幾つかの問題が存在します。そのため、実際に木材を使用して製作される人形には様々な工夫がなされています。特に注目すべき部分は、歯車の製作技術です。木材は木目の方向によって強度が大きく異なるという特徴を有しているため、一枚の板で歯車を製作すると、図4(a)に示すように歯が欠けやすい箇所が必ず生じてしまいます。このため、六つの三角形(もしくは扇形)の板を組み合わせ、これを加工して一枚の歯車に仕上げます(図4(b))。これにより、歯は木目に対してほぼ垂直の力が作用するため、十分な強度を得ることができます。また、茶たぐを保持する手にも工夫がなされています。茶たぐを挟む部分には大きなせん断力が生じるため、一枚の木で製作すると、親指が割れやすくなってしまいます。その対策として、親指部分を一体構造にせず、部品を分けてピン止めすることにより、割れにくくしています。

上述のように、茶運び人形の最大の特徴はほとんどの部品が木材で製作されていることです。各部品はピン止めや、はめあわせにより結合されるため、組立・分解が容易であり、メンテナンス性に優れているという長所があります。また、糸や木材の摩擦部分は、10年動作させてもほとんど摩耗しないようです。しかし、復元した茶運び人形はメンテナンス性に優れている反面、湿度や温度といった環境にとっても敏感なため、木が暴れる(反ったり、割れたりする)ことが多々あり、製作や扱いが難しいそうです。半屋さんの体験の一例では、動かなくなった茶運び人形を数日置いたままにしておいたら、急に動くようになったことが度々



図2 茶運び人形の機構部

あったそうです。また、木材を使用する際は、組み合わせる木材の種類によって相性があるため、これを考慮しなければならないそうです。

### 🍵 動力源 (ゼンマイ) 🍵

茶運び人形の動力源であるゼンマイにはセミクジラのヒゲ(歯)が用いられています。クジラのヒゲは海水を吸い込んで吐き出したときに、食料となるプランクトンなどをこし取る役割を果たしており、500本程度あります。図5はゼンマイに用いられるセミクジラのヒゲの一部です。加工前は、竹のような硬さで、バネのような弾力はなく、無数の細かい毛からできています。このヒゲをカンナで均等の厚さに加工して形状を作り、湯の中で曲げることによって、ゼンマイを製作します。セミクジラ(背美鯨)は名前の由来にもなっているように、黒光りする美しい背中をしたクジラで、肉が美味しいために昔は頻繁に捕獲され、ヒゲは提燈(ちょうちん)の取手やコルセットの芯、競馬の鞭など様々な用途に使われていました。しかし、現在は絶滅の危機に瀕しているため、捕獲禁止となっており、新たにヒゲを入手することは非常に困難になっています。また、クジラのヒゲゼンマイよりも鋼鉄製のゼンマイの方が

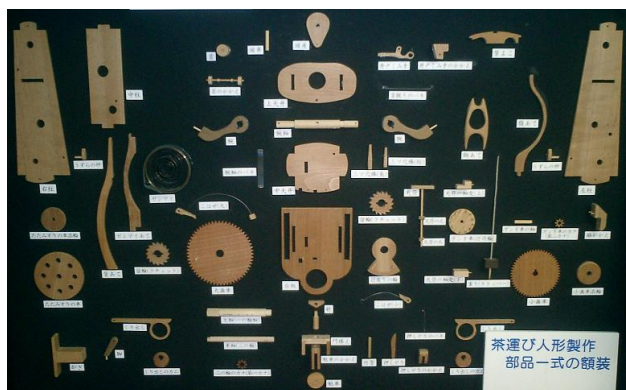


図3 茶運び人形の構成部品

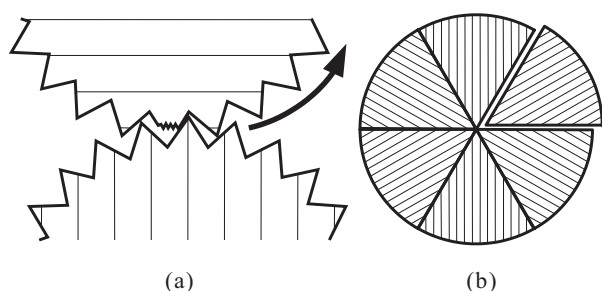


図4 歯車の構造

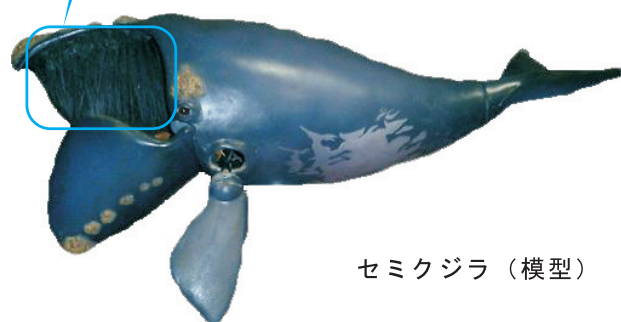


図5 セミクジラのヒゲ

性能が良いため、半屋さんが製作する茶運び人形には、特別な場合を除いては鋼鉄製のゼンマイを使用しています。

### 🍵 反転機構 (魁車の行戻) 🍵

茶運び人形の見所の一つに、客人が茶碗を茶たぐに戻した際、人形がぐるりと回って向きを反転する動きがあります。この動きをみると、反転するための機構が複雑であるように思えますが、非常にシンプルな機構となっています。この反転するための機構を図6に示します。上は側面図、下は上面図となっており、魁車(さきがけぐるま)と呼ばれる前輪が方向転換させるためのハンドル機能を含んでいます(三輪車の前輪と同様)。動力であるゼンマイが直接回す歯車には行戻(ゆきもどり)と呼ばれるカムが接着されており、(a)直進時は行戻が歯車と共に回り、(b)反転時は行戻がレバーに引っ掛かってハンドルを押すことで魁車の角度を変え、人形は方向転換をします。人形が半円を描いて回りきったところで行戻が外れ、レバーがバネによって元の位置に戻されるため、再び直進をはじめます。また、ゼンマイを巻き戻すと、行戻が決められた位置に戻る構造となっています。茶たぐは動力を止める働きをするため、あらかじめ反転する距離を計算しておきます。そして反転が始まる直前に客人が茶碗をとるように人形を駆動させることにより、あたかも人形が自分の意志で駆動するような動作を行います。

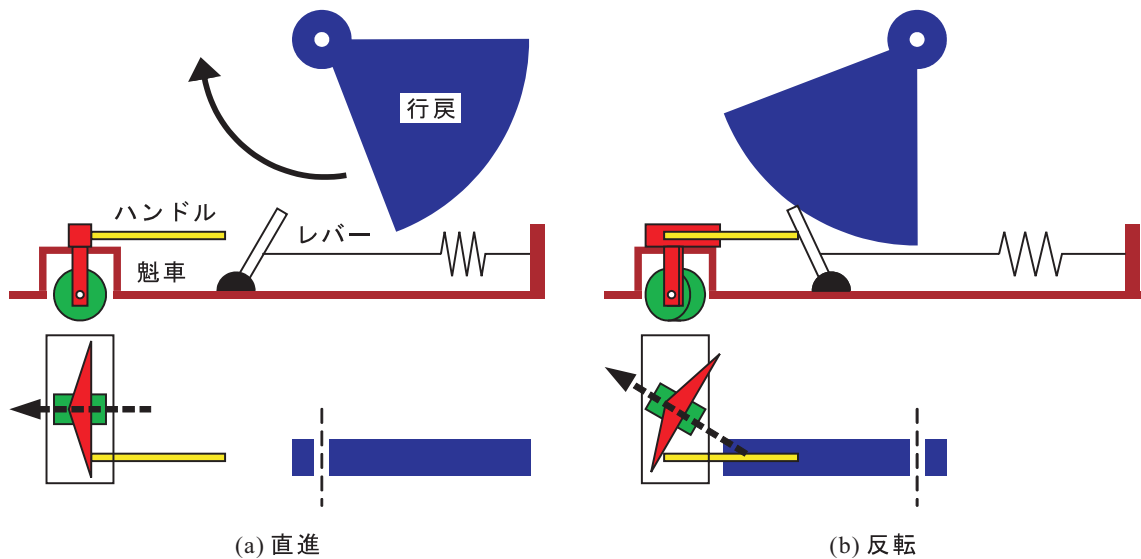


図6 反転機構（ムービー）

### 速度調節機構（ガンギ車）

先に述べたように、茶運び人形の動力はゼンマイです。当然ゼンマイに蓄えられたエネルギーを開放することによって駆動しますが、通常ゼンマイに蓄えられたエネルギーは瞬時に開放され、人形を長時間動かし続けることができません。そこで、エネルギー開放の速度を調節する必要があります。この速度調節機構の部分に機械時計の技術が応用されています。

図7は、茶運び人形で利用されている速度調節機構を大型化したモデル（半屋さん製作）です。このモデルでは、左側につるされたおもりAが左側の軸を回転させながら落ちていきます。右側が速度調節機で、裏側の歯車で左側の軸と連動しています。おもりは速度調節機を連動させないと瞬間的に落下してしまいます。しかし、速度調節機を連動させることでおもりAの落下速度が減少し、20秒の時間をかけて床に到達するようになります。この速度調節機はガンギ車と呼ばれる王冠型の歯車とその手前にある垂直な軸に付けられた上下の爪からなります。このガンギ車のポイントは、歯数が奇数であるということです。歯数が奇数であるため、上下の爪が交互にガンギ車にかみ合います。そのため垂直な軸が時計回り、反時計回りと交互に回転します。このとき、軸の上に取り付けられたおもりBの慣性モーメントによって、ガンギ車の回転速度が速いほど回転に対する抵抗が大きくなり、逆に速度が遅いと抵抗が小さくなるようになります。このため、回転速度がある程度一定に保たれるのです。また、軸の上のおもりBの慣性モーメントを変えることによって回転速度を変えるこ

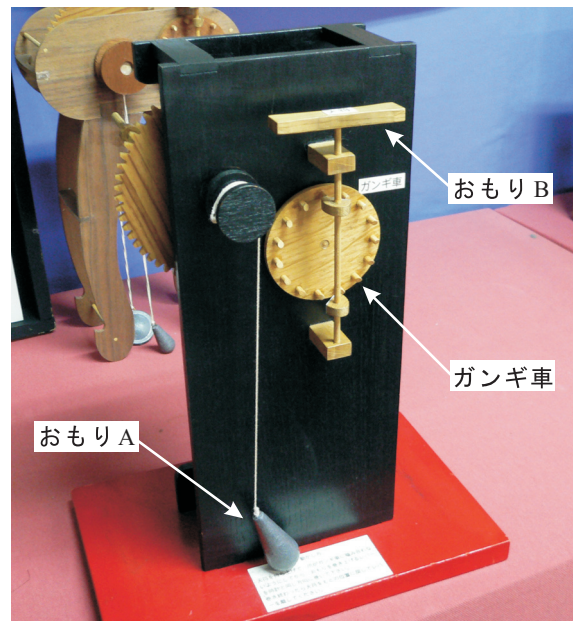


図7 茶運び人形に使用される調速機のモデル（ムービー）

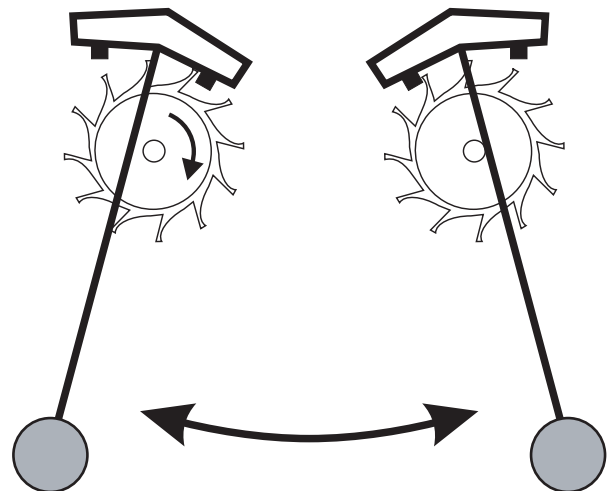


図8 振り子式調速機のイメージ

とができます。

これらの技術は機械時計を動かすために開発されたものです。機械時計に利用される速度調節機構には等時性が求められます。つまり、時計はより正確に一定速度で駆動する必要があるわけです。例えば、1657年にオランダ人によって発明された振り子時計では、図8のように振り子の等時性を利用して中心部のガンギ車を一定の速度で駆動させています。

しかし、茶運び人形の場合、ゼンマイのエネルギーをコントロールすることが重要であり、その速度は正確に一定である必要はありません。また、いかに簡単な構造にして、木造の人形にこの技術を取り入れるかといったところに工夫がなされています。その理由として江戸時代の日本では、時計が今日のように正確である必要がなかったと思われれます。そのため、時計の速度調節機構の技術を手に入れたとき、時計の精度を向上させることよりもむしろ、その構造を利用していかに面白く実用的なものを作り出すかが重要だったのではないかと考えられます。

### 段返り人形

段返り人形は、背面回転しながら階段を降りていくからくり人形です(図9)。この人形の趣向のあるところは、段を降りるときに、まるで生きているかのようにゆっくりと降りていくところです。そこで、人形の服の中をのぞいてみると、驚くことにゼンマイやばねといった動力源はありません。また、手足の連動運動のための糸のほかには、歯車なども見当たらないのです。

この段返り人形の機巧は図10(a)のようになります。段返り人形の本体は空洞になっており、中には水銀が約130g封入されています。この水銀が、段返り人形の動力となります。水銀を入れる空洞は、砂時計の容器のようになって



図9 段返り人形(ムービー)

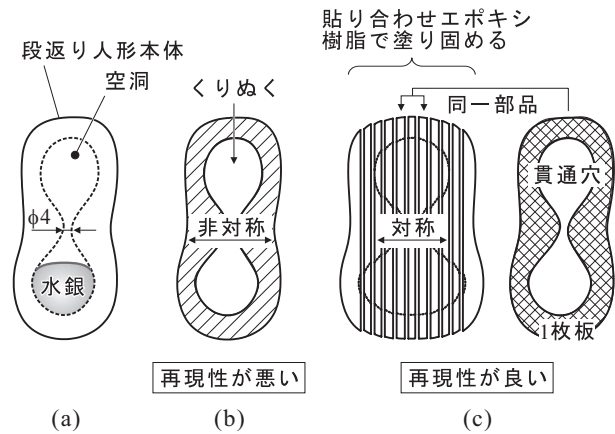


図10 段返り人形に見られる機巧

おり、真ん中には $\phi 4$ のオリフィスが設けられています。これにより、水銀の移動に伴う重心位置の変化を利用することで、ゆっくりと段を降りていくのです。段返り人形に似せたオートマタ(西洋のゼンマイ仕掛けのからくり)では、鉄球を使用しているため、このような動きはしません。ここにも半屋さんによる多くの工夫がみられます。水銀を入れる空洞部の加工は、図10(b)のようくりぬいて製作することを思いつきますが、NCのような高級な機械を使うわけではないので、手で加工するほかありません。立体的に加工すると、くりぬいた部分がどうしても非対称になってしまう、人形の動作に再現性がなくなってしまうのです。そこで半屋さんは図10(c)のように、ある空洞を短冊切りにした部品を貼り合わせるようにして製作する方法を考案しています。これにより、空洞の左右は対称となり、人形の動作にも再現性が生まれるのです。

また、材料には桐を使用しますが、桐は細かい穴だらけのため、水銀が漏れてしまう恐れがあります。そのためニカワを塗り保護することを機巧図彙では推奨しています。現在はエポキシ樹脂で代替しています。

### インタビュー

からくり人形師の半屋春光さんに、からくりに関するお話を聞かせていただきました。ここで紹介いたします。

Q. からくりに関わることになったきっかけは何ですか？

A. 以前からオートマタに興味がありました。オートマタの不思議な世界を見て、ぜひ自分も作ってみたいと思い、いろいろ資料を集めていたときに機巧図彙にめぐり合いました。その当時、からくり人形は江戸時代の途絶えた技術であり、また日本人の作家などはいなかったため、現存のものがいない状態でした。江戸時代の技術がどういうものなのかということに興味をもち、ぜひ復刻したいと思ったため、からくり人形の製作を

始めました。

- Q. からくり人形の製作は独学で行ってきたのですか？
- A. からくりの技術は半世紀ほど途絶えていたため、日本のからくりの研究は非常に立ち遅れていました。そのためいろいろな資料を参考に独学でやってきました。
- Q. からくり人形一体を製作するために費やす時間はどのくらいですか？
- A. 復元型は板から始めて3週間から1ヶ月くらいかかります。キット化されたものは20時間程度で製作できます。
- Q. からくり人形をつくる機械・道具はどのようなものを使用するのですか？
- A. からくり人形を量産するためには当然機械を使わなくてはできません。そのため、現在の作り方と江戸時代の作り方は異なっており、現在は木工機械を用いています。手などの整形にはフライス盤を使いますが、NC工作機械を使用するほどではありません。
- Q. オートマタと日本のからくりとの一番の違いは何ですか？
- A. オートマタは音楽を奏でながら人形が同期して動くため、オルゴールとの関係が深いと言えます。からくり人形の場合、日本の音源は複雑で難しい（三味線など）ためメロディーを奏でるものは少ないと思います。もちろん太鼓や笛を鳴らすのもあります。オートマタは音楽と合わせてパフォーマンスを見せ、からくり人形は見たときの感じる楽しさを重視しています。これより日本人と西洋人の感性の違いを知ることができます。
- Q. 今後のからくりについてどう思われますか？
- A. からくり人形が存在していた当時は歌舞伎や能などからくりが使われていました。本家であるからくりによる歌舞伎などをぜひ復活させたいと思っています。また、からくりという過去の技術をただ復刻しただけでは意味がないと思っています。もちろん江戸期の技術検証には有効ですが、現代にどのように継承され、生きて、未来にどう役立てるかを考えなければならぬと思っています。

## 🌀 おわりに 🌀

「江戸からくりで学ぶ日本のものづくり力」と題した上ノ巻の今回は、茶運び人形と段返り人形の2つを取り上げ、江戸からくりにおけるものづくりについて紹介しました。



図 11 半屋春光さんと編集委員

これらには、日本独自の素晴らしい技術が数多く盛り込まれていました。これらの技術は日本で生まれ、海外に旅立ち、また日本に戻ってくるという技術のキャッチボールが行われた結果であると思います。半屋さんは、からくり人形を復元させただけでなく、この技術をこれからの技術にどう生かすかということが重要であると強調されていました。このような考えこそが、日本のものづくり力の源となることでしょう。

さて、からくり人形にみられる技術は、和時計の技術と融合し、万年時計という形でさらなる発展を遂げています。「江戸からくりで学ぶ日本のものづくり力」下ノ巻では、時計に用いられているからくり技術を紹介していきます。

## 🌀 謝辞 🌀

最後になりましたが、今回取材にご協力いただいた、からくり人形工房スタジオぎえものからくり人形師 半屋春光さんに深く御礼申し上げます。また、からくりに関する貴重な情報、助言をいただきました高知県立歴史民俗資料館学芸員 野本亮さんに感謝の意を表します。

添付の CD-ROM に見学の際のからくり人形の様子を収めたムービーが収録されています。

## 参考文献

- 1) 田中瀧治 編：「機巧図彙」からくり半蔵研究同志会 (1995)
- 2) 石川英輔：「大江戸テクノロジー事情」講談社 (1995)
- 3) 高知県立歴史民俗資料館 編：「からくり 夢と科学の世界 細川半蔵とその時代」高知県立歴史民俗資料館 (1998)
- 4) 高梨生馬：「からくり人形の文化誌」学芸書林 (1990)

学生編集委員 (平成 17 年度)

相原広志 (東工大 M1), 秋元俊成 (東洋大 D1), 小谷浩之 (埼玉大 M2), 武内徹 (東大 B4), 鳥居俊彦 (首都大 M1), 長谷亜蘭 (職能開総合大 M2), 榎田諭 (横国大 M1), 真鍋慎一 (東京理大 M1)