

江戸からくりの白り(はく)に学ぶものづくり力

日本のものづくり

下ノ巻 Produced by 学生編集委員

学生編集委員が、「江戸からくりの白り(はく)に学ぶものづくり力」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ています。下ノ巻では、機械時計の伝来から始まった和時計の発達、そしてその最高峰に位置する万年時計についてお送りします。

🌀 はじめに 🌀

戦国時代後期に機械時計が伝来し、からくりの技術が生まれ、江戸時代末期に万年時計として昇華しました。

時計は時刻を示すという単純な機能が主であるにもかかわらず、数多くの部品が複雑に組み合わさって構成されているうえ、その動作に再現性や正確性、持久性などが求められます。そのため、優れた時計を作れるということは、その技術もまた優れているということの証明に他なりません。からくり技術は時計の進化と共に発達し、文明開化後の日本の科学技術の礎となりました。

🌀 時計の歴史 🌀

現代のような精密な観測技術が発達するはるか以前から、人類は様々な方法で時間や時刻を測定してきました。有史以来、時間や時刻を定めるということは人々が社会的な生活を送る上で必要不可欠なことでした。

世界で初めて発明された時計は、紀元前約 2000 年にバビロニアでつくられたと伝えられている日時計です。機械時計が発明されるまでの間、水時計や砂時計、燃焼時計など自然現象を利用した様々な時計が発明されましたが、特に日時計は世界各地で様々な形式のものが用いられました。そして紀元 1200 年代になると、重錘(じゅうすい)・棒テンプレ・冠形脱進機を要素に持つ機械時計が作られるようになりました。これらはヨーロッパの各国で寺院の塔時計や貴族の屋敷の室内時計として用いられました。1300 年代になってゼンマイが時計に利用され、時計の小型化が進み、携帯可能な時計が作られるようになりました。さらに 1583 年の振り子の等時性の発見や 1675 年のテンプレとヒゲゼンマイの発明によって時計の精度が飛躍的に向上し、それまで時計針しかなかった時計に分針がつけられるように

なりました。その後も様々な発明によって時計の精度や機能はどんどん進化していきました。

🌀 江戸時代の時計 🌀

はじめて日本に伝来した機械時計は、1550 年にフランシスコ・ザビエルによって山口の領主の大内義隆に献上された時計であるといわれています。現在日本に残っている最も古い時計は 1611 年にメキシコ総督のドン・ルイス・デ・ベラスコが徳川家康に贈ったスペイン製の時計で、目覚まし機能もついています。

その後日本国内でも、津田助左衛門をはじめとする多くの時計師たちによって時計が作られるようになりました。当時の大名たちはおおかえの時計師たちに自分の趣味を反映させた時計を作らせ、美術工芸品としても楽しみました。このように時計に機能だけでなくデザインの美しさも求めるといった風潮は現在の高級腕時計などにも見受けられます。

また、これらの時計は実用性を重視した不定時法という



図1 万年時計の概観 (左:オリジナル, 右:複製)

表1 時計の歴史¹⁾

西暦	B.C.20世紀	A.D.4世紀	13世紀	14世紀
世界の時計	日時計	水時計	燃焼時計	砂時計
			重錘時計	ゼンマイ時計
日本の時計		660 漏刻 (水時計)		1550 機械式時計伝来
		1087 水運儀象台 (水時計+天文台)		1851 万年自鳴鐘 (田中久重)

特殊な時刻表記に合わせて作られており、定時性を重視した西洋の時計に対して和時計といます。三代将軍徳川家光によって鎖国政策がとられ、その後約200年もの間、西洋諸国との交流がほとんどなくなってしまったため、和時計は独自の進化を続けていきました。そしてついに1851年（嘉永4年）に天才技術者、田中久重によって和時計の最高傑作である万年時計が作られました。

⚙️ 万年時計 ⚙️

からくり儀右衛門こと田中久重は、当時のヨーロッパにおける時計機構と我が国の持つ和時計製作技術を融合し、驚くような作品を生み出しました。それが万年時計です。万年時計とは田中久重が1851年に製作した「万年自鳴鐘」のことであり、6面の時表示部と、太陽と月の運行を示す天球儀が連動して時を刻みます。ゼンマイを一度巻くだけで1年近くの連続稼働ができるように作られたと言われています。

万年時計は、高さ約60cm（置台を含まず）、重さ約38kg、台幅約64.5cmの和時計です。「定時法」を用いた洋式時計と、当時日本で採用されていた昼夜をそれぞれ6等分する「不定時法」の時計を同時に表示します。さらに干支や七曜、二十四節気（1年の季節を24に分けたもの）、月の満ち欠けまでも同時に表示しています。これらの時の表示は六つの側面の円盤に示され、太陽と月の運行は天頂部の天球儀によって示されています。6面の時表示部は

- 第1面：和時計の割駒式回転文字盤と二十四節表示の固定文字盤
- 第2面：二十四節の月日記入用文字盤
- 第3面：七曜表示の文字盤
- 第4面：十干十二支を示す文字盤
- 第5面：月の満ち欠けと日付の文字盤
- 第6面：洋式時刻表示（フランス製/スイス製ともいわれる）

から成ります。天頂部にある天球儀には、正確な日本地図が描かれていて、その上に京都（東経136°，北緯35°）から見た太陽と月の動きが表示されます。太陽は季節に応

じて高度を変え、夏至で78.5°，春分・秋分で55°，冬至で31.5°となります²⁾。

この六つの時表示部と天球儀の連動システムは、洋式時計の運動を歯車とリンク機構によって、第2面を除くその他四つの時表示部と天球儀の運動を連動させることで実現しています。ここで使われている歯車はすべて手作りされていましたが、かなり精度の良いものでした。また、和時計の示す各時刻にその時刻に対応した回数 of 打鐘を行うこともできました。動力は下部木箱に納められた真鍮製の二重ゼンマイ2組（運針用・時打用）の計4個のゼンマイにより供給され、このゼンマイにより長時間の駆動を可能にしました。

また、久重の万年時計へのこだわりは構造や機能だけにとどまらず、外装部には七宝（しっぽう）や彫金をはじめとする伝統工芸が施されていました。つまり、万年時計には機構設計の技術、複雑な歯車製作の技能、伝統工芸といった江戸時代当時の最高水準の技術が集約されているのです。この万年時計は庶民に売り出されましたが、その当時の庶民にとってあまりにも高価だったため、1台も売れることはありませんでした。

久重の作った万年時計の技術は我が国のものづくりの獨創性を示す好事例とされ、その複製が2005年3月から開催されていた「愛・地球博」のグローバル・ハウスに展示されていました。万博への出展に向けて、時計を所有する東芝と保存する国立科学博物館が共同で企画した「万年時計復活プロジェクト」と文部科学省の「江戸のモノづく



図2 天球儀

り研究」が一体となってスタートしました。まず機械時計の技術者が 1300 もある万年時計の部品を計測、記録し、修理作業を行いました。しかし、部品の損傷が酷いため、オリジナルでの展示はあきらめ、東芝がその記録をもとに実際に動く万年時計の復元を行いました。昭和 20 年代に行われた分解修理調査で連続 225 日しか動かないとされた万年時計も、今回の複製では 365 日以上動くようになり、部分的に改善が図られました³⁾。

⚙️ 不定時法 ⚙️

和時計は江戸時代以前に一般に使われていた不定時法で表示されています。不定時法とは「不定時」とあるとおり『時間を刻む間隔が一定ではない』時刻法です。不定時法では、夜明けから日暮れの間を昼としてその間を 6 等分し、同様に日暮れから夜明けまでの夜の間も 6 等分して時刻を定めています。このため不定時法では、一刻（いっこく）の間隔が季節によって異なります。当時、一定時間で動く時計を不定時法に合わせるには 2 つの方法がありました。一つは文字盤の運転速度を一定にしたまま季節によって文字盤の目盛りを変える方法で、もう一つは表示を一定にしたまま季節によって分銅の位置を変えて運転速度そのものを変える方法です。両方とも手で季節によって調整する必要があったのに対し、久重の作った万年時計は自動調整して動く画期的な和時計でした。

⚙️ 和時計の機構 ⚙️

久重が作った和時計は自動割駒式和時計といわれており、時を表す 12 の小さな駒板をレール装置に配して、左右に移動して時刻の間隔を変更するというものです。図 3 に示す外側の文字盤が和時計で、文字盤全体が左回りに 1 日 1 回転し、上部に固定されている針の位置が時刻を示しています。また、文字盤の内側には二十四節気が刻まれており、中心にある針が示した位置で季節がわかるようになっています。この針は文字盤に対して左回りに 1 年 1 回転します。つまり、中央に固定された針で現在時刻（不定時法）と季節が分かります。時刻を表示する駒は春分・秋分

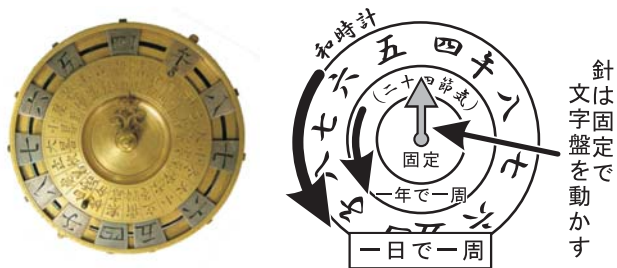


図 3 割駒式回転文字盤

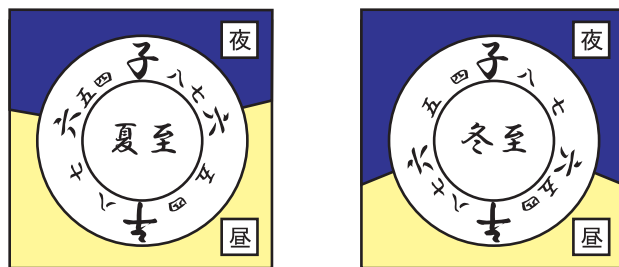


図 4 割駒式回転文字盤（左：夏至，右：冬至）



図 5 万年時計のゼンマイ装置

のときの位置を中心に 1 年で 1 往復します。夏至では昼の駒の間隔が広くなり、夜の駒の間隔が狭まることとなります。逆に冬至では昼の駒の間隔が狭まり、夜の駒の間隔が広がります。子（ね）の刻（夜九つ）と午の刻（昼九つ）の駒は文字盤に固定されていますが、他の 10 個の駒は、駒の背面にある溝に沿って移動します（図 4）。

⚙️ 駆動力 ⚙️

万年時計というように、久重は長時間動き続けるための駆動力の確保にこだわったと思われます。そのため、動力部であるゼンマイ装置はかなり大きいものとなりました（図 5）。ゼンマイは厚さ 1.9 mm、幅 65 mm、長さ約 3 m のものを用いており、それでも全てを駆動させるには力が足りなかったため、これと同じものをもう一つ曜日表示と時打ち用に設置しています。このようにならりのスペースを使ってしまったため、ゼンマイの力を一定にするための段車を円錐型にするなどの小型化の工夫を図っています。ゼンマイ一つのトルクは 24.5 N·m もありますが、四つを十分に巻いても 225 日しか駆動しません。そのうえ、万年時計のフレームが木できていてゼンマイのトルクに耐えられないため、実際には十分に巻くのではなく、約 90 日に 1 回少しずつゼンマイを巻いていたようです。作った後に補強された形跡が残っていますが、それでも到底耐えられるものではなかったようです。今回の複製では、同

じゼンマイという機構を使っていますが、1年間駆動させるため、構造及び素材には改良が施されています。

🔧 インタビュー 🔧

万年時計復元プロジェクトに携わった鈴木一義氏（国立科学博物館）と土屋榮夫氏（株式会社精工舎，セイコープレジジョン株式会社 OB）にお話を伺いました。

Q. なぜ復元のプロジェクトを始めたのですか？

A. 小さい頃から機械の分解が好きで、目の前にあるモノがどうなっているのか知りたかった。昔のモノを見て、皆は素晴らしいと言うけれど、何がどう素晴らしいのかを自分で調べてみようと思ったので調査、復元をしたんだ。

Q. 図面や設計図などはなかったのですか？

A. なかった。当時の職人たちは、図面などは描かず現場で構成を作っていたから。当時のものづくりというのは現代ほど理論が発達していなかったけれど、経験的にわかっていたからガタなどを合わせる事ができた。現在は私たちが復元の際に調査して作成した完全な図面があるよ。

Q. では、その図面をもとに大量生産も可能なのですか？

A. 何でも大量に作ればよいというものでもない。現代でも人が持っていないもの、付加価値の高いものに目を向ける傾向にあるじゃないか。たくさん作らないことに意味のあるものもある。田中久重は万年時計を商品として売るつもりもあったのだろうが、むしろ象徴的なモノとして万年時計を作ったのだと思う。

Q. 機構などはほぼ解明されたのですか？新たな発見はありましたか？

A. ほとんどわかった。それに昔のものだからそこまで予想外な部分もなかった。歯車もひとつひとつ違っているから、それも調べる予定。よくこんなものを作ろうとしたなという発想に驚いた。また、1年で完成されたというけれど、現代の技術をもってしても大変な作業だった。実際はどうだったのだろうか。

Q. 復元に関して苦労したところは？

A. 久重の設計通りに作ると動かないところ。特に、動力であるゼンマイの部分は当時の技術力では1年間の稼働は実現できなかったと思う。どんなに強いばねを使ってもフレームが木では強度が持たない。

Q. 復元品は1年動くのですか？どうやって完成させたのですか？

A. しっかりと1年動く。現代にはより良い機構や材料が

あるからそれを用いた。ただし、モータを使うなど当時の発想を超えるようなことをしてはいけない。あくまで、当時の発想、制約のなかで久重の作りたかった万年時計を完成させたんだ。技術は加工方法などの条件によって変わってくる。設計も目的によって変わる。つまり技術に答えは複数ある。久重は自分の持つ技術の中で最高のものを作った。そこには昔のもの、新しいものという考えはない。

Q. 万年時計を作った意義とは？

A. 自然のリズムを機械の中に閉じ込めようとした発想と機構を作り上げたという点にある。時計の技術自体は西洋から輸入されたものだけれど、それを日本の実生活に合わせた仕様に作り替えた。これは日本だけの、日本でしか作られなかったもの。普遍的なものよりローカルなものを作るという考え方は日本独自の技術を確立するという意味で現代にも表れている。独自のものづくりに回帰している流れの中でこの万年時計は非常に重要な意味を持つと思う。

🔧 おわりに 🔧

前編（18年1月号）と後編にわたって「江戸からくりで学ぶ 日本のものでづくり力」をお送りしましたが、いかがでしたか。日本の風土で独自に発達したからくりの技術を現代に甦らせた万年時計復元、そして現代に生きるからくり儀右衛門。どちらも江戸の技術を現代に伝え、未来に残していこうとする情熱が感じられます。こうした日本のものでづくり力を絶えず後世に残していきたいものです。

技術力は日々蓄積されて進化していくものですが、ものをつくる熱意はいつの時代も変わりません。独自の技術や自分たちでしか創れないものに誇りを持っていくことが、ものでづくり力を高めるために、これからも必要になるのではないのでしょうか。

末筆となりましたが、取材および写真提供にご協力くださった鈴木一義氏、土屋榮夫氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 本間誠二：「機械式時計【解体新書】歴史をひもとき機構を識る」大泉書店(2001)
- 2) 久保田裕二：「万年時計の機構解明」東芝レビュー、Vol. 60, No. 7 (2005)
- 3) TOSHIBA SPIRIT
<http://www.toshiba.co.jp/spirit/html/index.html>

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）