

和時計における不定時法自動表示機構

佐々木勝浩

国立科学博物館理工学研究部 〒169-0073 東京都新宿区百人町3-23-1

橋本毅彦

東京大学先端科学技術研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1

土屋榮夫

〒270-2261 千葉県松戸市常盤平2-16-4

近藤勝之

〒124-0014 東京都葛飾区東四つ木2-10-15

岡田和夫

〒523-0058 滋賀県近江八幡市加茂町961

The Mechanism of Automatic Display for the Temporal Hour in the Japanese Clocks

Katsuhiko SASAKI

Department of Science and Engineering, National Science Museum,
3-23-1 Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan

Takehiko HASHIMOTO

Research Center for Advanced Science and Technology, Tokyo University,
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, Japan

Hideo TSUCHIYA

2-16-4 Tokiwadaira, Matsudo, Chiba 270-2261, Japan

Katsuyuki KONDO

2-10-15 Higashi-yotsugi, Katsushika-ku, Tokyo 124-0014, Japan

Kazuo OKADA

961 Kamo-cho, Omihachiman, Shiga 523-0058, Japan

Abstract In 2003, HASHIMOTO and TSUHIYA noticed a movement of Japanese clock in the survey on scientific historical materials at TAKEKAWA house in Matsuzaka city, Mie. In the investigation into this Japanese clock, it was understood that it is a lantern clock with the quite rare, automatic display for temporal hour as Japanese clocks. The myriad-year-clock, made by Hisashige TANAKA in 1851 who was called “Karakuri Giemon”, has also the automatic display for temporal hour. Meanwhile, SASAKI had investigated into such Japanese clocks and gathered informations about automatic display for many years. The trial for such kind of automatic displays for them started in the late Edo period. And the improvements of the accuracy for time keeping and of the operability of them are very interesting for us because they show the characteristics of the technical development in them. We have investigated into 9 cases in 4 kinds of automatic display mechanisms and calculated the numbers of days for annual motion in gear trains. As the result, it has been revealed that the tooth number 73 of the annual gear was very convenient and important to fix the numbers of days for annual motion of their mechanisms.

Key words: automatic display mechanism, temporal hour, Japanese clocks

1. 始めに

和時計は、主に江戸時代に日本で日本の時計師によって製作された機械時計を指す。その特徴は、二挺天符や割駒式文字盤など日本特有の不定時法に対応する機構を持つことであるが、最近江戸末期の和時計の中に完全に自動化された不定時法表示機構を持つものの存在が明らかになってきた。それらは自動化された割駒式文字盤を持つものと自動伸縮する指針と円グラフ式文字盤を持つものに大別できる。分解調査や、写真、図版によって、いくつかの和時計について不定時法自動化機構の概略を知ることができた。機構の特徴や歯車構成、算定した年周動作などの情報は、和時計製作技術の発達の一つの段階を示しており大変興味深い。それらの情報を比較し、それによって明らかになった機構的特徴について報告する。

2. 経緯

2003年に著者橋本と土屋は、2001年度から開始した文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「江戸のモノづくり」の調査研究作業の一環として行われた三重県松本市竹川家資料の調査において、一台の振り子式、割駒式文字盤の掛時計を確認した。当掛時計の発見は、竹川家資料調査を計画した国立科学博物館理工学研究部主任研究官鈴木一義氏によるところが大きい。竹川家及び国立科学博物館において行われた分解調査によって、この割駒式文字盤が手動でなく一年を通じて完全に自動化されたものであることが判った。以降、

この型の文字盤を自動割駒式文字盤と呼ぶことにする。なお、竹川家の自動割駒式文字盤の掛時計機械は、2003年夏に国立科学博物館で開催された特別展「江戸大博覧会」に出品された。

1985年頃、著者佐々木は、当時鎌倉在住の故C・H・ハワード氏¹⁾から数葉の写真の提供を受けた。この写真は、割駒式文字盤の分解の過程と部品を示す写真で、ハワード氏の説明によって、それが米国イリノイ州ロックフォード市の時計博物館にある自動割駒式文字盤を持つ和時計（当時、全体の写真がなく和時計の種類などは不明）の文字盤であることが判った。さらにハワード氏は、古いスイス時計学会誌²⁾に掲載の自動割駒式文字盤の枕時計について言及した。これについては2004年に著者土屋によっても指摘された。図版から、この枕時計の自動割駒式文字盤の機構は、細かい点の相違は認められるが、基本的には竹川家及びロックフォードのものと同じ構造であることが判明した。

自動割駒式文字盤を持つ和時計としては、従来、万年時計が知られている。万年時計については、2004年度に実施された万年時計復元・複製プロジェクトにおいて、橋本、土屋等によって詳細な分解調査が実施された³⁾。詳細な内容の報告は今後の作業を待つ必要があるが、ここでは1969年の分解調査の際に画かれたスケッチを利用して、機構の比較調査を行った。その結果、万年時計の自動割駒式文字盤の機構は、竹川家、ロックフォード、スイス時計学会誌の三例とは基本的に異なる機構であることが判明した。

一方、2003年に佐々木は、著者近藤が所蔵する

円グラフ式文字盤掛時計⁴⁾を調査する機会を得た。この型の文字盤をもつ和時計は、近藤所蔵の掛時計以外に、セイコー時計資料館の二例⁵⁾、モーデー著「Japanese Clocks」掲載の一例⁶⁾、さらにターデイ著「French Clocks」掲載の一例⁷⁾などが知られている。近藤、佐々木による分解調査の結果、指針は年周動作を起こさせるカムによって伸縮動作を実現し、指針の先端が円グラフ状の各季節の時刻目盛りを指すようになっていることが判った。2005年春にはセイコー時計資料館の二台についても、同館のご好意によって佐々木、近藤による分解調査が実現した。

さらに、2004年秋に著者岡田が自動割駒式文字盤の和時計を入手し、これについて2005年10月に、佐々木、土屋が分解調査を行った。分解によって、この時計がロックフォードのものと同様の自動割駒式文字盤を持つ八角型卓上時計であることが判った。また、年周歯車部分については完全に分解するには至らなかった。未分解部分について、東京文化財研究所の協力を得てX線撮影を行った結果、年周歯車の歯数は73であることが判明した。

以下、調査した時計の概要、不定時法自動化機構、判明した年周動作の算定について詳述する。

3. 時計機械の概要および不定時法表示機構

1) 竹川家の掛時計の自動割駒式文字盤

(1) 時計機械の概要

この和時計は、松崎市竹川家資料に含まれていた真鍮製、振り子式、時打ちの掛時計（掛時計台付き）で、自動化された割駒式文字盤を備えている。

時計の正面は銅製の側板に割駒式文字盤が取り付けられ、広めの天板の上に鐘の支柱が立っている（写真1）。側板には毛彫りなどの装飾はなく一見大変簡素な作りである。残念ながら指針と鐘は失われている。鐘の支柱は角柱ではなく、枕時計のような轆轤引きによるものと思われるが、支柱としては太い作りで若干異様に見える。時計機械の特徴は、時方三番歯車の冠形歯車によって雁木車を上向き変え、振り子の採用を可能にしていること、文字盤は一番歯車のカナ歯車によって直接駆動するようになっていること⁸⁾、時打ち起動は文字盤上の割駒の背面に突き出た24本のピンによって行われていること、などである（写真



写真1. 三重県竹川家の自動割駒式文字盤掛時計機械

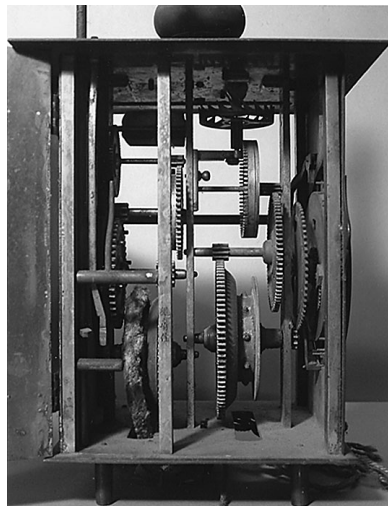


写真2. 時計機械内部（右時方、左打方）

2). 歯車の保存状態は埃や緑青などの汚れが目立つが、手を付けた形跡がなく、ほぼ当時のままの状態が保たれているように見える。

左側扉内側の中柱の側面に「紀府住 岩野忠之作」の銘があることが確認される（写真3）。なお、同銘の尺時計（円天符割駒式時打尺時計、高さ54cm）がセイコー時計資料館に收藏されているが⁹⁾、これらの銘から忠之の活動場所が紀州和



写真3. 正面左扉を開けると、中柱前面と側面に「紀府住 岩野忠之作」の銘がある。

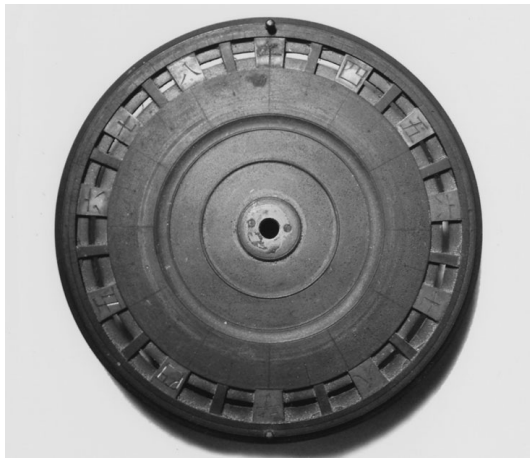


写真4. 割駒式文字盤

歌山であることが判る。竹川家が現存する松坂市も江戸時代には紀州藩領であったので、忠之の作品が松坂の旧家に伝えられたと考えられる。時計機械の材料に真鍮が使われていること、忠之が尺時計を残していることなどから見て、この檜時計が江戸末期の1800年代前半に製作されたと推定される。

(2) 不定時法表示機構

時計機械本体から取り外した割駒式文字盤¹⁰⁾(写真4)を観察すると、その裏側に自動化機構が小さくまとめられている(写真5)。文字盤裏側の駆動歯車を取り外すと、a, b, c, d 四個の歯車輪列と中央の軸から伸びる腕lがあり(図1, 写真6)、さらにこれらの輪列を載せた円盤の下に二十四節氣を刻んだ歯車eがある(写真7)。歯車eの裏側

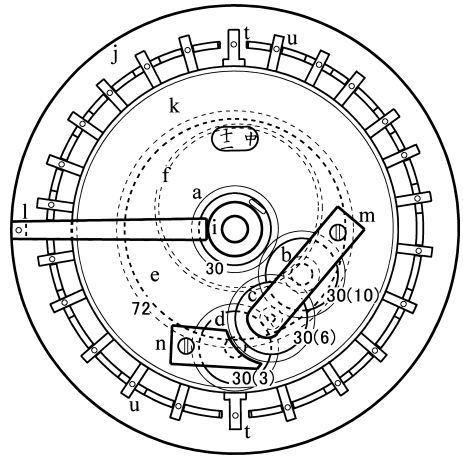


図1. 自動割駒駆動機構と輪列

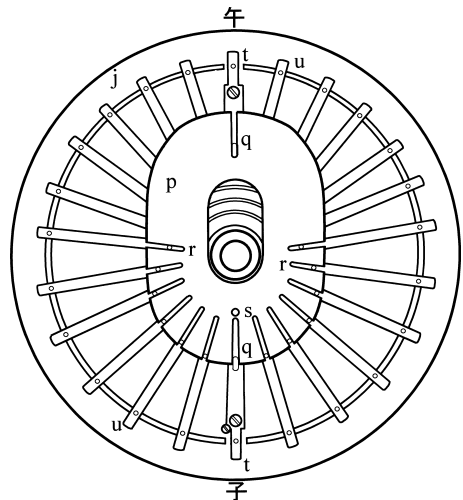


図2. 竹川家檜時計の割駒駆動切り込み楕円板と割駒駆動腕

に偏心した円形の溝があり、これがカム役割を果たしていることが判る(写真10)。歯車eは二十四節氣が刻まれていることから、一年に一回転、即ち年周動作をすると判断される。ここで、歯車eを年周歯車、カムを年周カムと呼ぶことにする。

年周歯車を取り除くと、14本の切り込みを持つ楕円板と、各割駒に直結したスポーク状の24本の腕が見える(図2, 写真8)。ここで切り込み楕円板を割駒駆動楕円板、スポーク状の腕は割駒駆動腕(子と午の二本は固定)と呼ぶことにする。文字盤板裏には、五重の同心円状の溝があり、これに円弧形的の金属片がはめ込まれ、これに割駒駆動



写真5. 文字盤の駆動（日周運動）機構部



写真8. 割駒駆動切り込み楕円板と割駒駆動腕



写真6. 機構駆動腕と歯車輪列



写真9. 割駒駆動腕（明六つ暮六つの前後の割駒が組で動く）

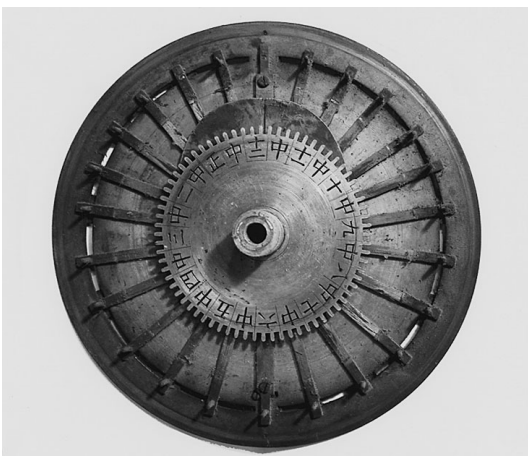


写真7. スポーク状割駒駆動腕と年周歯車

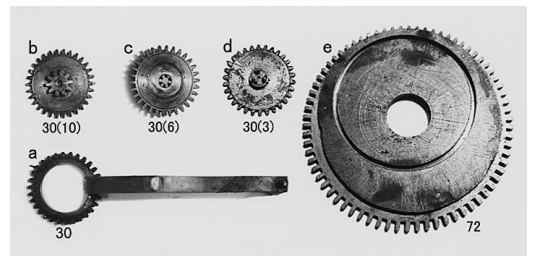


写真10. 輪列を構成する歯車．大きい歯車は年周歯車（年周カムの溝が見える）

腕が二本ずつ固定されて二本一組で駆動する（写真9）．明六つ暮六つの割駒駆動腕は独立に駆動する．なお、当掛時計の写真は橋本が撮影した．

(3) 自動割駒駆動機構の分析

自動割駒駆動機構の動きを確かめるため、写真(写真10)から各歯車の歯数を読み取った。その結果、文字盤駆動用の歯車の歯数は60、歯車輪列a, b, c, dの歯数はそれぞれ30, 30(10), 30(6), 30(3)、年周歯車の歯数は72であった。ただし括弧内はカナ歯車の歯数を示した。

写真から推定できる作動状況は次の通りである。腕1は正面側板の円形穴の切り込みに先端が掛かって方向が固定されるので、文字盤が回転すると相対的に文字盤に対して回転する。それによって歯車aが回転し、輪列を介して年周歯車eが回転する。腕1は文字盤に対しては一日当たり一回転するので、年周カムの一回転に要する文字盤の回転数すなわち年周動作(一年の算定日数)は次のように計算できる。

$$\frac{30}{10} \times \frac{30}{6} \times \frac{72}{3} = 360 \text{ (日)}$$

なおこの日数は、一太陽年の365.2422日より5.2422日少なく、結果としてこの檜時計は一年が360日として算定され輪列構成が設計されていたことを示している。

2) ロックフォード旧時計博物館の八角型卓上時計の自動割駒式文字盤

(1) 時計の概要

この和時計は、米国イリノイ州ロックフォード市にあった時計博物館¹¹⁾(1999年閉館)に収蔵され展示されていた十数点の和時計コレクションの中の一点で、自動化された割駒式文字盤を備えている特殊な和時計である。これについては、著者佐々木が1985年頃に同博物館の修復を担当していたハワード氏から情報とともに提供を受けた数葉の名刺判の写真によって明らかとなった。

当初、この和時計の種類、外観、大きさ、重さなどの特徴、機構の詳細などを知ることはできなかった。しかし最近、著者岡田が入手したサザビーズのオークションカタログに鮮明な写真が掲載されており、初めてその外観を知ることができた。それによれば、この和時計は高さ6.2cm、ゼンマイ駆動、時打ち、割駒式文字盤の八角型の卓上時計で、上面の文字盤で時刻を読むようになっている(写真11)。この八角型卓上時計は、2002年秋のサザビーズのオークション¹²⁾にかけられ、落札されて現在所在不明であったが、岡田は現所蔵者との連絡に成功し、送付された写真から「三宅正利作」の銘を確認した。



写真11. ロックフォード旧時計博物館の八角型卓上時計。サザビーズジャパンの goodwill による。



写真12. 八角型卓上時計の自動割駒式文字盤

(2) 不定時法表示機構

写真から、この文字盤が自動化された割駒式文字盤であることは疑いがない(写真12, 13)。文字盤の裏側からの写真では文字盤を回転させる駆動歯車と、割駒駆動機構の歯車輪列の状況が判る。しかし、この歯車輪列は文字盤駆動歯車によって一部が覆われ、全体を見ることはできない。さらに、歯車輪列のブロックを取り除いた写真上に、切り込みのある割駒駆動橋板と割駒駆動腕を認

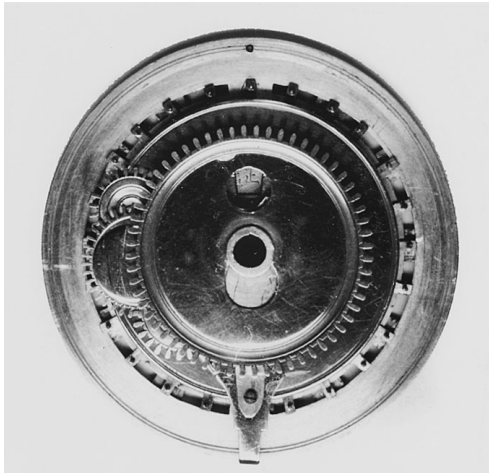


写真13. 自動割駒駆動機構の歯車輪列と駆動腕

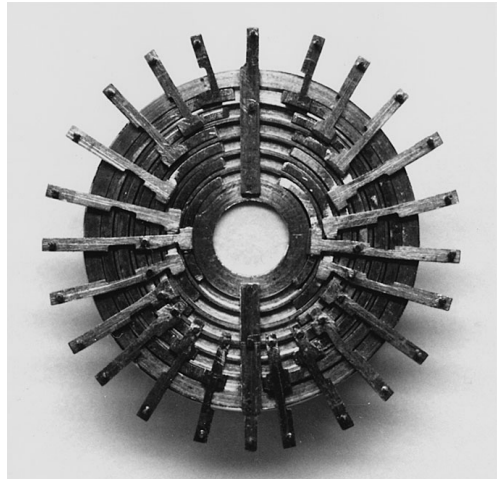


写真15. スポーク状割駒駆動腕

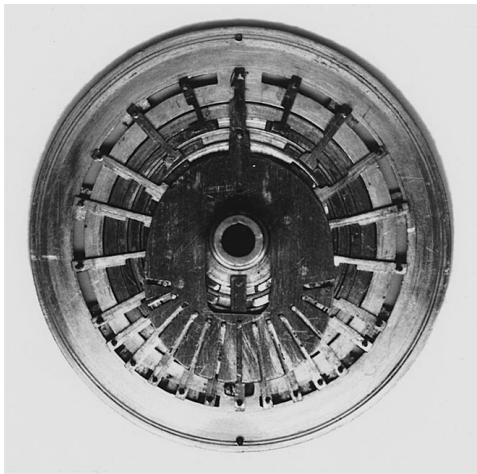


写真14. 割駒駆動腕と割駒駆動切り込み楕円板

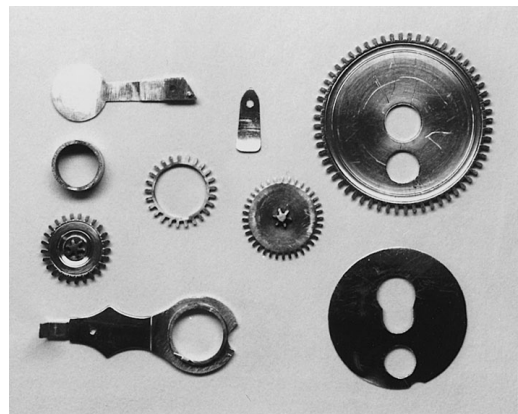


写真16. 輪列を構成する歯車

めることができ、この機構が三重県竹川家の自動割駒式文字盤に酷似する機構であることが判る(写真14, 15)。

(3) 自動割駒駆動機構の分析

部品の全体写真(写真16)と年周歯車を納めたケースの写真(写真17)から、輪列を構成する四個の歯車の内、a, b, cの歯数を知ることができる。しかし、年周歯車eとその駆動に関わる歯車dの歯数とカナ歯車の歯数が不明である(図3)。

歯車dについては一部が写真に写っているものがあり(写真13, 17)、隠れている部分へ外挿して

歯数を推定した。その結果、歯数25を得たが、カナ歯車と年周歯車eについては、完全に機構の中に隠れていたため、推定はできなかった。なおこの推定には、ジャストシステム社の図形描画ソフト「花子」の円周分割機能を使った(写真18)。

未確定のカナ歯車の歯数 n 、年周歯車の歯数 m を未知数として、年周動作の式を次式に示す。

$$\frac{36}{6} \times \frac{25}{6} \times \frac{m}{n} = l \quad (\text{日})$$

ここで、年周歯車eの歯数 m は一年の日数 l を決定する歯数で、竹川家の例によれば72である。これに依って m に72を代入すれば、カナ歯車の歯数 n は必然的に5に、一年の算定日数 l は360日に定まる。

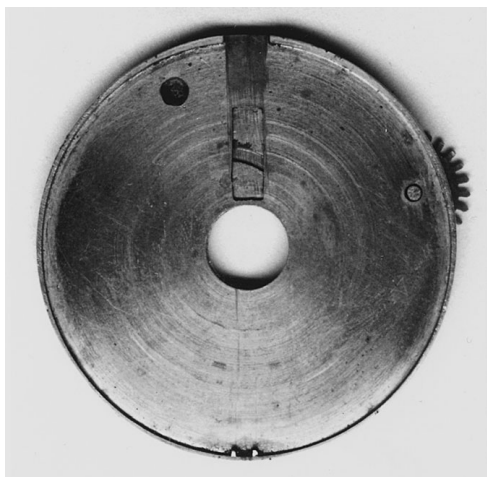


写真17. 年周歯車を納めたケース。年周カムの一部が覗いている

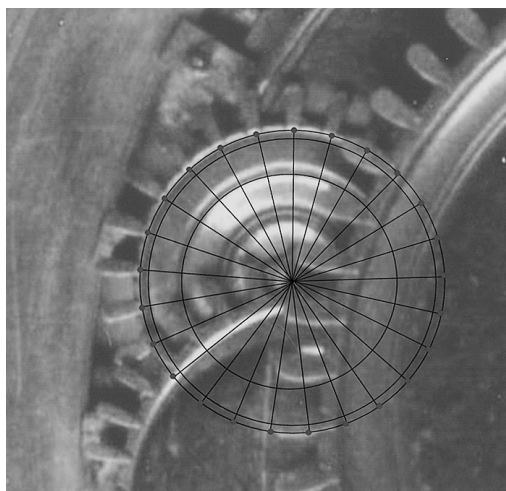


写真18. 歯車の見えている部分を外挿し、隠れている部分を推定する

3) スイス時計学会誌掲載の円天符枕時計の自動割駒式文字盤

(1) 時計の概要

この和時計は、调速機にヒゲゼンマイ付き円天符を用い、十干十二支日付大小月の暦表示、目覚し付き、ゼンマイ駆動の枕時計機械で、1886–1887年発行のスイス時計学会誌 (Journal Suisse d'Horlogerie) 第11巻に報告されたものである¹³⁾。これには精密な一葉の図版が添附され(図3)、その縮尺から計算するとこの時計機械の高さは約11.4cmである。また、天符は水平でなく、時計前

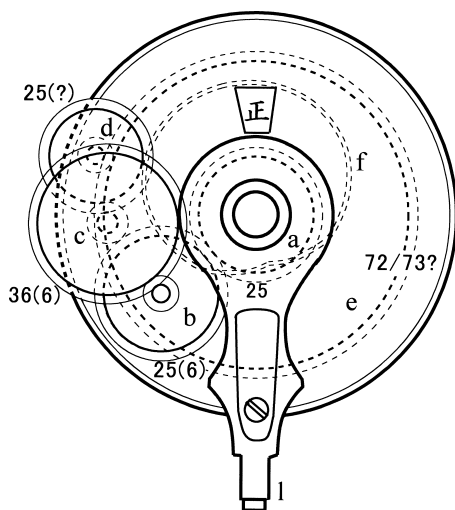


図3. ロックフォード旧時計博物館の和時計の自動割駒駆動機構と輪列

面上部に縦に取り付けられ、天符の中心付近から覗いている半円周の歯車からホイヘンスの半回転型冠形脱進機¹⁴⁾であることが想像される。

この報告が1886年のことであり実物の存在の確認は絶望と思われたが、ごく最近、静岡大学機械工学科教授長谷隆氏によって、インターネットのオークション・サイト「アンティコルム」に、2003年12月4日開催のオークション分として掲載されていることが指摘され、この和時計が現存することが判明した¹⁵⁾(写真19)。

(2) 不定時法表示機構

図版から、文字盤が割駒式文字盤であることは明白である。図版には、文字盤の機構に関する図(図4中のfig. 2~4)が描かれ、それによってこの枕時計が、竹川家及びロックフォードと同様の割駒駆動機構を備えた自動割駒式文字盤であることが判る。

(3) 自動割駒駆動機構の分析

割駒式駆動機構の歯車輪列と年周歯車の状況を図5に示す。輪列を構成するa, b, c, d 四個の歯車の内、歯車aの歯数が30であることを確認するのは容易である。しかし、歯車b, c, dについては、そのままでは歯数を知ることができない。そこで前項と同様に、歯車の見えている部分を外挿して歯数を推定した結果、歯車b, c, dの歯数はそれぞれ30, 32, 30であることが判った。しかし、それぞれのカナ歯車は、図に現れていないので推定ができなかった。なお年周歯車eの歯数は73であった

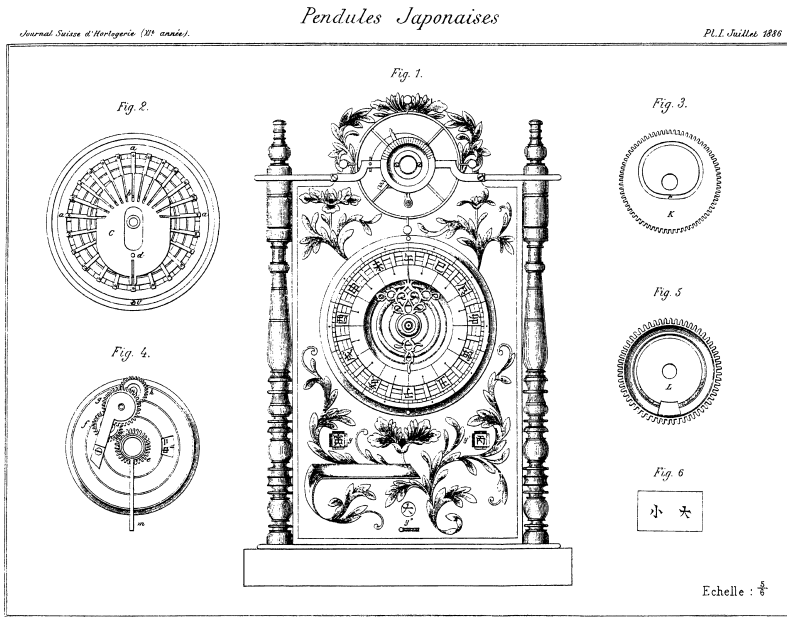


図4. 1886年のスイス時計学会誌掲載の自動割駒式文字盤枕時計の図版



写真19. アンティコルムに掲載の自動割駒式文字盤枕時計機械．アンティコルム代表 Osvaldo PATRIZZI 氏のご好意による．

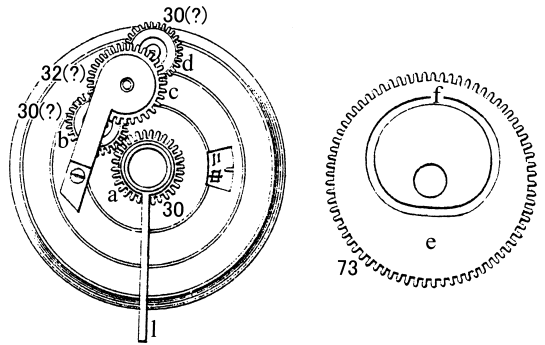


図5. 自動割駒駆動機構と輪列

(図5). 竹川家の例に従えば, 本例は歯数73は一年を365日と算定することになり, 大変都合が良い.

歯数 b, c, d のカナ歯車それぞれの歯数を未知数 o, p, q として, 年周動作の式を次式に示す.

$$\frac{32}{o} \times \frac{30}{p} \times \frac{73}{q} = 365 \text{ (日)}$$

既出の二例の計算式から駆動に関わる三つのカナ歯車の歯数 o, p, q を掛けた数値は192である. 歯数は自然数であることから, 求める歯数は192の因数の組み合わせとして考えることができる. これによって, 歯数 b, c, d のカナ歯車の歯数 o, p, q は, 8, 8, 3か6, 8, 4の組み合わせと推定できる. なおこの枕時計の文字盤は, 一年を365日として算定され, この値は一太陽年には0.2422日少ないだけである.



写真20. 嘉永四年（1851年）田中久重作，万年時計

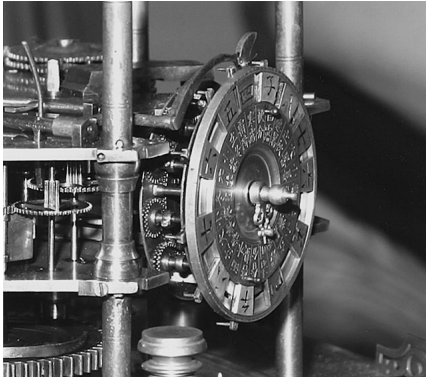


写真21. 万年時計の自動割駒式文字盤

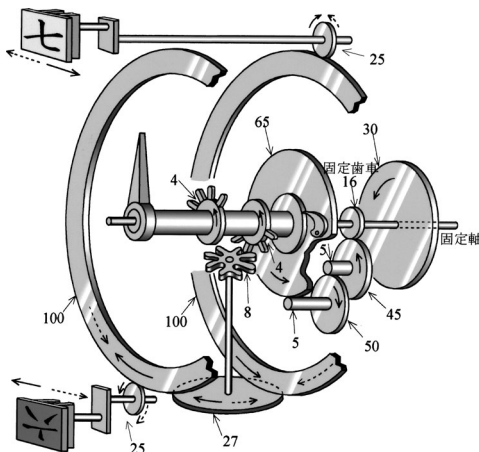


図6. 万年時計の自動割駒式文字盤駆動機構

4) 万年時計の自動割駒式文字盤

(1) 時計の概要

万年時計は、からくり儀右衛門として知られ、株式会社東芝の創設者の一人として知られる田中久重が、嘉永四年（1851年）に約一年の歳月をかけて完成した天文カレンダー時計である。六面には、不定時法時刻、二十四節気、七曜、十干十二支、月齢表示、西洋時刻などの文字盤を配置し、頭部には月と太陽の動きや出没を示す天象儀を備えている（写真20）。なお、万年時計の不定時法時刻文字盤は自動割駒式文字盤であることが知られている。

2004年度に行われた万年時計復元・複製プロジェクトは、現在進行中の特定領域研究「江戸のモノづくり」の一環として行われたもので、部品一点一点に至るまで詳細な計測が行われ、約一年の期間をかけて、復元・複製作業が実施された。分解調査によって、万年時計の機構が複雑かつ多機能にであることが再確認され、万年時計全体の表示システムをほとんど独自に設計し製作した久重の能力が改めて認識された（写真21）。

(2) 自動化された不定時法表示機構

万年時計の自動割駒式文字盤の駆動機構について復元・複製プロジェクトでは精密かつ詳細な調査が行われ各部の計測が行われたが、本報告においては1969年の分解において描かれた全体機構のスケッチを利用した。それによれば、万年時計の自動割駒式文字盤の駆動機構は、前出の三例とは著しく異なるものであることが判る。鉛筆書きのスケッチから書き起こした自動割駒式文字盤機構の概略を図6に示す。

文字盤の中心を固定軸が貫いており、割駒を駆動する歯車機構を載せた文字盤のブロックがその周りを回転している。歯数30の駆動歯車によって文字盤が一日一回転すると、固定軸上の歯数16の固定歯車によって割駒駆動機構が作動する。歯車輪列を介し結果として歯数65の年周歯車が一年に一回転し、その軸に互い違いに取り付けられの二個の歯数4の片歯車と、歯数8の変形歯車（通称虫歯車）を介して年周動作を往復運動に換え、歯数27、歯数100の二歯車を介し、歯数25の小歯車を通じ、それに取り付けられたクランク機構によって割駒の往復運動を果たしている。

(3) 年周動作の算定

割駒駆動機構の輪列を構成する歯車は、歯数16の固定歯車に歯数45（5）、歯数50（5）（括弧内はカ



写真22. 近藤蔵, 円グラフ式文字盤自動伸縮
指針掛時計

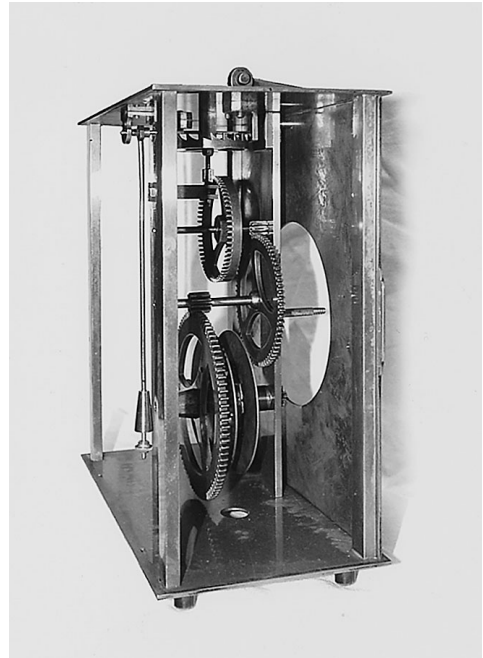


写真24. 時計機械の内部, 時打ち機構はなく
大変すっきりしている, 背面(左側)に振
り子が見える

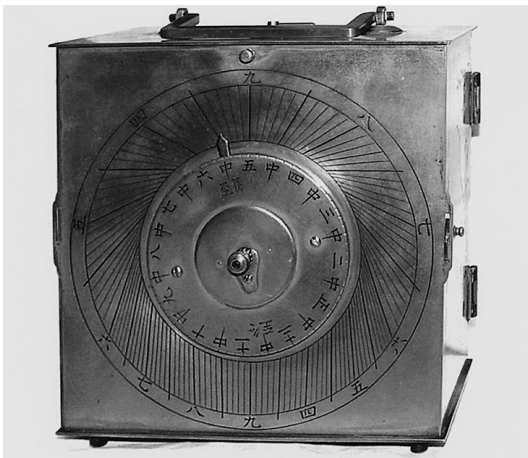


写真23. 円グラフ式文字盤自動伸縮指針掛時
計機械

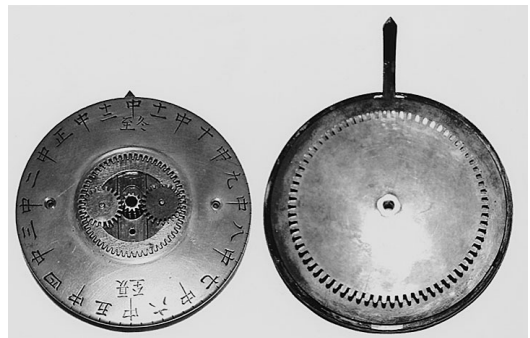


写真25. 伸縮機構. a: 二十四節気円盤と輪列,
b: 裏側の72(固定), 73(可動)の差動歯
車

ナ歯車歯数)の二歯車が順次連結し, さらに歯数
65の歯車に連結している. 歯数65の歯車は状況
から一年に一回転し, 前出三例の年周歯車に相当
すると考えられる. これによって, 万年時計の年
周動作の算定を行うことができる. 三例に倣って
年周動作の算定式を次式に示す.

$$\frac{45}{16} \times \frac{50}{5} \times \frac{65}{5} = 365.625 \text{ (日)}$$

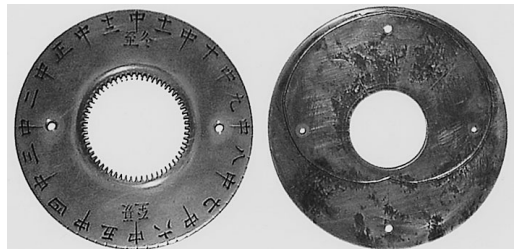


写真26. a: 二十四節気円盤と内歯車, b: 年周
カム

結果から判るように、一年の算定日数 365.625 は、一太陽年より僅か 0.3828 日多いだけである。このことは、万年時計が全く異なる歯車構成で一太陽年の年周動作を近似的に達成していることを示している。

5) 天保五年在政作掛時計の円グラフ式文字盤及び自動伸縮指針

(1) 時計の概要

この和時計は、著者近藤が所蔵する真鍮製、振り子式、円グラフ式文字盤掛時計である（写真 22）。調査によって、この時計が円グラフ状に描いた不定時法時刻目盛りを指針が季節で自動伸縮しながら示す大変特異な機構を持つことが解った（写真 23）。なお時計背面に、時計の解説と「天保五年（1834 年）在政作」の銘があることが確認された¹⁶⁾。

時計正面、文字盤中央に一日一回転する円盤があり、これに指針が取り付けられている。この指針が伸び縮みし、季節に対応する目盛りの位置を指し示す。目盛りの最も内側が冬至であり、最も外側が夏至である。

時計機械は、正面から見て正方形で、時打ちの鐘はなく、時打ち機構は備えられていない。時計は時打ち機構を備えているのが通例であり、和時計としても尺時計を除き殆どの時計に時打ち機構が付いている。横から見ると時打ち機構がないので、機構は大変単純に見える（写真 24）。

(2) 自動化された不定時法表示機構

指針の伸縮を果たす自動化機構は文字盤中央の円盤内に内蔵されている。裏側の駆動用の歯車は二枚の歯車が重ね合わされ、歯車の歯数が一歯だけ異なる差動歯車として機能するようになっている（写真 25-b）。ここで、差動歯車の歯数は円盤の基盤に対する固定側が 72、可動側が 73 なので、可動側は一日（文字盤一回転）当たり 73 分の 1 つずつずれていくことになる。

一方、二十四節気の刻まれた円盤正面の覆いを外すと、歯数 24 の二枚の歯車と歯数 60 の内歯車が現れる。中心には差動歯車の可動側に固定された歯数 12 のカナ歯車が立ち上がっている（写真 25-a）。仲介の歯車は、指針円盤の基盤に固定されているので、内歯車と一体の二十四節気円盤が基盤に対して歯車比 12/60 で減速された速さで回転していくことになる。二十四節気円盤の裏側にハート形のカム溝のある円盤が固定されているが、これがこの機構の年周カムに相当する。基盤中央



写真 27. セイコー時計資料館の円グラフ式文字盤伸縮指針掛時計

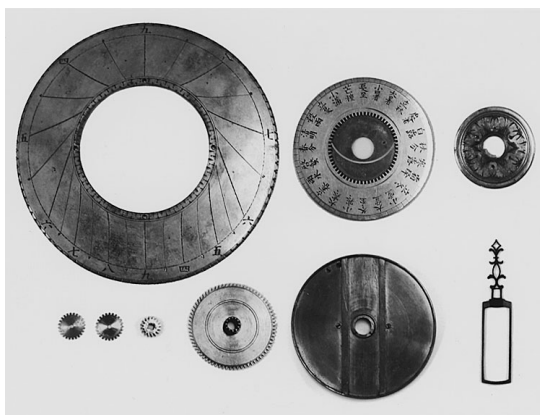


写真 28. 円グラフ式文字盤伸縮指針掛時計の機構構成部品（一部）

にある縦溝をスライドする指針の突起が年周カムの溝に入って指針の伸縮を果している。

(3) 年周動作の算定

差動歯車の可動側（歯数 73）に取り付けられた歯車（歯数 12）、そして内歯車（歯数 60）から年周動作を算定することができ、それは次の式で表される。

$$\frac{60}{12} \times 73 = 365 \text{ (日)}$$

6) その他

(1) セイコー時計資料館の二台の円グラフ式文字盤掛時計の文字盤及び伸縮指針

今回の調査の一環として、セイコー時計資料館に収蔵されている二台の円グラフ式文字盤伸縮指針掛時計について、同館のご好意によって2005年1月分解調査の機会を得た。分解調査は、佐々木、近藤が行った。

一台は高さ38cm（機械高15cm）の掛時計で近藤所蔵とほぼ同型である（写真27）。もう一台は



写真29. セイコー時計資料館の八角型円グラフ式自動伸縮指針掛時計

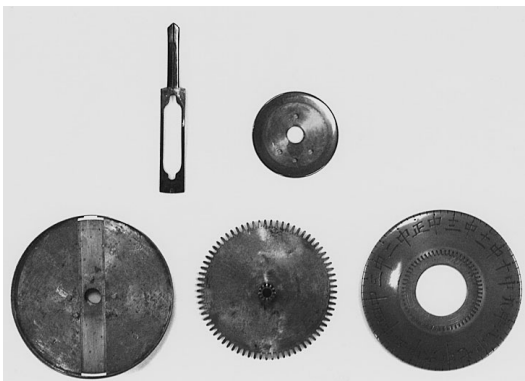


写真30. 八角型円グラフ式自動伸縮指針掛時計の構成部品及び歯車

高さ26cmの干支暦表示の八角型掛時計である（写真29）。いずれも真鍮製、振り子式で、時打ち機構は付いていない。分解調査から、この二台の円グラフ式文字盤掛時計が、基本的には近藤所蔵のものとはほぼ同一の機構を持っていることが判った（写真28, 30）。

歯数を調べた結果、歯車輪列の基本構成は近藤蔵のものと同じであったが、八角型掛時計については可動側の歯数が72、固定側の歯数は73であった。この場合は、年周動作が歯数72で行われることになり、一年の日数の算定の点で良い値が期待できない。しかも、可動側歯数73の場合に対して可動歯車の回転方向が逆向きになる。したがって八角型については、伸縮指針は二十四節気円盤に対して右回りにずれていくことになる。このことは、節気目盛りが他の二台とは逆の右回りに目盛られていることから判る。

その結果、年周動作の算定の式は、前者については、

$$\frac{60}{12} \times 73 = 365 \text{ (日)}$$

後者の八角型については、

$$\frac{60}{12} \times 72 = 360 \text{ (日)}$$

となる。

(2) 岡田所蔵八角型卓上時計の自動割駒式文字盤

著者岡田が最近入手した和時計（写真31）は、



写真31. 岡田蔵、自動割駒式文字盤八角卓型上時計

高さ7.0cm、時打ち割駒式文字盤の八角型卓上時計である。2002年のサザビーズのオークションカタログによれば、ロックフォードのもの、大きさ、機械、機構ともに、ほぼ同一の卓上時計で自動割駒式文字盤を持つことが判る（写真32, 34）。

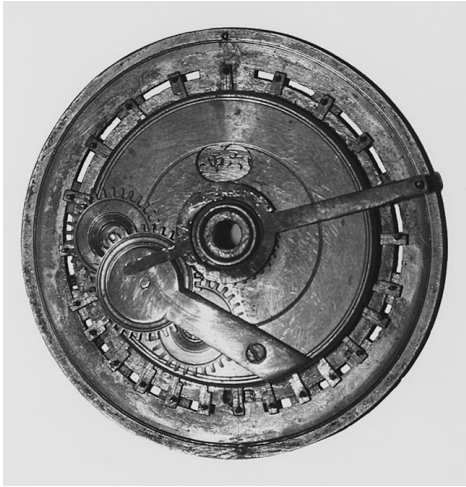


写真32. 自動割駒駆動機構歯車輪列

分解調査は、2005年10月に佐々木、土屋が行った。輪列構成の一部は判ったが、年周歯車（年周カム）ケースを取り外す鍵となるピンの位置が不明であったので、完全に分解するには至らなかった。未分解部分について、X線撮影を東京

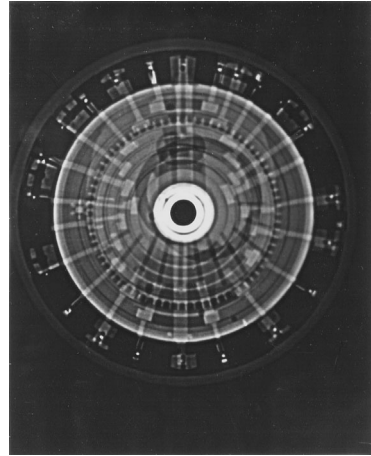


写真33. 自動割駒駆動機構部のX線写真，東京文化財研究所三浦定俊氏撮影

表1. 不定時法自動機構の駆動歯車輪列と年周動作の日数の算定

資料	所蔵等	歯車輪列と計算，(カナ歯車歯数)	算定日数	誤差(日)
振り子櫓時計機械 (自動割駒式)	松坂市竹川家	30, 30(10), 30(6), 30(3), 72 $30/10 \times 30/6 \times 72/3$	360	5.2422
円天符枕時計機械 (自動割駒式)	スイス時計学会誌掲載	30, 30(8*), 32(8*), 30(3*), 73 $32/8 \times 30/8 \times 73/3$	365	0.2422
八角卓上時計 (自動割駒式)	ロックフォード 旧時計博物館	25, 25(6), 36(6), 25(5*), 72又は73 $36/6 \times 25/6 \times 72/5$ 又は $73/5$	360又は 365	5.2422 又は 0.2422
八角卓上時計 (自動割駒式)	岡田和夫	30, 30(6), 36(6), 30(6), 73 $36/6 \times 30/6 \times 73/6$	365	0.2422
円天符枕時計機械 (自動割駒式)	調時第22号掲載	20, 40(40), 40(6**), 30(6), 24(6), 54 $40/20 \times 30/6 \times 24/6 \times 54/6$	360	5.2422
万年時計 (自動割駒式)	株式会社東芝 (国立科学博物館展示)	16, 45(5), 50(5), 65 $45/16 \times 50/5 \times 65/5$	365.625	0.3828
円グラフ掛時計 (伸縮指針)	近藤勝之	60, 24, 73(12) $60/12 \times 73$	365	0.2422
円グラフ掛時計 (伸縮指針)	セイコー時計資料館	60, 24, 73(12) $60/12 \times 73$	365	0.2422
円グラフ掛時計 (八角型伸縮指針)	セイコー時計資料館	60, 24, 72(12) $60/12 \times 72$	360	5.2422

*は、写真や図から判断できなかったもので、算定日数に合うように選んだ数である。ロックフォードのものは5以外にはあり得ないが、スイス時計学会のものは他の組み合わせもあり得る。

**飯田 弘氏によればカナ歯車歯数は7となっているが、一太陽年(365.2422日)に近似させるために6を採用した。

文化財研究所に協力を依頼した¹⁷⁾。その結果、ピンの位置は判明しなかったが、年周歯車の歯数73を確認することができた(写真33)。

これによって計算した年周動作を次式に示す。

$$\frac{36}{6} \times \frac{30}{6} \times \frac{73}{6} = 365 \text{ (日)}$$

(3) 三宅正吉作枕時計の自動割駒式文字盤

本稿提出間際になって、古典時計協会会長の加藤實氏から新たな自動割駒式文字盤和時計の情報がもたらされた。この和時計は、大阪の飯田弘氏が1968年1月号の「調時」誌に報告した高さ16cmの枕時計で¹⁸⁾、「河内牧方 三宅正吉作」の銘が刻まれ、円型機械、欄干、8本の飾柱などの特徴を備えている(写真34)。なお資料よれば、1968年頃に美術商から米国人に渡ったとされ、現在の所在は不明である。

掲載された写真は不鮮明であるが、文字盤板裏に同心円状の溝はなく、文字盤中心付近を支点とした割駒駆動腕が個々に動く構造に見える(写真35)。また、明六つ及び暮六つの割駒と前後半刻の三つの割駒が連結され一体で動くと言われ、

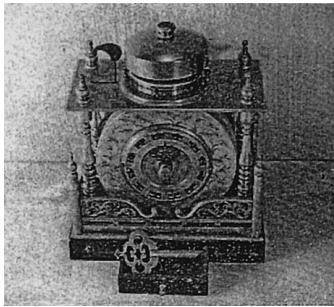


写真34. 「調時」第22号に掲載の枕時計機械

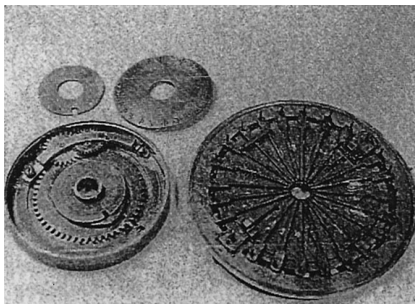


写真35. 自動割駒駆動機構部

竹川家などの他の四例とは機構が異なると考えられる。飯田氏によれば、割駒駆動機構の輪列を構成する歯車は、資料では歯数20の固定歯車に歯数40の仲介歯車、歯数40(7)、歯数30(6)、歯数24(6)の歯車(括弧内はカナ歯車歯数)を介して、歯数54の年周歯車に連結するとしている。しかし、歯数40の歯車のカナ歯車歯数が7では年周動作の算定が約309日になり都合が悪く、一太陽年に最も近い算定日数を得るためにはカナ歯車歯数は6とするのが妥当でと考えられる。これによって計算した年周動作を次式に示す。

$$\frac{40}{20} \times \frac{30}{6} \times \frac{24}{6} \times \frac{54}{6} = 360 \text{ (日)}$$

4. 不定時法自動表示機構における年周動作の比較

ここで、今まで見てきた四種九例の和時計について、不定時法自動表示機構のを構成する歯車輪列、それから算定された年周動作の日数、さらに一太陽年(365.2422日)に対する誤差を表1に示す。

表から判ることは次の通りである。竹川家の掛時計などの自動割駒式文字盤の割駒駆動機構は、年周カム、割駒駆動橋円板および割駒駆動腕を用いた大変巧みな機構である。これらは、基本的には同一の機構であるが、輪列を構成する歯車の歯数に同じ組み合わせがないのが興味深い。また、円グラフ式文字盤自動伸縮指針の駆動機構は、機構的には大変単純なためか、掲げた三例は大変よく似ている。しかし、セイコー時計資料館の八角型円グラフ式掛時計については、差動歯車の可動側に歯数72の歯車を採用し、年周動作の日数の誤差を逆に増加させていることになる。これに対して、万年時計の自動割駒式文字盤の駆動機構は、年周カムを用いず基本的にクランク機構によるもので、割駒の駆動原理においても輪列構成においてもその差が顕著である。万年時計の算定日数365.625の誤差は、歯数73を用いて達成した他の例の日数365よりも若干多いが、見事に目的を達成しているのはさすが久重と言うべきであろう。ここで年周歯車の歯数は、万年時計の歯数65と三宅正吉作枕時計の歯数54を除けば、72か73のどちらかであり、それによって算定日数が360日か365日のどちらかに定まることが解る。これから、歯車機構を一太陽年で近似的に駆動させるために

は、年周歯車の歯数に用いられた73という数が大変都合の良い重要な数であることが理解される。

なお、岡田蔵八角型卓上時計については、その後年周歯車を固定している筒を止めていたピンの位置が判り、分解に成功した。しかし、年周歯車ケースは開けることができなかったため、中に収められた年周歯車は実際には目にすることができなかった。ほぼ同型と思われるロックフォード旧時計博物館の八角型卓上時計について、年周歯車の写真がなかったのは、ハワード氏が分解した際にもこの部分の分解が不可能だったためと想像される。

ここで、これら四種の不定時法自動化機構の特徴を比較する。竹川家の掛時計など四例の割駒駆動腕機構は、円周上を動く割駒の移動を直線で近似しているところに特徴があるが、明六つ暮六つの前後の対称的な時刻の割駒をそれぞれ組んで駆動させていることなどが誤差要因になると考えられる。今後、詳しい幾何学的検証が必要である。また、万年時計は、割駒をクランク機構で往復させているところに特徴があるが、クランク機構を往復運動させるための変形歯車（通称虫歯車）の機能と精度を検証する必要がある。円グラフ式文字盤伸縮指針機構は作動歯車の採用による極めて単純な構造が特徴であろう。原理的には最も誤差を含まない機構と考えられる。これらの点から考えて、不定時法表示における自動化機構としては、視認性や報時機能では他に譲るものの、円グラフ式伸縮指針が和時計に於いて最も完成度が高い形と結論付けることができる。

5. 結 言

時計機構は、常に精度の追求を課題としてが発展してきた。しかし、和時計の不定時法への対応は、操作性の改良も重要な課題であった。西洋の機械時計を不定時法に対応させるため発明された二挺天符機構や割駒式文字盤機構は、複雑な不定時法時刻表示における操作性の改良という課題の解決手段として生まれたと考えられる。今回取り上げた不定時法時刻表示自動化機構は、和時計の発展過程に於いて、精度の追求とともに、操作性に対する要求から工夫され生まれたものであると言えよう。

なお本研究は、文部科学省特定領域研究「我が国の科学技術黎明期資料の体系化に関する調査研

究」略称「江戸のモノづくり」（課題番号13046101）の研究費の一部を使わせて頂いた。本研究を進めるにあたり、時計資料の閲覧と分解調査にご協力頂いた三重県松本市の竹川家当主竹川裕久氏、小田幸子編「和時計図録」からの写真転載と時計資料の分解調査にご協力頂いたセイコー時計資料館、X線撮影にご協力頂いた東京文化財研究所ならびに同研究所協力調整官の三浦定俊氏、写真掲載にご協力頂いたアンティコルムならびにサザビーズジャパン、さらに貴重な情報を提供して頂いた静岡大学機械工学科教授の長谷隆氏、古典時計協会会長の加藤貴氏に厚く御礼申し上げます。

註 釈

- 1) C. H. Howard氏については、佐々木勝浩・明治20年（1887年）勝利介作一挺天符掛時計について・国立科学博物館研究報告、E類、25: 1-7, 2002。の註の1)を参照。
- 2) M. Emile James. Pendules japonaises. Journal, Suisse d'Horlogerie. XI: 6-8, 1886.
- 3) 橋本毅彦、土屋榮夫他。万年時計復元・複製プロジェクト。文部科学賞省特定領域研究「江戸のモノづくり」研究班。2005。
- 4) 不定時法時刻を円形文字盤にグラフ状に刻んだもので、季節によって伸縮する指針によって各季節の時刻を読むことができる。
- 5) 小田幸子編。セイコー時計資料館蔵「和時計図録」、16-17頁。セイコー時計資料館、1994。
- 6) N. H. N. Mody. Japanese Clocks, Plate 70. Kganpaul, Trench, Trubner & Co, 1932. に掲載の大沼宗賢銘の枕時計。
- 7) Tardy. Clocks the World Over, French Clocks, Tardy, 1949. p. 596. に掲載の硯屏型枕時計、メトロポリタン美術館蔵。
- 8) 一般に和時計では、一番車のカナ歯車で回転文字盤を駆動する例は少なく、写真で読み取ることができる歯数から判断して（写真2）重錘の下降量が掛時計としては少な目に思われる。従って当掛時計は櫓時計として製作された可能性がある。
- 9) 前掲、小田幸子。セイコー時計資料館蔵「和時計図録」、55頁。資料No. J-105の尺時計。
- 10) 文字円盤の円周上に溝を刻み、この溝へ時刻名を刻んだ金属製駒（割駒）をはめ込み、これを左右にスライドさせて不定時法時刻に対応させるようにした文字盤。なお指針は固定で文字盤が回転する。
- 11) イリノイ州ロックフォード市郊外で営業していたホテル「クロック・タワー・イン」のアトラクション

として1970年に開館，展示資料は時計の歴史に関する実物資料約1,500点余を展示し，世界で最も充実した時計博物館として知られていたが，オーナーの死によって1999年に閉館．十数点の貴重な和時計コレクションがあったが，多くが1999年から2004年のサザビーズのオークションで散逸した．

- 12) Sotheby's 「MASTERPIECES FROM THE TIME MUSEUM, PART TWO」. June 19, 2002. New York による .
- 13) 前掲，M. Emile James. Pendules japonaises. Journal, Suisse d'Horlogerie. XI: 6-8, 1886. の図版 .
- 14) 前掲，M. Emile James. Pendules japonaises. Journal, Suisse d'Horlogerie. XI: 6-8, 1886. においては，この枕時計の脱進機はホイヘンスの半回転脱進機 (Pirouette escapement) としている．なお，この脱進機については，P. M. Chamberlain. It's About Time. The Holland press, 1841. の151頁ならびに第22図を参照 .
- 15) インターネットの時計専門のオークションサイト「Antiquorum」において Japanese Clocks で検索して閲覧することができる．<http://catalog.antiquorum.com/catalog.html>
- 16) この掛時計は，かつて柳宗悦らとともに民芸運動の中心となって活躍した益子の陶芸家濱田庄司の所蔵していたものである．作者は不明であったが，最近，近藤によって時計機械裏の側板に銘と撰文が発見され，天保五年（1834年）在政の作であることが確かめられた .
- 17) 東京国立文化財研究所の高感度デジタルX線画像装置 FCA AC-5 システムを使用させていただいた .
- 18) 飯田弘他．三宅庄吉作の和時計．調時，第22号 21-27頁（1968年1月号）.