

研究会報告

和時計における不定時法表示機構の自動化

講師 佐々木 勝浩 独立行政法人 国立科学博物館 名誉館員・名誉研究員

参加者 正会員 11名, 賛助会員・非会員 5名, 学生会員 0名

シチズン時計（株）	1名（正会員）
セイコーインスツル（株）	4名（正会員2名, 賛助会員2名）
セイコーエプソン（株）	2名（正会員）
セイコークロック（株）	3名（正会員）
リズム時計工業（株）	1名（正会員）
横浜国立大学 大学院	1名（正会員）
（一社）日本時計協会	1名（正会員）
その他	3名（正会員1名, 非会員2名）

司会 重城 幸一郎 セイコーインスツル（株） 時計設計部 開発グループ

*2015年11月20日 中央大学 後楽園キャンパス 2号館2階 2215&2221号室にて開催

第1部 講演

1. 緒言

和時計とは、一言で言うなら「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。西洋の時計機構は室町時代末期に伝えられたが、当時の日本の時刻制度は1日を24等分する西洋の不定時法とは異なり、1日を夜明け（明け六つ）と日暮れ（暮れ六つ）で昼と夜に分けそれを6等分する不定時法が使われていた。日本の時計師は、基本機構は西洋のものを引き継ぎ、文字盤や機構に手を加えて日本の不定時法への対応を模索した。この不定時法対応の機構が和時計の主な特徴となっている。

和時計の不定時法対応機構の代表的なものとして、二挺天符機構と割駒式文字盤が挙げられる。二挺天符機構は、もともと1本だった調速機の棒天符を、昼用と夜用の2本とし、明け六つ、暮れ六つで自動的に切り替えるものである。この改良によって、それまで毎日明け六つ、暮れ六つで行っていた歩度調整用の天符小錘の掛け替え作業が節気毎で済むようになり、管理の労力が著しく軽減された。また、割駒式文字盤は、円形の文字盤の円周上に切った溝に時刻名を刻んだ駒を填め込み、これをスライドさせて各季節の不定時法時刻に合わせられる時刻可変文字盤である。二挺天符機構は17世紀の半ば頃、割駒式文字盤は18世紀に発明されたとされるが、江戸末期には改良がさらに進み、不定時法時刻を自動的に示す機構が発明された。現在までに、10点の不定時法自動表示機構の和時計が確認されているので、それらについて紹介する。

2. 不定時法自動化機構の例

不定時法を自動的に表示する方式は、大きく分けて割駒式文字盤の割駒を各季節の位置に自動的に合わせる自動割駒方式と各季節の不定時法時刻を円グラフ式に表示し、伸縮する指針の先端で時刻を読み取る円グラフ自動伸縮指針方式の二つの自動化の形態がある。以下2形態、5方式、10点の不定時法自動化機構の和時計について概説する。

1) 松坂市旧家蔵の振子掛時計機械

(1) 時計の概要：平成13年（2001）から文部科学省の科学研究費補助金によって5年計画で実施した大型研究プロジェクト、通称「江戸のモノづくり」（正式名：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



図1 岩野忠之作 振子掛時計

究」において、三重県松坂市の旧家が所蔵する割駒式文字盤掛時計機械を調査対象として分解調査を実施した結果、時計機械の正面に取り付けてある割駒式文字盤が季節を通じて不定時法時刻を自動的に表示する自動割駒式文字盤であることが判った（図 1）。この自動割駒機構は、文字円盤裏に組み込まれた放射状腕を、年周動作（往復運動）を行う切込み楕円板によって作動させ、それに連結した割駒を駆動するものであった。これを、放射状腕切込み楕円板駆動方式と呼ぶことにする。同掛時計には銘が刻まれており、製作年は不明だが紀州和歌山の岩野忠之が製作したものであることが判る。

（2）自動割駒機構の構造と機能：割駒式文字盤は基本的に回転文字盤で、当掛時計の文字盤は裏側の歯数 48 の駆動歯車で駆動する。自動割駒機構は、文字盤裏に取り付けた 4 個の歯車から成る歯車輪列、二十四節気目盛りと裏側に離心円形のカム溝を持つ歯数 72 の歯車－年周歯車－（図 2 の機構に内装）、幾筋かの切込みを持つ楕円板－切込み楕円板－、割駒を駆動する放射状の腕－放射状腕－などで構成される（図 3）。

自動割駒機構の動きは次のようなものである。まず、切込み楕円板上の突起が年周カム溝に入って楕円板が 1 年に 1 往復し、それに伴い楕円板の切り込みが平行に移動する。駆動腕は円弧型金属片に固定され、また、他の割駒は駆動腕に連結されているので、八つと四つ、七つと五つなど動きの幅が同じなので 2 個 1 組で動く。駆動腕の片方にある突起が楕円板の切り込みに入り、駆動腕は年周動作によって円周方向に往復運動し、対応する 1 組の割駒を各季節の正しい時刻の位置にスライドさせる（図 4）。なお、夜九つ（子）と昼九つ（午）の割駒は固定であり、また、明け六つ、暮れ六つの割駒は単独で動く。

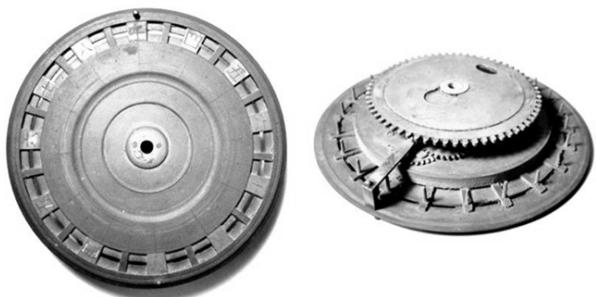


図 2 岩野忠之作の割駒式文字盤
右：正面、左：裏



図 3 放射腕と切込み楕円板

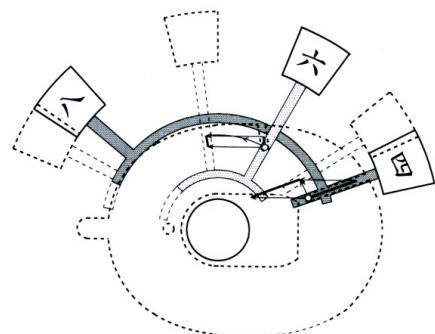


図 4 放射腕切込み楕円板駆動方式原理図

(3) 輪列構成と1年の算定日数：同機構の輪列は、中央の歯数30の駆動歯車を出発点として、歯数30(10)、歯数30(6)、歯数30(3)の歯車で構成されている（図5）。ただし括弧内は、かなの歯数を示す。輪列の最後の歯数3のかなは、歯数72の年周歯車に連結して回転する。輪列構成から計算される1年の算定日数は次の通りである。

$$\frac{30}{30} \times \frac{30}{10} \times \frac{30}{6} \times \frac{72}{3} = 360.0(\text{日})$$

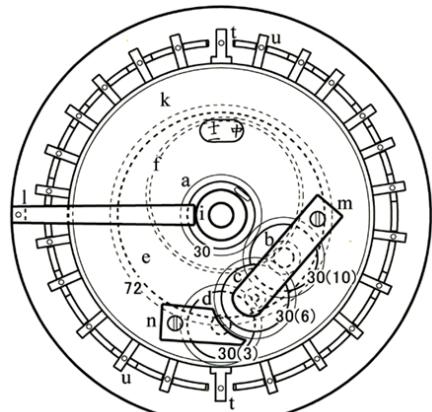


図5 岩野忠之作
自動割駒式文字盤の輪列構成

これから年周歯車は1日当たり360分の1回転、すなわち文字盤360回転で年周歯車が1回転する、それはこの機構が1年を360日で近似しているという意味である。1年の日数は、正しくは365.2422平均太陽日なので、機構による1年の誤差は5.2422日である。輪列のデータ、算定日数、誤差などを表1にまとめる。

2) スイス時計学会誌掲載の円天符枕時計機械

(1) 時計の概要：当和時計は、スイス時計学会誌（Journal Suisse d'Horlogerie）第11巻（1886-1887刊）に詳細な分解図付きで報告されたもので、調速機にひげぜんまい付き円天符を採用し、日付（十干十二支）及び月の大小による暦表示窓をもつ、目覚まし付き、ぜんまい駆動の枕時計機械である（図6）。図によれば、輪列の歯数は異なるが、放射状腕と切込み楕円板によって割駒を駆動するという基本的考え方は、岩野忠之と同一のものである。なお、掲載が1886

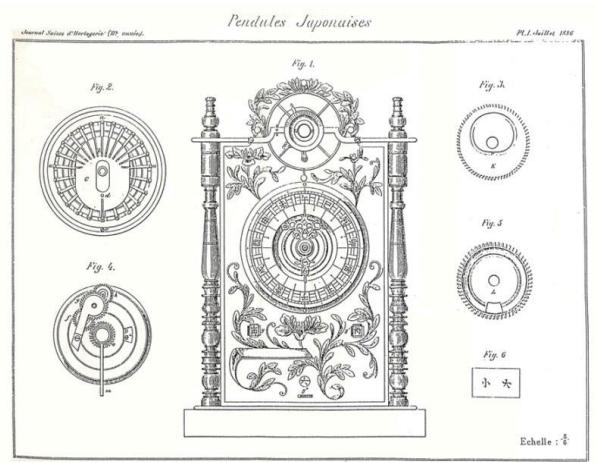


図6 スイス時計学会誌11巻（1886）掲載の
円天符枕時計機械図版

年のことで130年の時が経過しているので、実物の存在の確認が絶望視されたが、協力者の指摘によってアンティコルム・オークション カタログ2003年12月4日付け（インターネット閲覧可能）に掲載されていることが分かり、この時計が現存することが判明した（図7）。

(2) 輪列構成と1年の算定日数：図から、自動割駒機構の輪列を構成する歯車の歯数は、部分的に隠れている場合は外挿などで推定してそれぞれ 30, 30, 32, 30, 73 と確認できるが、かなは確認できない（図 8）。年周歯車の歯数 73 は、1年の日数を 365 日（文字盤 365 回転）と算定して設計されていることを示しており、これから、かなの歯数を輪列の計算から推定することが可能である。検討の結果、かなの歯数は 192 の因数の組み合わせで、8, 8, 3 か 6, 8, 4 の組み合わせ以外には考えられないことが判った。以下に、かなの組み合わせ 8, 8, 3 の場合の1年の算定日数の計算例を示す。

$$\frac{30}{30} \times \frac{32}{8} \times \frac{30}{8} \times \frac{73}{3} = 365.0(\text{日})$$

同枕時計機械の自動割駒式文字盤について輪列データ、算定日数、誤差を表 1 に示す。

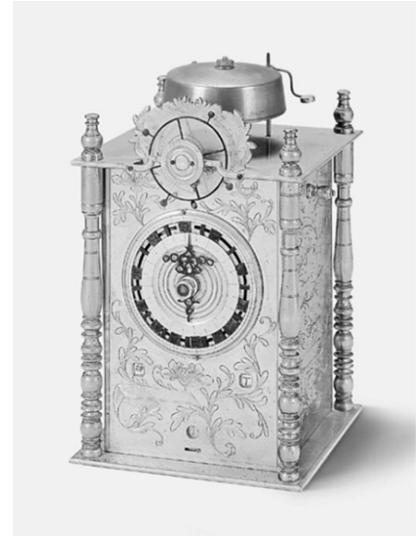


図 7 アンティコルム・オークション
カタログ（2003 年）掲載
自動割駒式文字盤枕時計

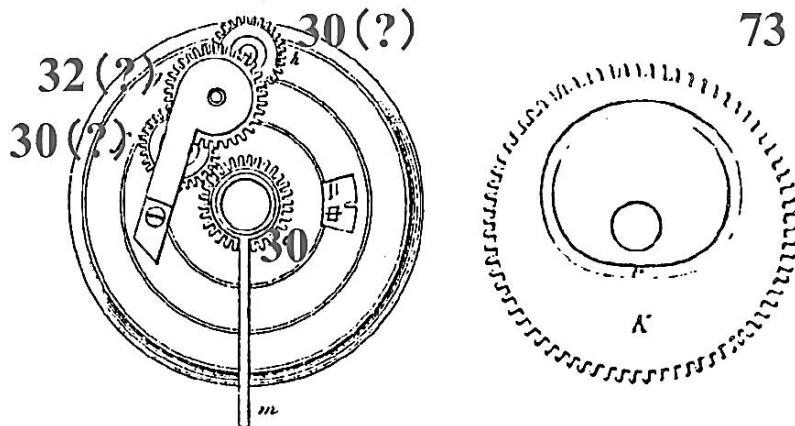


図 8 自動割駒式文字盤の輪列構成と年周歯車・年周カム

3) 旧ロックフォード時計博物館蔵の八角卓上時計

(1) 時計の概要：プロジェクト「江戸のモノづくり」から遡ること 30 年以上前に、筆者が懇意にしていた鎌倉在住のアメリカ人和時計コレクターのチェスター・ハワード氏（故人）から、数枚の写真の提供を受けた。ハワード氏の説明から、当時、合衆国イリノイ州ロックフォードのホテル「クロック・タワー・イン」に併設されていた時計博物館が所蔵する和時計の自動割駒式文字盤機構で、写真から判断できる機構の基本的構成はまさに松坂市旧家保存の掛時計機械と同種のものであった。後になってこの時計が、1980 年頃に合衆国へ流失した十数点の和時計の内の 1 点で、八角卓上時計であることが判明するのだが、写真は自動割駒機構の分解経過や部品だけで、その時は八角卓上時計とは結びつかなかった。

ロックフォードの八角卓上時計が自動割駒式文字盤である可能性が浮かび上がったのは自動割駒機構の調査研究の実施中で、近江八幡市の時計コレクター所蔵の割駒式文字盤八角卓上時計の分解調査の折である。調査中の八角卓上時計は無銘であったが、様式、透かし彫りなどケースの装飾などがロックフォードのものと類似する点が多く、同じ作者の可能性が高いと考えられたからである。この時点ではロックフォードの時計博物館は所有者が亡くなってしまっており、すでにオークションを通じて散逸していたが、オークションカタログから八角時計の大きさや装飾など概要が判り（図 9）、時計底面に「三宅正利」の銘が確認された。時計は、同コレクターが落札者に直接交渉して日本へ里帰りを果たし、分解調査が実現した。

(2) 輪列構成と 1 年の算定日数：
同八角卓上時計の自動割駒機構の輪列は、歯数 25 の駆動歯車、歯数 25 (6), 歯数 36 (6), 歯数 25 (5) で、最後の歯数 5 のかなは歯数 73 の年周歯車に連結している（図 10）。これら歯車輪列による 1 年の算定日数は 365 日となる。輪列データ、算定日数、誤差を表 1 に示す。



図 9 三宅正利作 八角卓上時計
（写真：大庭義典）

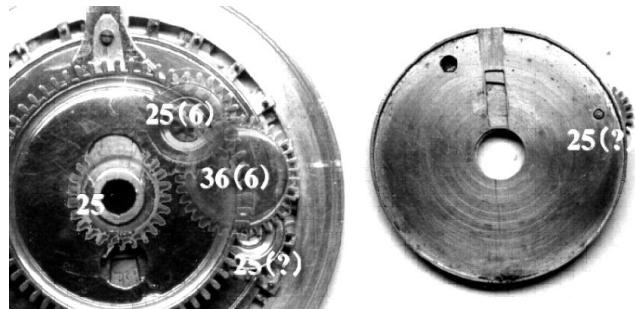


図 10 三宅正利の自動割駒式文字盤
左：輪列構成、右：年周カムケース

4) 近江八幡市個人蔵の八角卓上時計

(1) 時計の概要：滋賀県近江八幡市の個人が所蔵する自動割駒式文字盤和時計で、ロックフォード市の旧時計博物館が所蔵展示していた八角卓上時計に大きさ、装飾が酷似する和時計である（図 11）。

(2) 輪列構成と 1 年の算定日数：自動割駒機構の輪列構成は、歯数 30, 歯数 30 (6), 歯数 36 (6), 歯数 30 (6) で、最後の歯数 6 のかなは、歯数 73 の年周歯車に連結している（図 12, 13）。これから同機構の 1 年の算定日数は 365 日となる。輪列データ等を表 1 に示す。



図 11 無銘 八角卓上時計

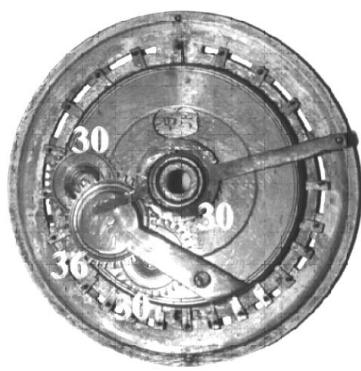


図 12 無銘
自動割駒式文字盤輪列構成

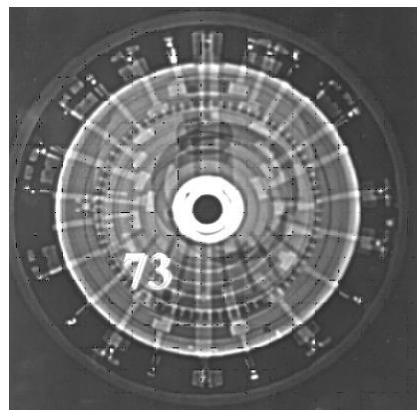


図 13 年周歯車ケースのX線像
年周歯車の歯数 73 が認められる。

5) 「調時」掲載の円天符枕時計機械

(1) 時計の概要：当和時計は、不定時法自動化の調査研究において研究協力者から自動割駒式文字盤であるとの指摘を受けたものである。それは、「調時」22号（1968）に報告されたもので、「河内枚方 三宅正吉」の銘をもち、欄干や飾り柱を備えた枕時計である（図 14）。掲載された写真から、枕時計の割駒式文字盤が自動化されていることが判る。写真は不鮮明で詳しいことは判らないが、放射状の割駒駆動腕らしきものが認められ、年周歯車、年周カム

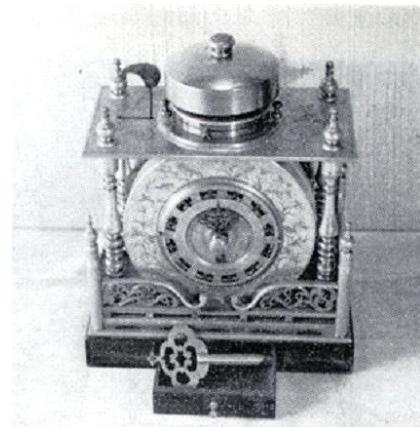


図 14 三宅正吉作 円天符枕時計

らしきものも確認できるが、岩野作のような切込み槽円板は見当たらない。この方式を放射状腕年周カム駆動方式と呼ぶ。なおこの枕時計はすでに海外流出したとされている。

(2) 輪列構成と1年の算定日数：

報告には歯車機構のスケッチが含まれ、歯車の歯数が記入されている。それによれば割駒式文字盤機構の輪列は、歯数20の固定歯車、歯数40の仲介歯車と、それぞれ歯数40(7)、歯数30(6)、歯数24(6)、歯数54の歯車で構成されていることが判る

(図15)。最後の歯数54は年周歯車で、写真からの判別は難しいが、年周カムを兼ねていると考えられる。かな歯数7は、年周動作の算定日数が309日となって具合が悪い。歯数6ならば年周動作は360日で都合が良く、「調時」誌へ投稿した著者が端数をチェックする際に6を7と見誤ったと考えられる。輪列データ等を表1に記す。

6) 田中久重作の万年時計

(1) 時計の概要：万年時計は、株式会社東芝の創設者の1人、からくり儀右衛門の名で知られる田中久重が嘉永四年（1851）に約1年の歳月をかけて完成したものである。時計は、彫金、螺鈿、蒔絵、七宝などで装飾され、頭部には不定時法時刻を示す割駒式文字盤のほか、二十四節気文字盤、七曜文字盤、十干十二支暦文字盤、旧暦日付・月位相文字盤、西洋文字盤の六面の文字盤があり、頭頂部には太陽と月の出没を表す天象儀が取り付けられている。和時計として特に注目されるのは、不定時法時刻を自動的に示す自動割駒式文字盤が採用されていることである（図16）。

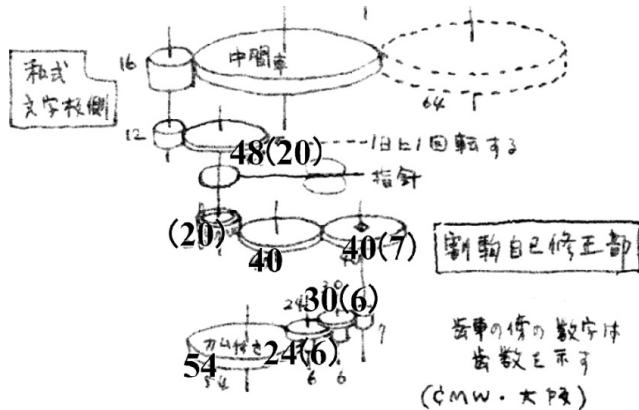


図15 三宅正吉作の自動割駒式文字盤輪列構成スケッチ



図16 田中久重作万年時計

(2) 自動割駒機構の構造と機能：万年時計の自動割駒式文字盤の機構について理解をするためには、2005年秋頃にNHK特集として放映された万年時計のなかで紹介されているCGが最も適切と思われるが、ここでは1969年頃行われた調査で描かれたスケッチをもとに製作した機構図で解説する(図17)。

固定軸が文字盤枠の中心を通り時計本体に固定されている。固定軸上に歯数16の歯車(右から2番目の歯車)が固定されている。その他の歯車、割駒および指針は文字盤枠の上に乗っており、それは歯数30(図右端)の駆動歯車で1日に1回転する。文字盤枠上に輪列を構成する歯数45(5)、歯数50(5)、歯数65の歯車と歯数4ずつの二つの片歯車、歯数8の虫歯車と歯数27の歯車などが載っている。ここで、文字盤枠が回転すると、歯数45(5)の歯車は、歯数16の固定歯車の周りを回ることによって回転し、歯数50(5)の歯車と歯数65の歯車で減速する。輪列の計算から、歯数65の歯車は1年にはほぼ1回転まで減速していることが判る。前例に倣うまでもなく、これは年周歯車と呼ぶべきものである。

年周歯車に固定された筒軸上には2個の歯数4の片歯車があり、それが中央の虫歯車に連結している。虫歯車という名前は、2005年の分解調査において形状が2本の触覚と6本の足を持つ昆虫を想像させるところから付いた名前である。虫歯車は文字盤枠上に取り付けられているので、片歯車が片方ずつ交互に作用し、半年毎に右回転と左回転を繰り返す。その動きは虫歯車から27歯の直角歯車、歯数100の駆動歯車、さらに各割駒に対応する歯数25の小歯車に伝えられ、小歯車に固定されたクランク腕によって割駒を左右にスライドさせる。なお、クランク腕の長さはそれぞれの割駒の可動範囲に対応している。虫歯車で筒軸を往復運動させ、クランク腕で割駒を駆動するので、この方式を虫歯車反転クランク腕駆動方式と呼ぶことにする。

(3) 輪列構成と1年の算定日数：計算された輪列データと1年の算定日数等を表1に示す。計算から歯数65の歯車の回転は文字盤枠1回転(1日)毎に365.625分の1回転である。言い換えれば、文字盤枠365.625回転(365.625日)毎に歯数65の歯車が1回転することである。このことは、同輪列が近似的に1年を表示するために適切な歯車構成であることを示しており、その誤差は1年の平均太陽日の日数365.2422日より0.3828日多いだけである。

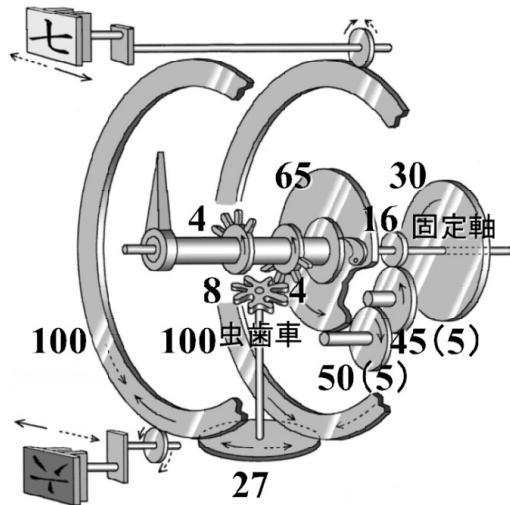


図17 万年時計の自動割駒機構と輪列構成

7) 葛飾区個人蔵の振子円グラフ式文字盤掛時計

(1) 時計の概要：当和時計は、葛飾区在住の個人の所蔵する木製の壁掛け台に載った振子掛時計で、国立科学博物館に展示されているものである（図18）。同掛時計は、ほぼ正方形の正面扉一杯に円グラフ式の時刻目盛りが刻まれ、その上に二十四節気文字盤が置かれている。時打ち機構は組み込まれていないが、円グラフ文字盤では原理的に時打ち機構が実現できないため、奥行きも少ない。当和時計は、もともと柳宗悦の民芸運動で活躍した陶芸家浜田庄司が所蔵していたもので、背面に銘が刻まれ、天保五年（1834）在政（伊豫在政）作であることが判る。

顕著な特徴は、指針が二十四節気文字盤の縁から外側に突き出し、節気によって伸縮する自動伸縮指針を採用していることである。文字盤は、冬至が最も内側、夏至が最も外側に目盛られ、同じ時刻を直線で結んで描かれている。この直線を時刻線と呼ぶことにする。時刻線は一時（いっとき）を10分割し、半時毎に太線が入る。指針は伸縮して先端でグラフ上の時刻を読み取り、各季節の不定時法時刻を知ることができる。写真は、指針が最も縮んだときで冬至の指針の位置である。また指針は、二十四節気文字盤の周りを1年で一周し、季節も判るようになっている。

(2) 自動伸縮指針の構造と機能：

文字盤の中心のナットを外す
と自動伸縮指針機構部を取り
外すことができる。裏側の駆
動歯車は2枚重なっており、
歯数が1歯だけ異なる差動歯
車であることが判る（図19の
右）。差動歯車は文字盤基板に
固定された歯数72の固定歯車
と歯数73の可動歯車から成り、
それらを重ね合わせて1つの
歯車で駆動すると、可動歯車
は1日1回転当たり73分の1歯ずつずれていくことになる。可動歯車側には歯数12の筒状かな

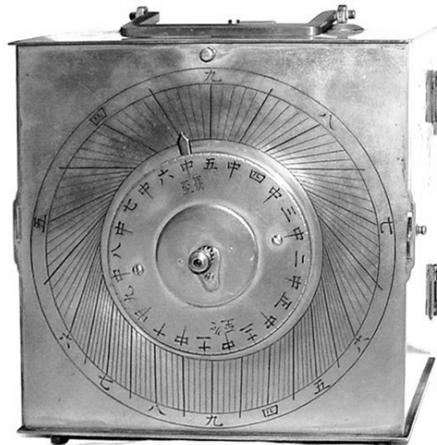


図 18 天保五年（1834）在政作
円グラフ式文字盤掛時計

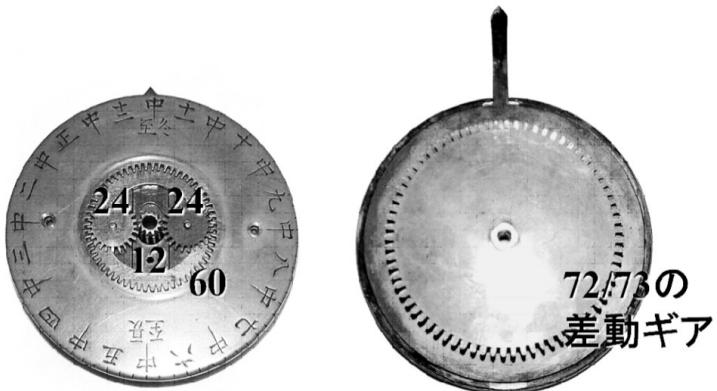


図 19 在政の自動伸縮指針機構の輪列構成と差動歯車

が固定されている。

機構部を表側から見ると、中心に筒状かなの一部が覗いている。中心付近の小金具を取り外すと蓋が外れ、2枚の歯数24の歯車と裏側にハート型のカム溝を持つ歯数60の内歯車が現れる(図19の左)。2枚の歯車は文字盤の基板に固定された軸で回転し、かなの回転はこれを経由して内歯車に伝えられる。ここでカム溝は年周カム、内歯車は年周歯車として役割を果たす。指針は文字盤基板の溝に入り、年周カムによって出入りして正しい季節の時刻目盛りの位置を指す。一方指針は、二十四節気を目盛った年周歯車に対して左回りに廻り、目盛りを読み取って二十四節気を知ることができる。

(3) 輪列構成と1年の算定日数：輪列を構成する歯車は、歯数73の差動歯車の可動側、歯数24の伝達用歯車、歯数60の年周歯車だけで、単純な輪列構成である。

かなは機構部1回転(1日)あたり73分の1回転するので、内歯車は、歯数12のかなと歯数60の内歯車の歯車比の5分の1を掛けた値、すなわち365分の1だけ回転する。言い換えれば、伸縮指針機構部が365回転、すなわち365日でカム溝をもつ年周歯車が1回転することになる。同機構における輪列データ等を表1に記す。

8) セイコーミュージアム蔵の円グラフ式文字盤掛時計

(1) 時計の概要：セイコーミュージアム(東京都墨田区)保存の2台の振子円グラフ式文字盤掛時計の一つで、自動伸縮指針を採用している。銘はないが、大きさ、意匠が在政のものと大変良く似ており、木製の壁掛け用台に載せて使用する掛時計である(図20の①)。文字盤は、在政作のものと同じだが、在政作が正面扉に円グラフ式目盛りを直接刻んでいるのに対して、唐草文様を刻んで装飾された前扉に目盛りを刻んだ円盤を貼り付けているところが異なる。

(2) 輪列構成と1年の算定日数：指針の伸縮機構の輪列は、在政作と同様に歯数72、73の差動歯車と歯数12の筒状かな、歯数24の伝達歯車、歯数60の内歯車(年周歯

車、年周カム)で構成される。輪列構成データ等を表1に記す。

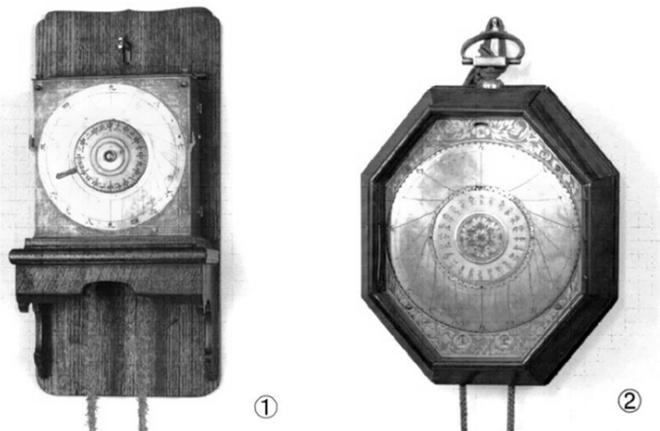


図20 ①無銘 円グラフ式文字盤掛時計
②無銘 円グラフ式文字盤八角掛時計

9) セイコーミュージアム蔵の円グラフ式文字盤八角掛時計

(1) 時計の概要：セイコーミュージアムに保存されている円グラフ式文字盤掛時計のもう1台で、同様に自動伸縮指針を採用している。こちらは、縦長の八角形の木枠に時計機械が填め込まれ、これを壁に吊して使用するものである（図20の②）。

時計機械の前面や文字盤を止めている覆い部分が唐草文様や花柄の紋様の彫刻で装飾されている。中央に枠一杯の大きめの文字盤が取り付けられているが、時刻線は半時（はんとき）毎で、昼夜両九つと明け六つ、暮れ六つが直線で描かれているのに対して他はわずかに湾曲している。すべて直線で表示すると時刻線と正しい時刻の間に誤差を生ずるので、明け暮れ両六つだけ直線で時刻線を引き、節気毎の六つに一致するような時刻線上の位置に同心円を描き、それぞれ昼夜で12等分した点を結んで得た曲線と思われる。

(2) 輪列構成と1年の算定日数：指針の伸縮機構の輪列は前項のものと全く同一である。差動歯車の可動側が歯数72、固定側が歯数73と逆転しているが、この場合算定される1年の日数が360日となり都合が悪い。作者が、1年365日を表すのに有利な歯数73の歯車を、何故可動側に使わなかつたか疑問が残る。

10) 長野市個人蔵の一挺天符櫓時計機械

(1) 時計の概要：当櫓時計機械は所蔵者が凡そ40年前に東京の骨董商から入手した櫓時計機械で、正面扉幅一杯の回転文字盤に割駒としては珍しい丸形の割駒を備えた大変特徴的な意匠の和時計である（図21）。近年、その文字盤の厚みと文字盤裏に認められるスリットから自動割駒機構の存在が期待されていた。分解調査の結果、製作日付と銘が確認でき、当和時計が文政十二年（1829）安芸広島の伊豫在政作の櫓時計機械で、全く新たな機構の自動割駒式文字盤を備えた和時計であることが判った。

(2) 割駒式文字盤の構造と機能：文字盤中央の飾りナットを外すと、指針、二十四節気目盛と裏側にカム溝のある内歯車の年周歯車、年周歯車を納めた円盤などを相次いで取り除くことができる。現れた機構は、2枚ずつ要軸で繋いだ12対の扇板が放射状に置かれ、各扇板の間に正時の割



図21 文政十二年（1829）伊豫在政作
自動割駒式文字盤櫓時計

駒と半時の割駒が交互に置かれる、という大変複雑なものである。扇板の隙間から、下側の大小 12 個のスリットの空いた円盤（スリット円盤）の存在が判る（図 22）。文字盤裏の駆動歯車は、円グラフ式掛時計と全く同一の差動歯車機構を採用し、表側に突き出した筒状のかなと伝達用歯車、年周歯車としての内歯車とそれに刻んだ年周カム溝によって年周動作を果たしていることが判る。

その動きは次のように説明できる。文字盤基盤円盤にも幾筋かのスリットが存在する。その上にスリット円盤を重ね合わせ、年周動作でスリット円盤を昼夜両九つ方向に往復させると、両スリットの交点は放射方向に往復運動する。ここに 2 枚の扇板を繋いでいる要軸が入ると扇板は放射方向に押し出されたり引き込まれたりする。両スリットの交点の位置は、昼側と夜側では動きが逆になるので、昼側の扇板が押し出される場合は夜側の扇板が引き込まれ、逆に昼側が引き込まれる場合、夜側は押し出される。扇板が引き込まれる場合、割駒は要軸から離れて中心角が大きくなるため、扇板両側の割駒は間隔を押し広げられ、扇板が逆に押し出される場合は割駒との間に隙間が生ずる。これらの動作は、昼夜で互いに逆向きなので、割駒の間隔が昼側で広がった分が夜側に生じた隙間を埋める形で、昼夜の割駒が正しい位置に移動する。

(2) 輪列構成と 1 年の算定日数：文字盤の駆動歯車は、固定側が 72、可動側が 73 の差動歯車で、歯数 10 の筒状かなが可動側に固定されている。輪列は、歯数 20 の連絡用歯車を経て歯数 50 の年周カムを持ち年周歯車として働く内歯車に連結されている。当機構の 1 年の算定日数は 365 である。輪列構成データ等を表 1 に記す。

5. 不定期法自動表示機構の分類と特徴

1) 不定期法自動表示機構の方式と歯車輪列データ

表 1 に今まで解説してきた不定時法自動表示機構を持つ 10 点の和時計について、機構を構成する歯車輪列データ、1 年の算定日数の計算式、算定日数および 1 年の平均太陽日 365.2422 日に対する誤差を一覧表にして記した。

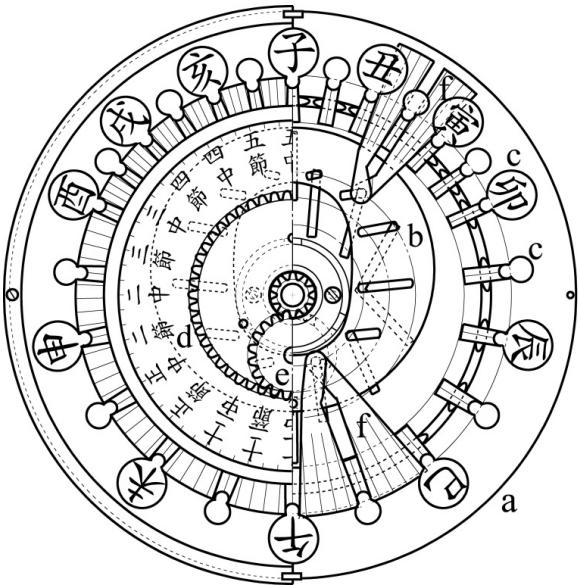


図 22 伊豫在政の自動割駒式文字盤機構図

表1. 不定期法自動表示機構の歯車輪列と年周動作の日数の算定

自動化形態	駆動方式	資料名 (製作者)	所蔵等	上段：歯数() 内かかな歯数 下段：減速比計算	1年の算定日数	誤差(日)
自動割駒式 文字盤	振子掛時計機械 (岩野忠之作)	松坂市個人蔵		30, 30(10), 30(6), 30(3), 72** 30/10×30/6×72/3	360	-5.2422
	円天符枕時計機械	イス時計学会誌 Vol.11 (1886) 掲載		30, 30(8*), 32(8*), 30(3*), 73** 32/8×30/8×73/3	365	-0.2422
	八角卓上時計 (三宅正利作)	旧ロックフォード 近江八幡市個人蔵		25, 25(6), 36(6), 25(5*), 73** 36/6×25/6×73/5	365	-0.2422
	八角卓上時計	近江八幡市個人蔵		30, 30(6), 36(6), 30(6), 73** 36/6×30/6×73/6	365	-0.2422
	円天符枕時計機械 (三宅正吉作)	「調時」22号 (1968) 掲載		20, 40, 40(6), 30(6), 24(6), 54** 40/20×30/6×24/6×54/6	360	-5.2422
	虫歯車反転 クラシク腕駆動	万年時計 (田中久重作)	株式会社東芝蔵 国立科学博物館展示	16, 45(5), 50(5), 65** 45/16×50/5×65/5	365.625	+0.3828
	振子円グラフ式 掛時計 (在政作)	葛飾区個人蔵 国立科学博物館展示		72, 73(12), 24, 60** 73×60/12	365	-0.2422
	伸縮指針 年周力ム駆動	セイコーミュージアム 蔵		72, 73(12), 24, 60** 73×60/12	365	-0.2422
円グラフ文字盤 自動伸縮指針	振子円グラフ式 掛時計	セイコーミュージアム 蔵		73, 72(12), 24, 60** 72×60/12	360	-5.2422
自動割駒式 文字盤	扇板スリット円盤 駆動	一挺天符槽時計機械 (伊豫在政作)	長野市個人蔵	72, 73(12), 20, 50** 73×50/10	365	-0.2422

*印は、写真や図から判断できなかつたかなの歯数を算定日数に合うように選んだ数値である。

**印は年周歯車である。万年時計を除いて全て年周力ムが採用されている。誤差が負の値の場合は、機構が誤差の日数分進むことを意味し、1年間に機構を逆回して調整する必要がある。

それによれば、10点の不定時法自動表示機構の内、7点が自動割駒機構を持ち、残り3点が円グラフ文字盤による自動伸縮指針機構を持つ和時計であった。また自動割駒機構の7件の内、松坂市の掛時計のような放射状腕切込み楕円板駆動方式の和時計4点と最も多く、続いて自動伸縮指針3点が、そして「調時」掲載の放射駆動腕年周カム駆動方式、万年時計のクランク駆動虫歯車反転方式、扇板スリット円盤駆動方式の各1点と続いている。

2) 歯車輪列における1年の算定日数の計算

データを見る限り、歯車輪列は類似したものはあるが一つとして同一のものではなく、そこに製作した時計師の試行錯誤と工夫の痕跡が垣間見られる。

興味深いのは、各機構が整数の歯数を組み合わせて、1年をどのような日数で近似的に算定しているかという事実である。多くの機構が年周歯車に歯数72ではなく73を採用しているのは、この歯数を5倍した365が1年の平均太陽日365.2422を近似するのに都合が良いからである。歯数72では算定日数は360日となり1年で5回以上文字盤を回転し、修正を加えなければならぬが、歯数73では4年に1回の修正で済む。

3) 各不定時法自動表示機構の特徴

(1) 放射状腕切込み楕円板駆動方式：同方式は、年周カム、切込み楕円板、放射状駆動腕の採用が特徴的である。年周カム、駆動腕と割駒の接続部による遊びなどの課題はあるが、切込み楕円板と同心円溝でスライドさせる駆動腕は、多くの割駒を一斉に動かす機構としては大変巧妙な優れた機構と言うべきであろう。年周歯車が和時計によって歯数72と歯数73の二つのケースがあり、これから1年の算定日数360日と365日両方の製作例が存在することが判る。

もう一点、切込み楕円板駆動方式には幾何学的誤差があることを指摘しておく必要がある。すなわち誤差は、切込み（スリット）が割駒の動く円弧と円弧の両端を結ぶ弦を斜めに横切るために、それぞれの交点の中心角 θ が僅かにずれて生ずるものである（図23）。ここで誤差が最小になることが予想されるのは、切込みと弦が直交する場合（ $\phi=90^\circ$ ）である。

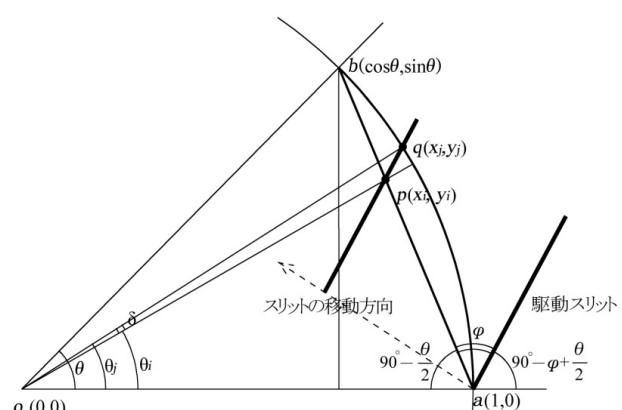


図23 放射状腕切込み楕円板方式の幾何学的誤差原理図

楕円板の切込みの位置は条件によって変わるが、図 24 の左は、放射腕の間隔が最も狭くなる夏至において放射腕の突起が同一円周上にある場合の切込み楕円板（最も機構全体がコンパクトにまとめられるメリットがある）、図 24 の右は、幾何学的誤差が最小になるように計算して切込みの位置を描いた切込み楕円板である。前者については三宅正利作の八角卓上時計の切込み楕円板の例に見られるもので、後者については岩野忠之の掛時計の例が最もそれに近いが一致する切込み楕円板の例はない。それぞれの切込み楕円板の幾何学的誤差を図 25 に示した。図 25 の実線で示すように、前者の切込み楕円板では、特に明け六つ、暮れ六つで誤差が異常に大きいことが判る。

(2) 放射状腕年周カム駆動方式：「調時」掲載の放射腕年周カム駆動方式は、松坂市で代表される放射腕切込み楕円板方式とは放射腕の採用は同一だが、その駆動方法は同じものではないよう見える。歯車輪列は松坂市他のものとは異なり、年周歯車と思われる歯数 54 から 1 年の算定日数 360 日を得る。作者三宅正吉は、旧ロックフォードの自動割駒の作者三宅正利と縁戚などの関係が予想され、放射駆動腕の技術が伝達・改良されて切込み楕円板の採用に結びついたのではないか。

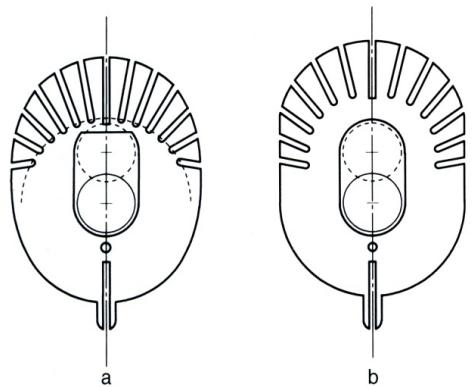


図 24 2 種類の切込み楕円板の形

左：三宅正利の切込み楕円板

右：幾何学的誤差が最小の楕円板

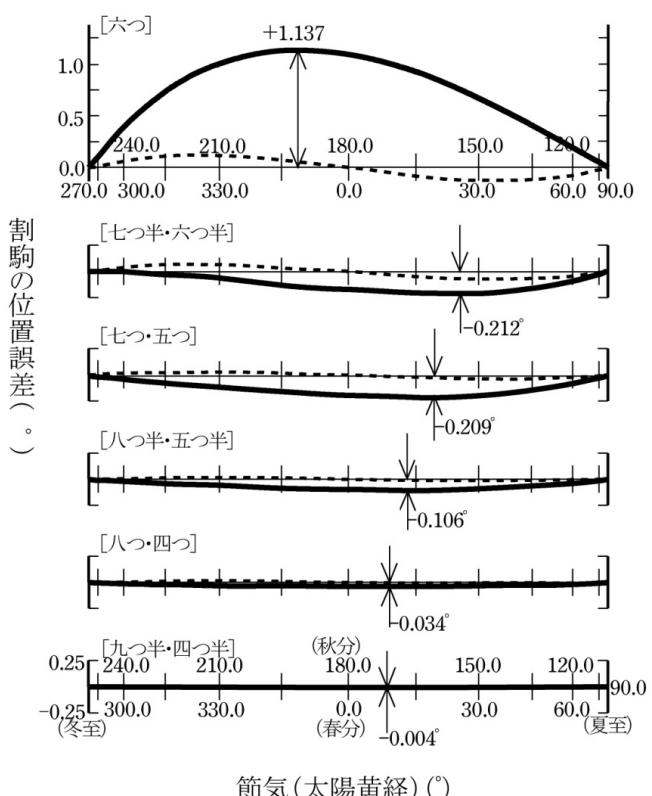


図 25 割駒の位置誤差

実線：三宅正利の自動割駒式文字盤

点線：幾何学的誤差が最小の自動割駒式文字盤

(3) 虫歯車反転クラシク駆動方式：万年時計の虫歯車反転クラシク駆動方式については、自動割駒式文字盤としてはかなり特殊な方式で、年周動作を果たすための輪列は、放射腕切込み楕円板方式などとは全く異なる輪列構成となっている。輪列は比較的単純で、年周歯車の歯数は多く使われている 73 でなく少し少ない 65 を採用しているが、歯数 16, 歯数 45(5), 歯数 50(5) の輪列を用いて、365.625 日という良い近似値を得るのに成功している。歯数 16 を 18, 歯数 65 を 73 とすれば算定日数 365 日を得られるが、これ採用しなかった理由は不明である。久重は河内枚方の三宅の工房で自動割駒機構を見る機会があったといわれるが、久重の職人としての意地が独自のアイデアにこだわらせたのかも知れない。

問題点として、虫歯車の反転動作時に「遊び」による停止期間があることが予想される。

(4) 伸縮指針年周カム駆動方式：円グラフ式文字盤方式は、内歯車上のカム溝によって 1 年 1 回伸縮動作をするもので、年周動作に最も役割を果たすのは回転文字盤の駆動が固定側歯数 72 と可動側歯数 73 が重ね合わされた作動歯車になっていることである。年周カム溝中の指針の突起の「遊び」の問題はあるが、グラフで不定時法時刻を正確に描くことは可能であり、摩擦抵抗の少ない単純な輪列構成で目的を果たしている点で、理にかなった大変優れた機構である。しかし、円グラフ文字盤八角掛時計が差動歯車の可動側に不利な歯数 72 を採用した理由は説明できない。掛時計の製作者は、在政の掛時計を見てその巧妙さに驚き、自動伸縮指針機構を取り入れようとしたが、その機構の本質までは見抜けずに誤った構造を採用してしまったのであろう。

(5) 扇板スリット円盤駆動方式：長野市の櫛時計の自動割駒式文字盤は、年周動作を実現する差動歯車と歯車輪列が葛飾区の掛時計のものと同一なのは、両者が伊豫在政作であることから理解できる。しかし扇板スリット楕円板駆動方式は、他のどれとも類似しない全く別の機構である。この機構は、扇板の引き込み、押し出しの際に、扇板が割駒間の間隔を広げたり狭めたりすることによる摩擦抵抗が大きかったことが想像される。しかし、実際に機構を動かす機会を得たが、予想に反して軽い動きであったことを記す。

3) 和時計の不定時法表示機構から見た江戸技術のオリジナリティ

時計師達は、室町末期に西洋に学んだ時計製作技術から出発し、まず不定時法時刻に対応する機構を発明し、さらにそれを発展させて不定時法自動表示機構の発明に結びつけた。それは、江戸時代の人々の社会生活における要求から生まれたものである。各作品はオリジナリティに溢れ、当時の時計師が苦労して積み重ねた試行錯誤の痕跡とそれを成し遂げた時計師の情熱がストレートに伝わってくる。それは、日本人のもの作り原点ではないかと思わせるものである。

どのような技術も、先行技術に学び、消化して自分のものとし、工夫と改良を加えて発展というプロセスを辿る。不定時法の自動表示機構のように、日本人ならではの発想によって生まれた

技術は、それこそ日本のオリジナル技術というべきものである。それは日本の風土、環境、人が育んだ技術で、すなわち日本の文化そのものなのだ。

6. 結言

歴史は未来を照らす灯台である。「温故知新（古きを温め新しきを知る）」は、そのことをよく言い表している。われわれが行き詰ったとき、進むべき方向を決めるのに頼りになるのは、先人達が築いてきた歴史しかない。和時計技術のように、江戸時代には長く続いた平和に育まれた誇るべき技術がある。その点でわれわれはもっと江戸時代を知る必要がある。

資料を収集して次世代に伝える。これは、博物館の重要な社会的役割の一つである。また博物館は、資料によって、先人達が何を考え、何を作ってきたかを伝える場所である。資料は、歴史を実証する物証である。ここで言う資料とは実物（本物）で、実物だからこそ説得力を持つのだ。また歴史は、個人の、コミュニティあるいは民族の、引いては国そのもののアイデンティティを確立し、自信を支える。博物館は、資料を守ると共に、歴史を守り、文化を守り、国を守る砦なのだ。

文 献

本稿は、以下の文献を基にしている。詳しくは、これを参照頂きたい。

- 1) 佐々木勝浩・橋本毅彦・土屋榮夫・近藤勝之・岡田和夫, 2005年.「和時計に於ける不定時法自動表示機構」. 国立科学博物館研究報告E類, 第28巻, 31-47頁.
- 2) 佐々木勝浩・岡田和夫・加藤實, 2007年.「和時計に於ける自動割駒式文字盤機構とその幾何学的誤差」. 国立科学博物館研究報告E類, 第30巻, 1-13頁.
- 3) 佐々木勝浩・近藤勝之, 2009年.「天保五年在政作円グラフ式文字盤自動伸縮指針掛時計」. 国立科学博物館研究報告E類, 第32巻, 21-27頁.
- 4) 佐々木勝浩・近藤勝之, 2013年.「文政十二年（1829）伊豫在政作自動割駒式文字盤和時計」. 国立科学博物館研究報告E類, 第36巻, 27-38頁.

第2部 質疑応答

講演が延長し時間が不足したため、質疑については、別途、幹事会社を通じて、講師へ連絡するものとした。

以上