

# 絵巻物に描かれた牛車車輪の輪郭の形状について

## — スーパー楕円のあてはめによる形状パラメータの抽出 —

竹之内 和樹 Kazuki TAKENOUCHI

大月 彩香 Ayaka OHTSUKI

**概要:** 絵巻物に描かれた車輪をはじめとして、円形の物体が傾いた状態を描いた、楕円に類似した形状について、長軸と短軸の比に加えて楕円からのずれを調べ、スーパー楕円をあてはめたときの輪郭座標の冪指数  $n$  の値を定量的に求めた。判定指標を導入して評価することで、前報で冪指数の値を変えて作図した輪郭線との重ね合せから推定した  $n=2.2\sim 2.4$  を、より正確な値に修正することができた。車輪輪郭に対して座標軸を適切に決めることの重要性も知られた。

**キーワード:** 造形論／絵巻／投影法／スーパー楕円／冪指数

### 1. はじめに

明治初期には、コンパスを用いて作図した円弧を接続する楕円作画法が出版され<sup>[1]</sup>、西洋的作図法が導入されているが、それ以前の楕円の描画・作図はどのように行われていたのであろうか。

平治物語絵巻をみれば、建物は斜投影法的に表現されている<sup>[2]</sup> のに対して、実形が円であるべき牛車の車輪は、牛車の方向にかかわらず、縦に長い楕円のような形に描かれており、車輪は斜投影とは異なるようである。そこで、我が国の絵巻に描かれた車輪の形状を図学的な視点から調べることにした。楕円は、車輪や桶といった円形の物体の表現として古くから絵図に含まれていることから、それらを資料にして、実形が円である物体の投影表現を系統的に調べることに発展させることができそうである。このような、実形が円である車輪の図表現については、描画形状を楕円と仮定したうえで、投影方向と軸方向、長軸/短軸比(円の傾き角)を詳細に、多数の絵巻を整理した系統的調査<sup>[3]</sup> がある一方で、輪郭形状自身に着目したものは見当たらないようである。

そこで、前報<sup>[4]</sup> に加え、車輪輪郭の形状自身にも目を向け、簡便に形状パラメータを抽出することを試みた。

描画された形状の特性が数量化できれば、形状認識における主要な視点や、描画の原理に言及できる可能性がある。本報では、平治物語絵巻 三条殿焼討巻<sup>[5]</sup> を資料とし、牛車車輪の描画について解析した結果を報告する。

### 2. 平治物語絵巻

本報で主に解析の対象にした平治物語絵巻 三条殿(さんじょうどの)焼討[夜討]巻<sup>[5]</sup>(縦 41.3cm×横 699.7cm)を図 1 に示す。これは、藤原信頼および源義朝による後白河上皇の拉致と御所三条殿の焼討を描いたもので、古画の模写も多く行った住吉廣行により、1798 年に模写された。享保 5 年(1720 年)の禁書緩和以降、幾何学など多くの西洋科学が日本に入ってきたと言われるが、この絵図は、「原本に忠実に模写した」と伝えられており、用器画法とは異なる、我国の手法によると考えてよいように思われる。

この絵巻には、焼討を行う者に加えて、人員搬送・戦闘車両として 10 台の牛車が描かれている。牛車は、左右に長方形の壁を互いに平行に設けた箱型の屋形(やかた)を大径の車輪(くるまのわ)で支えた乗り物である。特徴的な形状を抽出すれば、直方体とその面のひとつに平行な円形とから成り、直交 3 軸方向の長さおよびその 2 軸により張られる平面内の円の直径が測定できる。

### 3. 牛車の表現と状態の読み取り、特性値の測定

図 2 に牛車の形状、名称<sup>[6]</sup> を示す。牛車は直方体に近い「屋形」を左右一対の大型の車輪「輪(くるまのわ)」に載せた構成であり、牛をつないで曳かせるための轆が前方に伸びている。

図 3 に、絵巻から一部の牛車を抜き出して示す。牛車 H をみれば、前板の上端は絵巻の水平線と平行で、正

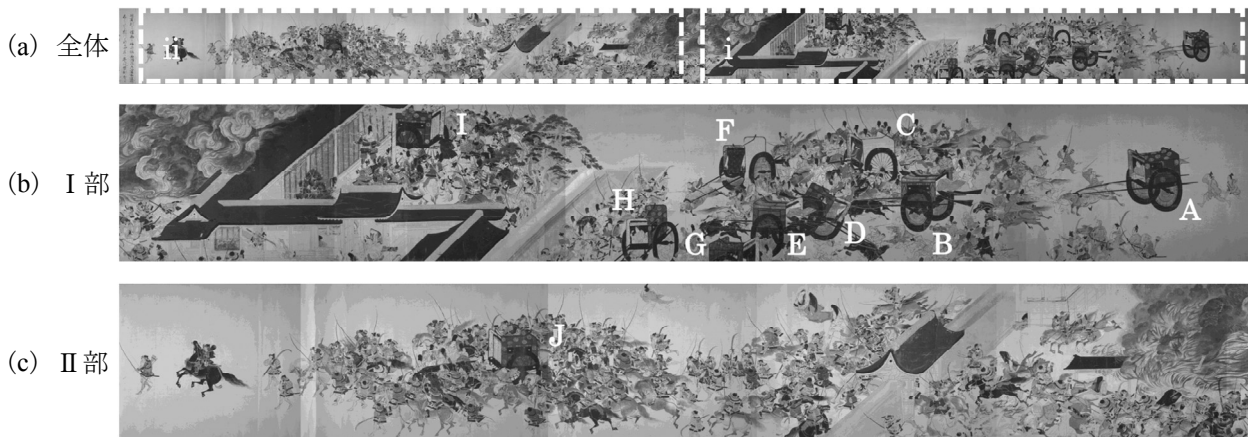


図 1 平治物語絵巻<sup>[5]</sup>

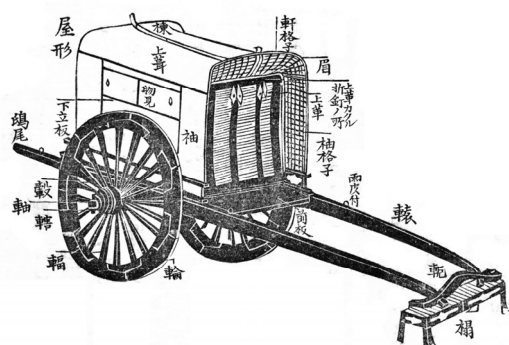


図2 牛車の各部名称<sup>[6]</sup>

面の出口は長方形であり、この面が紙面と平行であることが意識されるようである。そうすると、屋形の側面は、視方向に垂直ではないことになり、この面に平行な車輪も傾きを意識して描画されるであろう。実際、牛車 H では、車輪は縦に対して横方向の寸法が 0.6 倍の長円状に表現されている。

一方、右から左に向かって疾走している牛車 B では、

屋形の側面の窓である物見はほぼ長方形に描かれており、その横の辺はほぼ水平方向で、右側面が紙面に正対する姿勢に近いようである。この状態において紙面とはほぼ正対する車輪面の外形は、円でなく明確に縦長に描かれている。

さらに、上記以外の牛車も見れば、車輪はすべて楕円状で、屋形側面がほぼ実形の長方形で描かれる牛車 A~C, J でも円形には表現されていない。また、それらの長軸は、図 1 で転倒している牛車 D を除いて、鉛直方向である。ただし、牛車の方向と関係するの、車輪の縦横方向の長さの比率は一定していないようである。

車輪の以外の表現に目を向けると、牛車の動静も車輪で表現してあり、輻(や)が描かれているもの、輻は全く見えず車輪の回転による輻上の点の軌跡に相当すると思われる長円状の線が多数描かれたもの、これに輻の影に見える放射状の線が付加されたものの描き分けが認められる。

これらの点に注意しながら、車輪の屋形の寸法が測定でき、対になる姿勢がある牛車 A, B, C, F, H, J について、絵図の中で奥行き方向の位置、屋形・轆の方

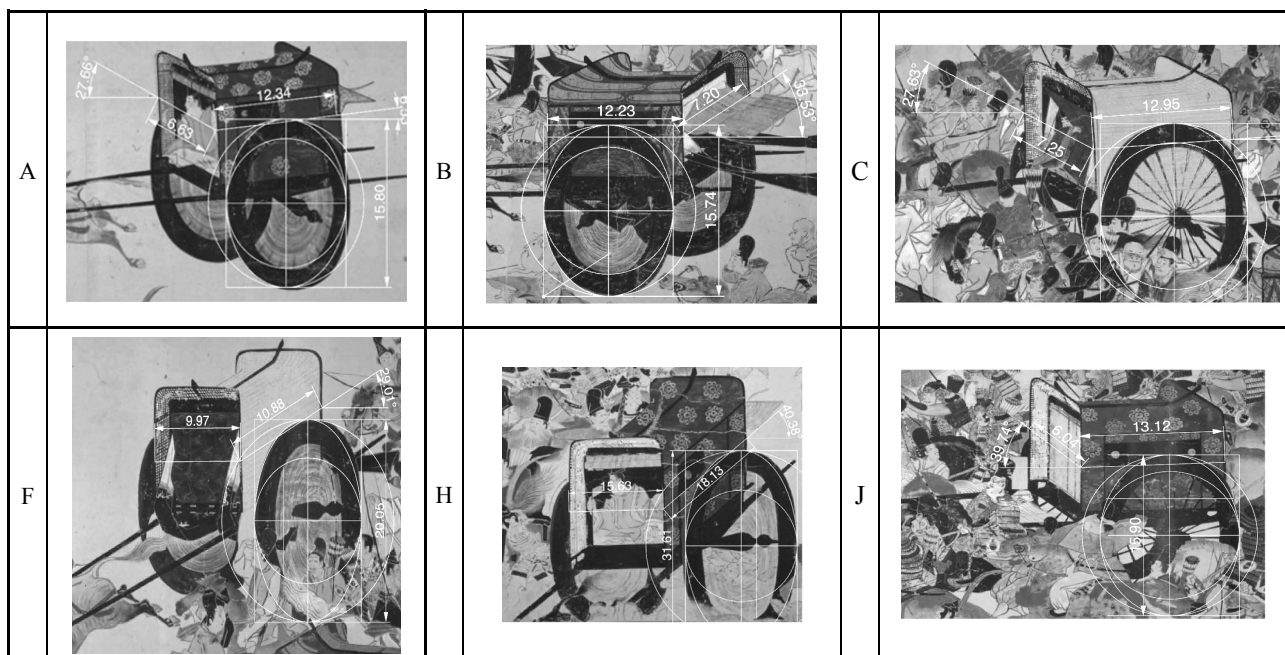


図3 牛車部における図法解析結果  
(図中の長さ寸法は作業時の画面解像度を単位としている)

表1 牛車の状態と特性値

	位置 近・中・遠	方向/向き	牛	輻	動き	車輪 <sup>*1</sup>			屋形 <sup>*2</sup>				
						長軸	短軸	短/長	幅	奥行	幅/長	奥行/長	傾き <sup>*3</sup>
A	中	横/左	有	不	速	11.3	8.7	0.77	4.8	8.8	0.42	0.78	28°/7°
B	中	横/左	有	不	速	11.3	8.2	0.73	5.1	8.7	0.46	<u>0.78</u>	34°/0°
C	遠	横/左	有	描	遅	10.9	8.3	0.76	4.6	8.2	0.42	0.75	28°/4°
F	中遠	斜/左下	有	不	速	11.2	7.8	0.70	5.6	6.1	<u>0.50</u>	0.54	0°/29°
H	近	斜/左下	有	不	速	12.8	7.6	0.59	6.8	7.4	<u>0.49</u>	0.57	0°/40°
J	中	横/左	無	描	静	11.2	8.8	0.79	4.3	9.3	0.38	<u>0.83</u>	40°/2°

1 車輪の対称軸の長い方を長軸、短い方を短軸と記述。車輪、屋形の寸法は、絵図の資料化において付加されたスケールにより測定。

2 下線を付した数値を実長相当と仮定した。

3 傾きは「幅方向/奥行き方向」の順に記載。

向と向き、牛の有無、輻の表現に基づく牛車の動静の様子を読み取り、車輪の大きさ、屋形の幅と奥行き(長さ)および屋形の幅・奥行き方向が絵図の水平線となす角を測定した。なお、描かれた車輪の輪郭は、後述するように楕円よりはスーパー楕円に近いが、便宜的に2本の対称軸方向の寸法のうち長い方を長軸、他方を短軸と記述した。また屋形の奥行きの測定は、物見の下端に統一して、正確さを確保した。牛車の動きは、輻の描かれ方で、速・低・静の三通りに大別した。

表 1 に各牛車の測定結果<sup>[4]</sup>の一部を示す。車輪や屋形の寸法は、牛車 A と C を例として、類似した方向・向きにおけるものでも異なり、また、遠近による規則も明確ではないようである。車輪についてみれば、牛車の方向にかかわらず車輪の長軸長さに対して短軸長さは0.6~0.8 の比率で一定せず、類似の方向・奥行きの位置にある A, B と J の間でも 0.73, 0.79 と 1 割程度異なる。

#### 4. 車輪輪郭の解析

図 3 には、描かれた車輪の長軸と短軸の長さを求めるための車軸を中心とした 2 つの同心円に加え、これらにそれぞれ内接・外接する楕円を描いている。車輪の輪郭線に直線部は認められないので、車輪は長円ではなく楕円で描かれていると想定したが、中心から±45°方向の近辺では、車輪の輪郭が楕円から外側にはみ出していることがわかる。第 4 章の楕円の軸方向の解析と併せて、絵巻に描かれた車輪は、形状、姿勢について、ともに円の斜投影とは明確に異なることが知られる。

当時、歪んだ円をどのように捉えて描いたかについては今後の調査・考察によるとして、ここでは、できるだけ少ない特性値で形状の特徴を表すために、車輪の輪郭をスーパー楕円

$$|x/a|^n + |y/b|^n = 1 \dots\dots\dots (1)$$

と仮定し、楕円からのずれを冪指数  $n$  の値で定量的に評価してみた。

図 4 に、牛車 B と H について、スーパー楕円の冪指数の概略値を知るために、 $n=2$  から 3 まで 0.2 ごときの 6 段階に変化させたときのスーパー楕円を車輪に重ねて描いたものである<sup>[4]</sup>。車輪の輪郭は上下および左右について対称からのずれがあり、図 6 における車輪輪郭の

スーパー楕円へのあてはめの良否には感覚的な判断を含むが、 $n=2.2\sim 2.4$  がよく重なるようである。

この冪指数の値を、精度を上げて推定するために、車輪の輪郭座標をもとにした数値的評価を試みる。

図 5 は、車輪輪郭の座標値取得のための作業過程の一部である。360°を180に等分割する放射線を、背景を透過して解析対象と重ねて PC のディスプレイに表示し、WinAPI の GetCursorPos 関数を用いて、放射線と車輪輪郭との交点の座標を取得した。これにより、放射線の中心から水平右向きを 0°として 2°ごとの  $(x, y)$  の組 180 個が得られた。なお、この輪郭取得の放射線の中心は車輪の軸上にとることを予定したが、図に示した牛車 B では、幾分ずれた位置に置く方が、車輪輪郭との位置関係はよいように思われた。また、図 3 で他の牛車をもみても、車軸と車輪の外・内接円の中心とは必ずしも一致していない。したがって暫定的な座標原点は、輪郭を基準にした感覚的位置合せによっている。車軸の描かれた位置が必ずしも車輪の中心位置を与えないのでは、全周の輪郭が示されていない車輪は中心位置が特定できないため、以降の解析では、牛車 A と B を対象にする。また、屋形の高さ方向は必ずしも絵巻の用紙に対して水平・垂直ではないようであるが、デジタル化資料の水平方向を  $x$  軸、これに垂直に  $y$  軸をとった。

図 6 には、牛車 A, B について、取得した座標を、長半径  $b/2$  で無次元化して黒丸で示す。短軸長、長軸長は、それぞれ取得した輪郭を挟む  $x$  軸,  $y$  軸に平行な二組の平行線で挟んだ時の幅、すなわちそれぞれの  $x$  座標,  $y$  座標の最大値と最小値との差として求めた。また、

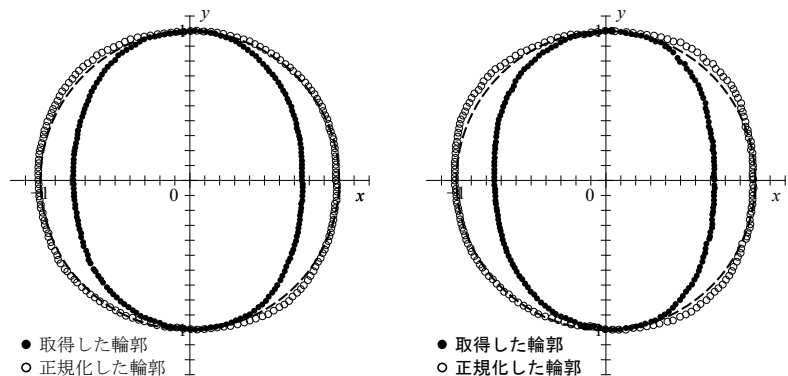


(a) 牛車 B (b) 牛車 H

図 4 車輪の形状<sup>[4]</sup>



図 5 車輪部に重ねた放射線のテンプレート (牛車 B)



(a) 牛車 A (b) 牛車 B

図 6 車輪輪郭の形状

原点は、輪郭座標の算術平均による位置とした。白丸で示したのは、 $x$  座標、 $y$  座標をそれぞれ短半径  $a/2$ 、長半径  $b/2$  で正規化した形状であり、これと比較するために、半径 1 の円  $x^2 + y^2 = 1$  を破線で示した。図 3 において車輪に楕円を重ねて確認している通り、車輪の輪郭は、座標軸から離れた位相角位置において破線よりも外側に膨らみ、2 次曲線である楕円よりも高い次数  $n$  の形状で近似することが適切であることが再確認される。

あてはめに適正な  $n$  の値を見積もるには、あてはめの良否を判定するための指標が必要になる。これに式(1)からのずれの輪郭全体にわたる平均値利用することにして、以下の残差平均  $\Delta_0$ 、残差絶対値の平均  $\Delta_1$ 、残差平方和平均の平方根  $\Delta_2$  の 3 つを提案する。

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= \sum \left( |x/a^n + |y/b^n - 1| \right) / N \\ \Delta_1 &= \sum \left| |x/a^n + |y/b^n - 1| \right| / N \quad \dots\dots\dots (2) \\ \Delta_2 &= \sqrt{\sum \left( |x/a^n + |y/b^n - 1| \right)^2 / N} \end{aligned}$$

ここで、 $N (=180)$  は輪郭座標の組の数である。

$x$  軸方向、 $y$  軸方向の直交 2 軸上の輪郭値は  $[-1, 1]$  に正規化されていて、式(2)の  $\Delta_0$  は、車輪の輪郭が冪指数値が  $n$  の値のスーパー楕円よりも半径外側にあれば正、内側にあれば負の値をとり、全周に渡ってスーパー楕円と重なるときに零となる。したがって、 $\Delta_0$  が零になるときの  $n$  が適正近似形状を与える。ただし、正負の残差が相殺する場合も零となるので、これに対して、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  は、ずれの向きに関わらず正値を与えるので、その最小値における  $n$  が適正となる。 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  が零になるときは、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  の違いは、 $\Delta_1$  に対して  $\Delta_2$  の方が、大きなずれを小さなそれに対して、より厳しく評価する点にある。

表 2 は、種々の  $n$  の値での式(2)による残差評価値を示す。 $\Delta_0$  が零となると、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  についてはそれぞれが最小となるときの  $n$  のあてはめの好適値を与えるとして、網掛けを施した。

まず、(a) 牛車 A についてみれば、 $\Delta_0$  と  $\Delta_1$  は  $n=2.14 \sim 2.15$  を示すのに対して、 $\Delta_2$  では  $n=2.15 \sim 2.16$  とこれらより少し大きな値である。(b) 牛車 B では、あてはめに適正な  $n$  の値はどの指標においても牛車 A におけるよりも大きな値を示し、全体を平均して 2.23 程度である。

**表 2 冪指数  $n$  と式(2)の残差平均値の変化** (用紙を基準に座標軸を決定した場合)

(a) 平治物語 牛車 A

$n$	2.12	2.13	2.14	2.145	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19
$\Delta_0$	0.0044	0.0026	0.0009	0.0001	-0.0008	-0.0025	-0.0041	-0.0058	-0.0075
$\Delta_1$	0.0202	0.0201	0.02000	0.02002	0.0201	0.0202	0.0203	0.0206	0.0209
$\Delta_2$	0.0243	0.0238	0.0235	0.0233	0.02328	0.02327	0.02335	0.0238	0.0243

(b) 平治物語 牛車 B

$n$	2.21	2.217	2.22	2.23	2.24	2.25	2.255	2.26	2.27
$\Delta_0$	0.0012	0.0001	-0.0004	-0.0020	-0.0036	-0.0051	-0.0059	-0.0067	-0.0098
$\Delta_1$	0.0270	0.0269	0.0268	0.0267	0.0266	0.02656	0.02656	0.02656	0.0266
$\Delta_2$	0.0317	0.316	0.0316	0.0315	0.0316	0.0318	0.0319	0.0320	0.0324

ただし、各指標が示唆する好適値の大小関係は(a)におけるものと異なり、 $\Delta_0$  が最も小さな値を与え、次が  $\Delta_2$  で、 $\Delta_1$  は三者のうちで最も大きな値を好適値として示す。この三者による  $n$  の値の広がり、(a) が 0.02 程度であるのに対して、(b) は 0.04 ほどで、(a) よりも大きい点も異なる。

ここまでの解析では、スーパー楕円の対称軸である  $x$  軸、 $y$  軸は、暫定的に紙面の輪郭に対して平行、垂直な方向をもとに定めているが、図 6 の白丸と破線のずれを詳細にみれば、 $x$  軸の下部よりは上部で大きく、第三象限で、最も小さいようである。

そこで、上記の楕円あてはめによるパラメータ抽出の正確さを改善するために、座標軸の再設定を行った。まず、輪郭で囲まれる面積  $A$ 、一次モーメント  $I_x$ 、 $I_y$  から輪郭取得時に暫定的に定めた原点に対する補正量、すなわち図心位置  $(x_c, y_c) = (I_x/A, I_y/A)$  を求めた。次に、図心位置を原点とするように座標軸を平行移動して断面二次モーメント  $I_{xx}$ 、 $I_{yy}$ 、 $I_{xy}$  を算出し、座標軸の傾きを補正した。これらの各断面特性値の算出においては、式(3)のように定義式の二重積分の内項、外項ともに個々の積分要素の区間における代表値を用いた近似計算を行った。

$$\begin{aligned} A &= \int_0^{2\pi} \int_0^r r dr d\theta \approx \sum \frac{1}{2} \bar{r}^2 \Delta\theta \\ I_x &= \int_0^{2\pi} \int_0^r r \sin \theta r dr d\theta \approx \sum \frac{1}{3} \bar{r}^3 \sin \bar{\theta} \Delta\theta \\ I_y &= \int_0^{2\pi} \int_0^r r \cos \theta r dr d\theta \approx \sum \frac{1}{3} \bar{r}^3 \cos \bar{\theta} \Delta\theta \\ I_{xx} &= \int_0^{2\pi} \int_0^r (r \sin \theta)^2 r dr d\theta \approx \sum \frac{1}{4} \bar{r}^4 \sin^2 \bar{\theta} \Delta\theta \\ I_{yy} &= \int_0^{2\pi} \int_0^r (r \cos \theta)^2 r dr d\theta \approx \sum \frac{1}{4} \bar{r}^4 \cos^2 \bar{\theta} \Delta\theta \\ I_{xy} &= \int_0^{2\pi} \int_0^r r \sin \theta r \cos \theta r dr d\theta \\ &\approx \sum \frac{1}{4} \bar{r}^4 \sin \bar{\theta} \cos \bar{\theta} \Delta\theta \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ただし、式(3)における  $\bar{r}$  には隣接する輪郭点をつなぐ弧の始点、終点位置における半径  $r_i$  と  $r_{i+1}$  の単純平均  $\bar{r} = (r_i + r_{i+1})/2$ 、同様に  $\bar{\theta}$  には始点と終点における位

相角の平均値  $\bar{\theta} = (\theta_i + \theta_{i+1})/2$  を用いた。  $\Delta\theta$  はこの弧に対する中心角である。なお、半径1の円から位相角の間隔を  $2^\circ$  とした離散座標値を作成して、式(3)による計算を行った結果は、  $A=3.1415$ ,  $I_x = I_y = 0.0$ ,  $I_{xx} = I_{yy} = 0.7854$ ,  $I_{xy} = 0.0$  であり、それぞれの解析値である、  $\pi$ ,  $0$ ,  $\pi/64 = 0.7854$  に3桁以上の精度で一致するので、離散値による断面特性値の計算精度は議論に利用可能であると判断した。

表3には、上記の特性値をまとめて示す。図心位置は、輪郭座標の平均から求めた中心に対して、車輪の長軸方向の差し渡しの0.2%程度のずれであり、形状の対称性は悪くないようである。また、断面二次モーメント、断面相乗モーメントから慣性主軸の方向  $\alpha$  を次式

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{I_{yy} - I_{xx}}{I_{xy}} \dots\dots\dots (4)$$

により求めたところ、輪郭座標取得時にデジタル化資料の水平・鉛直方向から、表3に示すように  $2^\circ$  程度傾いていた。この結果をもとに、改めて図3を詳細に見れば、屋形の方法はこの慣性主軸の程度に傾いているようである。屋形の姿勢に対応して車輪が描かれているとすれば、車輪輪郭の座標取得のために設定する  $x$  軸、 $y$  軸も、これに対応してとるべきであろう。

そこで、図心位置を原点として、慣性主軸を  $x$  軸に、これに垂直に  $y$  軸を取り直した。さらに、以上の操作で設定した座標系での輪郭をそれぞれ  $x$  軸、 $y$  軸に平行な2組の平行線で挟んだときの、それぞれの中心を最終的な原点として座標軸を決定した。すなわち、 $x$  軸、 $y$

表3 車輪輪郭の形状特性値

	牛車 A	牛車 B	機巧図彙	近似楕円
面積 $A$	2.4754	2.4044	1.6308	2.0137
一次 $I_x$	0.0002	0.0159	0.0060	
$I_y$	0.0130	0.0205	-0.0005	
図心補正 $x_c$	0.0002	0.0085	-0.0003	
$y_c$	0.0123	0.0066	0.0037	
二次 $I_{xx}$	0.6334	0.6204	0.4335	0.5145
$I_{yy}$	0.3760	0.3422	0.1040	0.2024
$I_{xy}$	-0.0106	-0.0067	-0.1124	0.0000
主軸 $\alpha$	2.353°	1.388°	1.951°	
短軸/長軸 $a/b$	0.7680	0.7380	0.4930	0.6340
$\arcsin(a/b)$	50.17°	47.56°	29.53°	39.34°
二次 $I_{xx}$	0.6339	0.6205	0.4339	0.5145
$I_{yy}$	0.3756	0.3421	0.1036	0.2024
面積比 $A^*/\pi$	1.0259	1.0371	1.0530	1.0111

軸が慣性主軸とこれに垂直な方向で、原点がそれぞれの方向の輪郭の中央にある座標を再設定したことになる。このもとで、 $y$  軸方向の軸長で輪郭座標値を修正し、 $y$  軸方向の最大・最小値を、1.0、-1.0として、座標値の補正は完了である。この補正座標系での短軸/長軸比、各軸についての断面二次モーメントを表3に追加して示す。再下段の  $A^*/\pi$  は、輪郭座標の  $x$  値を、短半径に

表4 修正した中心位置、傾きでの冪指数  $n$  と式(2)の残差平均値の変化

(a) 平治物語 牛車 A

$n$	2.0	2.13	2.14	2.15	2.156	2.16	2.17	2.18	2.20
$\Delta_0$	0.02746	0.00441	0.00271	0.00101	0.0000	-0.00068	-0.00235	-0.00402	-0.00733
$\Delta_1$	0.02970	0.01455	0.01427	0.01423	0.01429	0.01433	0.01451	0.01473	0.01551
$\Delta_2$	0.03833	0.01913	0.01853	0.01815	0.01803	0.01799	0.01805	0.01834	0.01950

(b) 平治物語 牛車 B

$n$	2.0	2.20	2.21	2.212	2.22	2.226	2.23	2.24	2.26
$\Delta_0$	0.03607	0.00193	0.00032	0.00000	-0.00129	-0.00224	-0.00288	-0.00447	-0.00762
$\Delta_1$	0.04059	0.02649	0.02629	0.02625	0.02613	0.02607	0.02604	0.02602	0.02610
$\Delta_2$	0.05714	0.03475	0.03452	0.03448	0.03439	0.03437	0.03438	0.03447	0.03495

(c) 機巧図彙 ピン歯車

$n$	2.0	2.10	2.20	2.30	2.35	2.359	2.36	2.40	2.50
$\Delta_0$	0.05199	0.03642	0.02173	0.00785	0.00118	0.00000	-0.00013	-0.00531	-0.01780
$\Delta_1$	0.05304	0.03904	0.02714	0.01804	0.01600	0.01578	0.01576	0.01547	0.01969
$\Delta_2$	0.07153	0.05355	0.03723	0.02404	0.02002	0.01959	0.01955	0.01904	0.02586

(d) 等角楕円の円弧近似

$n$	2.0	2.03	2.032	2.04	2.045	2.0453	2.0492	2.05	2.06
$\Delta_0$	0.00867	0.00291	0.00253	0.00101	0.00006	0.00000	-0.00073	-0.00088	-0.00276
$\Delta_1$	0.01072	0.00999	0.00999	0.01010	0.01021	0.01022	0.01033	0.01035	0.01071
$\Delta_2$	0.01675	0.01331	0.01317	0.01276	0.01263	0.01263	0.01260	0.01260	0.01282

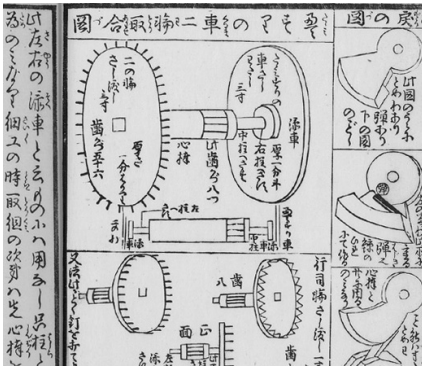
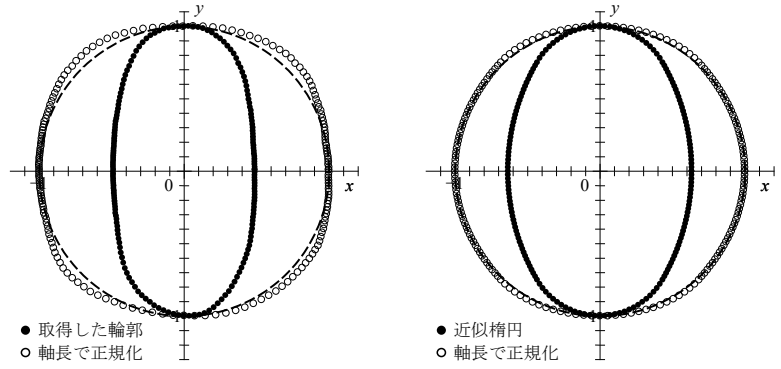


図7 機巧図彙  
(ピン歯車を含む機構)



(a) 機巧図彙(軸傾斜補正後) (b) 2円弧近似した等角楕円  
図8 傾斜円の輪郭の描画・作図形状

対する値に変えて得られる面積で、楕円の傾きを変えて円に変換した場合に相当する値を半径1の円の面積で除した値である。すなわち、正しい楕円から膨らんでいる割合を示す指標となる。

上記の様に、軸方向の傾きを補正した輪郭について、冪指数 $n$ に対する残差 $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2$ の値を再計算した。結果を表4に示す。結果は、(a)牛車Aの好適あてはめ値が $n=2.15\sim 2.16$ 程で、座標軸補正前よりもわずかではあるが $n$ の大きい側に变化した。一方、(b)牛車Bでは $n=2.22$ 程で、 $n$ の小さい側に好適値が变化した。これらの結果として、牛車Aと牛車Bの $n$ の値の差は小さくなった。また座標軸補正後は、 $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2$ のそれぞれが示す最適 $n$ 値のばらつきが小さくなることも知られた。これらのことは、あてはめによる $n$ の値の評価においては、座標軸方向を適切に決めることの重要性を示している。

ところで、あてはめの形状がスーパー楕円に一致すれば、これらの指標は同時に零になるので、翻って、 $\Delta_1, \Delta_2$ の値の大きさ、それぞれの指標が好適と判定する $n$ の値のちらばりが、スーパー楕円とのずれの程度を示すと考えられる。この点からは、牛車Bは牛車Aよりもスーパー楕円からのずれは大きいようである。

以上により、暫定的ながら $n$ の抽出手順が定まったので、傾いた円のふたつの描画表現を他の資料から抜き出して、同様の解析を行った。資料のひとつには、図7に示す、和時計やからくりなどの製作にかかわる機巧図彙を選び、円形の回転部品であるピン歯車を解析対象に追加した。機巧図彙は細川半蔵頼直によるもので1796年に出版されており、平治物語が住吉廣行により模写された1798年に近い。もうひとつは、等角楕円の2円弧を用いた近似作図図形、円に外接する正方形の等角投影図の頂点、頂点と辺の中点を結ぶ線分どうしの交点を円弧中心とする最も簡便なものである。

これらの輪郭を図8に、牛車車輪におけるものと同じ解析をした結果を、表3および表4に示す。

まず、図8(a)の機巧図彙のピン歯車は、牛車車輪よりも傾いた状態で描かれており、円相当に変形すると、座標軸に対して $\pm 45^\circ$ 方向の膨らみが大きい。これは表3の $A^*/\pi = 1.05$ の値からも確認できる。表4において $n=2.4$ 程度のあてはめが適切であることは、以上のことを反映している。牛車車輪と比較するとスーパー楕円に近いようで、 $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2$ のちらばりは小さい。次に、(b)の

2円弧近似の楕円をみれば、簡便な作図ながら、正確な楕円に近く、 $A^*/\pi = 1.01, n=2.04$ 程度で、平治物語の牛車車輪、機巧図彙のピン歯車とは明確に異なる。また、 $n$ のばらつきは牛車A、ピン歯車よりも大きく、牛車B程度で、スーパー楕円からの形状のずれは小さくないようである。

## 5. まとめ

住吉廣行の模写した平治物語絵巻三条殿焼討図に描かれた牛車車輪および同時代の機巧図彙のピン歯車の輪郭形状が楕円よりも高次の曲線であることを確認した上で、楕円からのずれに対して、冪指数値を用いた定量的評価を試み、スーパー楕円をあてはめる場合の冪指数値を求めた。これらの冪指数値は2を越え、今日、簡便な近似楕円の作図法として用いている2円弧近似の楕円よりも膨らんだ形状に描かれている。形状の特徴付与において異なる視点で描かれたものと判断される。また、スーパー楕円あてはめにおいては、適切な座標軸方向の選定が大切であるという知見を併せて得た。

## 参考文献

- [1] 多賀章人, 図法一斑(1880).
- [2] 小山清男, 日本の絵巻における絵画空間, 図学研究, 66号(1994), pp.21-27.
- [3] 田中保, 絵巻物のなかに描かれている牛車(ぎっしゃ)の表現, 名古屋大学教養部紀要, 第28輯(1984), pp.25-45.
- [4] 竹之内和樹, 大月彩香, 平治物語絵巻における牛車車輪の表現に関する一考察, 図学会2012年度秋季研究発表講演会, pp.77-80.
- [5] 住吉廣行(写), 平治物語絵詞 三条殿焼討巻(1798), 国立国会図書館デジタル資料.
- [6] 関根正直, 宮殿調度図解(1900), pp.114-115.

## 著者紹介

たけのうち かずき : 九州大学 芸術工学研究院 コンテンツ・クリエイティブデザイン部門, 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1, ktake@design.kyushu-u.ac.jp  
おおつき あやか: 九州大学大学院工学研究院 機械工学部門, 〒819-0395, 福岡県福岡市西区元岡 744