

辰巳用水から見た地磁気偏角

羽咋測量設計(株) 正会員 青木 治夫

A study on the geomagnetic declination from a view-point of Tatumi channel

by Haruo Aoki

概 論

辰巳用水は、1632(寛永9)年、当時の先端技術であった隧道に横穴を用いて掘り、かつ末端で木管による逆サイフォン工法を用いた遺存状態のよい用水である。

1981年、総合学術調査が行われた際、隧道区間の実測が行われ、区間別の建設年代が明らかにされ、鉾山との関係が論じられた。その実測図によると、相互横穴間にある隧道は、主として三線からなり、それを結んだ線形が特長のある折線形状を示していた。

近世初期わが国では、方向は磁石で求めていたから、寛永期隧道で隧道方向設定の基準とした横穴の中心線実測方向角によって、用いられた磁石の伝来系統と方位数を調べてみた。それには地磁気偏角値が必要であり、実測値ではないが、考古地磁気学による寛永期の金沢における偏角、東偏 8.3° を用いて試算してみたところ、中国系の48方位刻み磁石を用いていたことが分かった。近世中期になって、鉾山技術が記述され始めたが、その史料によると、鉾山では中国系磁石を使用していたことが明らかで、両者の技術の類似性が確かめられた。

隧道中心線の折線の集合は、48方位の 7.5° 刻みの磁石で方向設定したため生じたものであろうが、隧道設定に関する文献にも論究を加え、かつ試算法の応用について述べる。

〔キーワード：近世初期、用水隧道測量、地磁気の偏角〕

1. はじめに

わが国の鉾山では慶長期になって初めて、兵庫の生野鉾山で疎水坑が掘られ、続いて秋田の院内銀山で掘られた。¹⁾これが、鉾業生産に効果があることが分かると、全国の主要鉾山で用いられるようになった。この疎水坑の鉾山導入から少し遅れて、近隣の赤穂用水に続いて岩堰用水が隧道を用いて造られた。この事実から用水隧道が鉾山技術によって掘られたと考えられよう。²⁾

この頃までの用水の水路は開渠によっていたが、水路を山肌に掘り込むことの困難な地形³⁾や、流域変更するため山を貫通する必要がある場合⁴⁾、隧道を用いて用水の築造が可能となった。

辰巳用水は、1632年加賀藩三代藩主利常によって、藩用用水として造られた。⁵⁾その用水全長約10kmの1/3に隧道が用いられた。その隧道工法は、『梅津正景日記』(以下『梅津日記』という)の記

述から、院内銀山から直接か、或いは秋田の岩堰用水で横穴を用いた工法が伝えられたのではなかろうか。⁶⁾

辰巳用水の隧道を調査してみると、隧道の中心線が屈折線形の集合からなっていた。⁷⁾その形成要因は、測量法に基因するものでなかろうか。この時期、わが国に角度の概念はなく、⁸⁾方角には磁石の方位⁹⁾を用いるしかなかった。その方位は、細分方式の異なる中国系か南蛮系の磁石によって求められたであろうが、その方位の目盛は数少なかった。¹⁰⁾

当時の鉾山の坑道設定技術を伝えるものに、辰巳用水築造から半世紀後の『鉾山至宝要録』¹⁰⁾(以下『要録』という)の「小羽継法」や坑道方向に中国系の24方位の記入した『院内銀山惣絵図』¹¹⁾があり、また『秘伝地域図法大全書』¹²⁾に隧道方向の設定が中心線によっていなかったことなどがある。辰巳用水には、当初隧道が手を加えられずに残ってい

るから、その実測値によって、どの系統の磁石を用いられ、どの程度の細分（以下刻みという）目盛であったを確かめ、折線の原因を探ってみる。

その際、隧道中心線の方角を寛永期磁方位に換算するため、この時期の地磁気偏角が必要となる。近世初期、日本海側の地磁気の偏角値は、太平洋側のように観測値がない。金沢における最も古い記録は、1816年に加賀藩士が書いた『金沢御絵図仕立方術書』¹³⁾である。それによると、「正北ヨリ西ノ方へ一度七分五厘カタヨリ指ス是ヲ以テ御絵図ノ北方トス」である。

そこで、寛永期地磁気偏角は、文献によって推定するしかない。『地球電磁気学』¹⁴⁾にある太平洋沿岸で、外国船が行った記録に基いて求めた「日本の偏角永年変化（今道による）図」によると、寛永期の茨城の柿岡における偏角は東偏7°であり、わが国の等磁気偏角線が寛永期と1980年とで同じ傾向と仮定すれば、金沢の値は東偏7°となる。

実測によらない分野では、1980年9月の研究会の『磁場精密測定』¹⁵⁾で、加藤愛雄氏が宮城県の伊達正宗時代の構築物を調査し、「我が国の磁力計開発の歴史」に「1643年当時の日本付近の等偏角図」を発表している。それによると金沢では東偏5.5°である。

全く別の分野の研究であるが、「九谷古窯における考古地磁気学的研究」の「考古地磁気測定結果」¹⁶⁾に、地磁気永年変化曲線を与えている。その寛永期の値は、石川県の九谷で東偏8.4°であり、金沢との位置関係から、寛永期での金沢の値は東偏8.3°となる。

ここで、等磁気偏角線という仮定によらない値、東偏8.3°を辰巳用水着工年の金沢の地磁気の偏角値と考えてみる。

2. 隧道の実測

昭和56年、辰巳用水の総合学術調査が行われ、用水全長のほぼ半分を占める隧道の位置が、国家座標をもとに実測され、辰巳用水地形・平面図が作られた。⁵⁾ その平面図によると、隧道は河成段丘の形成斜表面に近接して設けてあり、地形の変化の多い位置にあった。その横穴間の線形は、S形・逆S形・山形・谷形の屈折線となっていた。

表-1 寛永期隧道の数値データ

横穴名	追加距離	単位 SN	距離 S	米:角度 S1	度:分秒 S1
T1	774.0	274.5320	180.1422	98.5901	
T4	760.8	285.4903	180.0000	90.0000	
*T6-1	787.0	277.4358	180.0000	90.0000	
T6-2	803.7	277.4358	180.0000	90.0000	
*T6-3	822.3	277.4358	180.0000	90.0000	
T8*	847.0	295.5439	207.4112	90.0000	
T15	928.8	259.2252	174.5129	110.0100	
T18	953.6	308.1817	192.3349	96.0000	
*T18-1	971.8	300.1817	180.0000	93.0000	
*T20-1	990.9	330.5248	180.0000	80.0000	
T23	1018.1	21.1859	207.4534	73.0000	
*T31	1111.9	353.2735	178.3641	105.0000	
カクレナ	1147.4	358.1048	180.0000	102.3000	
T36	1179.5	318.2423	156.3023	81.0000	
*T38-1	1207.7	300.3813	180.0000	99.0000	
T40	1230.6	3.0345	226.2518	97.4500	
T43A	1265.4	328.4844	191.3548	81.3300	
T46	1298.0	306.4121	187.5416	77.0000	
T46-1		306.4121	180.0000	90.0000	
T46-2		306.4121	180.0000	90.0000	
*T47-1		1.4032	180.0000	90.0000	
*T48-1		349.1036	180.0000	90.0000	
*T48-2		349.1036	180.0000	90.0000	
T49-1		28.4020	180.0000	90.0000	
*T53-1		27.2259	180.0000	90.0000	
T59	1479.6	23.4850	195.4302	89.4000	
T70	1764.6	294.3259	81.3834	0.0000	
T96	1987.6	230.4741	204.4524	120.2000	
T100	2071.4	260.0637	210.4500	176.2000	
*T107	2154.4	302.3112	262.1328	83.0250	
A62	2786.8	289.4058	173.2510	99.3600	
A66	2824.7	298.3510	178.4814	82.0400	
A93	3034.6	332.5557	195.4328	104.1250	
A95	3050.4	10.4252	186.5958	85.0800	
A157	3553.7	269.0749	205.5723	79.5100	
A173	3691.5	278.0913	180.2146	88.5300	
B10	3848.8	235.3206	194.5049	90.0000	
B12	3869.2	218.5425	181.5810	63.1830	
B14	3908.3	282.0457	222.4021	108.0210	
B15	3918.8	256.2358	154.1901	183.5340	
B18	1944.4	272.0320	190.3445	100.0000	
B22	3972.7	335.3911	191.1440	93.4830	
B23	3999.0	13.2551	217.4640	44.450	
B25	4024.3	13.4213	195.0907	98.0610	
B27	4044.5	2.0221	187.5605	106.2540	
B33	4104.2	352.0132	192.5223	91.0300	
B72	4633.8	302.1044	176.0608	100.0620	
B73	4652.6	299.2409	177.1325	91.5400	
B75	4668.7	332.3327	183.4625	90.5030	

注 K点横穴についてSN:(K~K+1)線の方角
S:(K-1~K)線と(K~K+1)線との挟角
S1:(K-1~K)線と横穴中心線との挟角
*:後世築造(試算除外)

表-1は、寛永期隧道の総ての横穴について、節点名を横穴名とし¹⁷⁾、東岩取入口からの追加距離、

上流隧道方向角、下流隧道および横穴との挟角を表示した。これは、後述の試算プログラムでDATAとして用いた。表中の横穴名の「T」は雉取入口下から下辰巳町上まで、「A」は下辰巳町上から末町中程滝坂まで、「B」は滝坂から隧道終端までの横穴である。なお、この表にはないが、後述の表-5の近世中期以降に築造した東岩取入口から雉取入口下までの区間の横穴は、記号「t」を用いた。¹⁹⁾

さて、中国系と南蛮系の磁石について、どの程度の方位刻みであったかの概数を知るため、寛永期隧道の実測値から、地形上から屈曲させたとされる区間を除き、相対する横穴の隧道中心点を結んだ線と各隧道中心線との偏角を求め、その絶対値の平均値と標準偏差を求めたところ、それぞれ $9^{\circ}.54'$ 、 $9^{\circ}.44'$ となった。¹⁹⁾ この値から、中国系とすれば24方位(15°)か48方位(7.5°)刻み、南蛮系では32方位(11.25°)か64方位(5.625°)刻みを用いたと考えたい。

3. 寛永期の横穴

表-1に寛永期隧道区間にある総ての横穴を表示したと述べたが、「明治期以後の予算書」²⁰⁾によると、現存する横穴の中には、維持管理用として後年次に掘られた「窓」と呼ばれものが含まれているらしい。寛永期を論ずる場合、横穴群からこの窓を除かなければならない。それを識別する手段の一つとして、表-2に、「辰巳用水文化六年絵巻」²¹⁾（「文化六年絵巻」という）、「辰巳用水天保五年絵巻」²¹⁾（「天保五年絵巻」という）に描かれている穴と実測図の横穴とを対比してみた。

表-2 T区間場所別横穴数

区間	文化 絵巻	天保 絵巻	実測	摘要 除外横穴
雉-三枚水門	4	4	6	6-1、6-3、8
上辰巳町中	2	3	5	18-1、20-1
上辰巳-水門	8	8	14	31、38-1、46-1 46-2、47-1 48-1、48-2
水門-開渠	0	1	2	53-1
開渠-下辰巳上	2	4	4	107

注 文化絵巻-文化六年絵巻、天保絵巻-天保五

年絵巻、水門-清浄水門

この横穴数が絵巻と実測とで相違するのは、樹木などの遮蔽物により絵巻に描かれなかったのかもしれないと考え、現地調査を加えたところ、その「窓」と呼ばれものは、表-2の摘要に掲げた個所のものと推定し、表-1には「*」を付した。

4. 横穴による磁石の識別

寛永期隧道区間にある横穴は、磁方位で方向設定したことになろう。従って、公共座標系によって求めた方向角を寛永期の地磁気偏角により換算した値は、磁石の系統や目盛りの刻み方の情報を与えるのではなかろうか。

そこで、寛永期横穴として表-2で識別されたT区間の16個所と、A区間の6個所を加えた22個を用いる。。この他にもB区間に寛永期隧道があるらしいが、「文化六年絵巻」の当該区間には横穴が1個所しか描かれていないので、寛永期横穴を特定することが困難であり、別途試算のDATAとすることにした。

試算プログラムでは、表-3の数値はDATAとして用いてないが、表-1の数値を用いて磁方位を算出する過程で算出される横穴方向角である。

表-3 横穴方向角 単位 度 分 秒			
横穴名	方向角	横穴名	方向角
T1	13 38 07	T49-1	298 40 20
T4	15 49 03	T59	277 45 48
T6-2	7 43 58	T79	32 54 25
T15	14 32 23	T96	16 22 17
T18	31 44 28	T100	45 41 37
T23	246 33 25	A62	35 51 48
カクア	100 40 48	A66	21 50 56
T36	62 54 00	A93	61 25 19
T40	234 23 27	A95	268 50 54
T43A	38 45 46	A157	323 01 26
T46	15 47 05	A173	6 40 27

次に、試算手法に用いたBASIC言語によるプログラムの主要部分を示す。このプログラムのDATAは、表-1のT、Aの22個所の横穴数値である。

```
210 INPUT "方位分割数 N=";N
230 AN=360/N
2010 I1=5 TO 10 STEP 0.125
```

```

2030 NN=0
2040 GD=II
2100 FOR I=1 TO 22
2100 GOSUB 5500
2130 Y1=Y-GD
2140 GOSUB 5700
2150 NEXT I
2170 RESTORE 8040:REM DATA の頭に戻る
2180 NEXT II
5500 REM
5530 READ S$, SN, S, S1:REM 横穴名、(K~K+1)
      の方向角、(K-1~K)と(K~K+1)との挟角、(K
      -1~Kと横穴)の挟角
5540 SN=CDEG(SN):S=CDEG(S):S1=CDEG(S1)
5550 S2=S-S1
5560 IF S2>SN THEN Y=360-(S2-SN):GOTO 5670
5570 IF (SN-S2)<180 THEN Y=180+(SN-S2):
      GOTO 5670
5580 IF (SN-S2)>=180 THEN Y=(SN-S2)-180
5670 RETURN
5700 REM
5710 IF Y1<0 THEN Y1=360+Y1
5712 IF Y1>=360 THEN Y1=Y1-360
5720 IF Y1>357.75 THEN GOTO 7900
5730 IF Y1<=2.25 THEN GOTO 7900
5750 FOR J=1 TO N-1
5760 IF Y1>=AN*J-2.25 THEN GOTO 5770:
      ELSE GOTO 7800
5770 IF Y1<=AN*J+2.25 THEN GOTO 7900
5780 NEXT J
7800 REM
7890 NN=NN+1
7900 RETURN
8040 DATA 以下省略

```

このプログラグで用いてある許容誤差値は、実測時の横穴中心線の再現時誤差と当初の設定誤差であり、前者は素掘断面や風化を考慮して、最短横穴長3 mの場合、横穴口と隧道口での両誤差を加えた6 cmから算出される最大誤差角 1.25° と伊達正宗副葬品²²⁾の磁石目盛刻み状態から、寛永期横穴設定時の磁石目盛などによる誤差角 1° を加えた値、 $\pm 2.$

25° である。

表-4 偏角値と不一致横穴数

偏角	単位 東偏 度			
	48刻み	24刻み	32刻み	64刻み
7	4	14	12	13
7.125	4	14	12	13
7.25	3	13	11	12
7.375	3	13	13	12
7.5	3	13	14	12
7.625	3	13	14	11
7.75	3	13	14	10
7.875	3	13	13	11
8	3	13	13	11
8.125	4	14	12	12
8.25	2	14	11	12
8.375	2	14	10	14
8.5	3	13	10	11
8.625	4	13	10	10
8.75	4	13	10	9
8.875	5	14	10	9
9	6	14	11	6
9.125	7	15	11	4
9.25	7	15	11	4

この試算により、寛永期横穴で四種類の磁石の刻み方について、地磁気の偏角値が東偏 7° から 9.25° までの範囲で、横穴の方位が刻み方位と合致しない数（不一致横穴数）を求めたのが表-4である。その表から、寛永期における金沢の偏角値、東偏 8.3° に対し、48方位刻みが決定的である。

この数値は、元禄期の院内銀山の鉾山図で24方位制であったことに対比され、辰巳用水の隧道で用いた磁石は中国系であり、地形が複雑であったためか、48方位刻みを採用していたが、鉾山測量術が使われたであろう。

5. 隧道中心線からの推定

院内銀山の鉾山図²¹⁾の主坑道には、方位と長さが書き込まれてある。当時、坑道掘では、主坑道位置から枝坑の位置を知ったという。用水隧道でも、鉾山測量術により鉾山の逆方法で、横穴から入って貫通点を模索できたであろう。²³⁾ 従って、主坑道と同様に基準となる横穴は、特に入念に設定されたであろう。

わが国で、初めて岩堰用水の2個所で試みられた続いて、辰巳用水では複雑な地形の地であったが、多数の個所で試みられ、殆ど失敗なく貫通させてい

る。

ここで、横穴と同様、隧道の中心線の方向特性を調べてみた。雉取入口の近くから下辰巳町上までのT区間には、寛永期隧道が約1.2km 殆ど連続して残っている。その隧道中心線の各線の方位が、横穴の試算で許容した誤差範囲で48方位と合致する数と率を求めてみた。T区間の85線の内58線、貫通区間に限っては12線の内6線が合致し、それぞれ68%、50%である。この値は、横穴の9%と比較して極端に少ない。

隧道に方向性がないのは、辰巳用水の寛永期隧道総延長が3.3kmと長く、しかもその施工期間が約9ヶ月の突貫工事であり、これを技術力が同一でない人達が、わが国の先駆工事を実施したことに原因が考えられよう。

その他にも、原因となるべき要素が二つあり、その一つとして、隧道貫通後、用水では隧道方向の維持はさほど重要でなくなり、拡幅や内面仕上げによって失われてしまったのであろう。

或いは、『秘伝地域図法大全書』¹²⁾や『校正振矩術』²⁴⁾によると、隧道は必ずしも中心線を基準とせず、隧道の任意の基線によって方向設定を行っているためとも考えられる。

既に、隧道中心線に屈折が多いと述べたが、それは横穴から入って隧道方向を設定する場合、上下流の横穴位置の隧道中心点を結ぶ線の方位が、48方位と一致するのは稀であり、折れ線形が生ずるのは避け難かったためであろう。このような屈折線形は岩堰用水²¹⁾や辰巳用水完成40年の近隣の長坂用水²⁵⁾でも見られる。

6. 地磁気偏角計算の応用

表-1に示したB区間の寛永期隧道らしい区間にある横穴の13箇所について、東偏8.3°を用い試算してみると、B10、22、23、29、73にある横穴は、後世になって掘削されたものらしい。

これと同様の試算を1855(安政2)年に造られた表-5の東岩連絡隧道の15横穴に適用してみる。この時期になると、偏角観測値があり、加えて石川県西部の地磁気偏角の永年変化曲線¹⁸⁾を参照すると、金沢の偏角値は西偏2.3°となる。これにより試算すると、横穴t2(37.576)、14(151.355)、26

(266.985)、44(410.936)、51(463.110)は安政期築造と異なる時期に掘られたらしい。

表-5 t区間の数値データ

横穴名	追加距離	単位 距離 米:角度 度:分秒		
		SN	S	Sl
t2	37.576	289.0352	181.2628	88.5036
t4	67.304	285.3828	184.1507	91.4152
t8	95.361	277.1655	169.1524	86.0057
t11	124.185	284.4903	190.4622	93.4234
t14	151.355	284.4903	183.2140	93.2711
t17	151.355	303.1950	196.1808	84.4124
t21	214.653	336.4314	182.4926	93.0443
t26	266.985	300.0850	191.5548	94.4319
t30	297.407	295.2442	191.1541	96.3551
t34	317.561	292.5853	185.0800	100.1641
t37	347.237	306.0108	192.4606	88.3600
t42	387.635	306.0937	194.5839	97.2706
t44	410.936	298.3504	192.4307	91.4218
t47	434.291	317.3434	211.2923	100.3830
t51	463.110	310.3113	188.2222	98.0305
t63	583.0	354.5554	189.0701	89.5856
t67	619.4	352.4005	204.0205	39.5801
t74	670.5	306.0615	194.1103	88.3437
t76	685.9	317.1057	191.0439	75.1639

注 SN,S,Slは表-1と同じ

表-6 地磁気偏角による築造年代

偏角	単位 西偏 度	
	許容誤差外の数	
-1.125	2	
-1	1	
-0.875	1	
-0.75	1	
-0.625	1	
-0.5	1	
-0.375	1	
-0.25	1	
-0.125	0	
0	0	
0.125	0	
0.25	0	
0.375	0	
0.5	0	
0.625	0	
0.75	0	
0.875	0	
1	0	
1.125	0	
1.25	1	
1.375	1	
1.5	2	

次に、この試算法を建設年代の手段として用いてみる。取入口が寛永期の雉から古川口に移動した年代は、寛政大地震のあった1799年であり、古川口から雉下連絡口間193.8m間にあって、明ら

かに横穴である5個所の横穴による試算から表-6が得られ、その偏角は東偏 0.125° から西偏 1.125° の値である。この値は既知偏角値¹⁶⁾から、取入口が移動した年代と同一となる。

また、前述の5個所の横穴に用いてみると、東偏 1.2° 前後の時期に掘削されたことになる。これから、この東岩連絡隧道の横穴は、着工に先立って寛政大地震以前に、既に地質調査のため試掘されたことになろう。

7. おわりに

辰巳用水が築造された1632年には、その横穴の方向性から12支を48方向の方位に細分化した中国系磁石を用い、方向設定したことになり、近世中期の鉱山関係史料¹⁰⁾¹¹⁾と類似している。これまで鉱山学の研究で、『要録』が秋田藩の初期の鉱山の実相を見る上で参考となるとする説²⁰⁾を裏付けることにもなろう。

寛永期の金沢地方の地磁気偏角は、考古地磁気学によって算出された値東偏 8.3° と、表-4で試算された48方向の試算が一致することも、この試算法から土木構造物により地磁気偏角が算出されたこととなろう。

参考文献

- 1) 小葉田淳、『日本鉱山史の研究』、岩波書店、1968
- 2) 青木治夫、「辰巳用水への技術の流れ」第6回日本土木史研究発表会論文集、1986、PP. 176～
- 3) 岩堰用水、五郎兵衛用水
- 4) 箱根用水
- 5) 高堀勝喜編、『加賀辰巳用水』辰巳ダム関係文化財等調査団、1983. 3 (PP. 244～247)
- 6) 東京大学史料編纂委員会、『大日本古記録梅津正景日記』、岩波書店、8-PP. 165
- 7) 5) 付図第8
- 8) 松崎利雄、『江戸時代の測量術』、総合科学出版、1979. 9、PP. 206
- 9) 8) PP. 178
- 10) 三枝博音編、『日本科学古典全書5』「掘方の事」の章に小羽継立法として、鋪の切詰の方角、何方へ行たるも知れぬ時、四つ留より切詰まで、小羽継立、合紋をして、それを鋪の外へ出し、合紋次第に継立見れば、何方へ行たるか知らるゝなり。是を小羽継というの記述があり。今日の多角測量に類するものであり、同時代の9)の図から各測線の方角は磁石によったことが明らかである。
- 11) 「院内銀山惣絵図」、文部省資料館所蔵
- 12) 1717(享保2)、高樹会蔵、8) PP. 280
- 13) 遠藤数馬、石川県図書館
- 14) 力武常次、岩波書店、1972、PP. 77
- 15) 『磁場精密測定』加藤愛雄、我が国の磁力計開発の歴史、1980
- 16) 『九谷古窯跡発掘調査報告書(第七分冊)』、石川県教育委員会
- 17) 5) PP. 371～379
- 18) 高堀勝喜編、『加賀辰巳用水東岩隧道とその周辺』加賀辰巳用水東岩周辺調査団、1989. 3、表3-6、PP. 50
- 19) 5) PP. 369 一部修正
- 20) 辰巳用水土地改良区蔵
- 21) 5) 付図第1、5) 付図第2
- 22) 仙台市博物館
- 23) 青木治夫、「鉱山測量術から見た辰巳用水」第7回 日本土木史研究発表会論文集、1987. 6、PP. 230
- 24) 阿部誠一、1811(文化8):10) 図7・23
- 25) 青木治夫、「辰巳用水と三用水」第5回日本土木史研究発表会論文集、1985. 6、PP. 147
- 26) 5) PP. 520