

日本刀の鍛錬性に及ぼす南蛮鉄のリン含有量の影響

鈴木 卓夫*

Effect of Phosphorus Content of Nanban-tetsu on Forgeability of Japanese Sword Making

Takuo SUZUKI

Synopsis : Nanban-tetsu is a steel which was imported into Japan by Portuguese or Spanish merchant ships in the end of Muromachi period (1392–1573). The steel was produced in India and called “Wootz steel”. Nanban-tetsu steel was shaped in some forms of a gourd called “Hyotan”, a oval called “Koban”, a square timber called “Saijo”, a semi-cylinder called “Tajo” and others. In 1613, one of the Japanese sword smith, Echizen Yasutsugu 1, first produced a sword using Nanban-tetsu steel. Since then, many sword smiths who lived in Echizen area (Fukui Prefecture) had used Nanban-tetsu steel as a material of Japanese swords. The steels produced using the “Nittoho-Tatara” furnace in Shimane prefecture has been examined by forge-welding as a function of phosphor content in the steels. It is concluded that “Hyotan” shaped Nanban-tetsu steel is not good for forging, “Saijo” shaped Nanban-tetsu steel is good for forging, “Koban”-shaped one is difficult to forge-weld and “Tajo”-shaped one is intermediate.

Key words : effect; Nanban-tetsu steel; Japanese sword; phosphor content ; fragility; forgeability.

1. 緒言

南蛮鉄とは、主にインドのコロマンデル沿岸地方のサレムで精錬されたウーツ鋼(Wootz Steel)のこと¹⁾、近世初期の頃南蛮船、すなわちポルトガルやスペイン等の商船によってもたらされたことからこの称があり、その形状によって、瓢箪型(Fig. 1)・小判形(Fig. 2)・細條形(角棒状)(Fig. 3)・太條形(蒲鉾状)(Fig. 4)などに分類される。各南蛮鉄の重量と法量を Table 1 に示した。

日本刀においては、江戸期の文書「古今鍛冶備考」に「本邦南蛮鉄を以て刀剣を造るは康継を始めとす²⁾とあり、徳川家の抱工越前国康継が一番最初に南蛮鉄を用いたことがわかる。「以南蛮鉄」と記した現存する最も古い作品は慶長18年(1613)の初代康継から始まり³⁾(Fig. 5)、以後幕

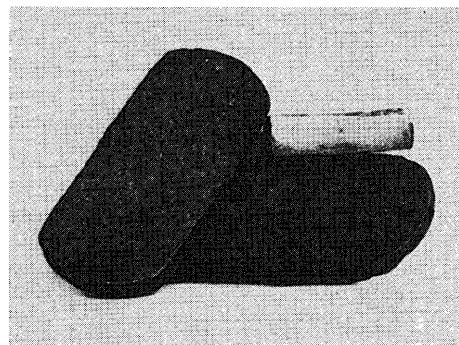


Fig. 2. Nanban-tetsu (“Koban”), oval-shaped steel.

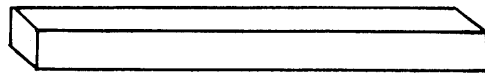


Fig. 3. Nanban-tetsu (“Saijo”), square timber-shaped steel.

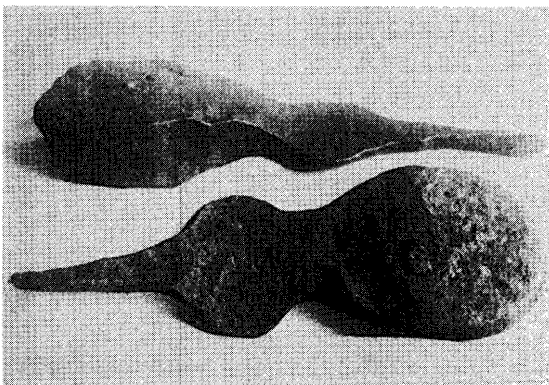


Fig. 1. Nanban-tetsu (“Hyotan”), gourd-shaped steel.

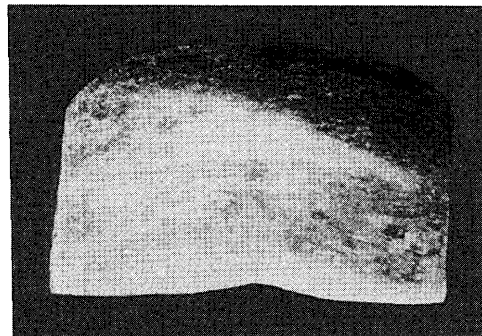


Fig. 4. Nanban-tetsu (“Tajo”), (Section) semi cylinder-shaped steel.

末に至るまでの各代の康継の作品に見られる。また康継の出身地である越前国（福井県）の有力刀工他にも見ることができる。

表 1は上記4種の南蛮鉄について、瓢箪形3個から3試料、小判形1個から1試料、細條形1個から2試料、太條形1個から3試料を採取し、化学分析(C・Mn・P・S・Si)を行った⁴⁾。その結果を見ると、南蛮鉄は日本産の鉄（以下和鉄という）に比較してイオウ濃度は変わらないが、リン濃度はその多くがかなり高く検出されていることがわかる。Table 2は表の作成した4種の南蛮鉄の分析表に、砥波鑑・靖國鑑・日刀保たたら⁷⁾の分析値を加え、比較を行ったものである。

- 4種の南蛮鉄のリン濃度の平均 0.074 mass%
 - 和鉄（砥波鑑⁵⁾・靖國鑑⁶⁾・日刀保たたら⁷⁾）のリン濃度の平均 0.019 mass%
- リンとイオウはともに脆性をもたらす元素である。この

Table 1. Weight and measure of each Nanban-tetsu.

Kinds	No.	Weight (g)	Length (mm)	Width (mm)	Thickness(mm)
Hyotan style	1	350	155	53(largest)	23(largest)
"	2	320	155	47(")	21(")
"	3	326	153	50(")	23(")
Koban style	1	-	-	32(")	9(")
Saijo style	1	-	120~390	10~12	10~12
Tajo style	1	2300	790	25(bottom)	16

Table 2. Composition of each Nanban-tetsu and Wa-tetsu.

No.	Kinds	Elements	(mass %)				
			C	P	S	Mn	Si
1	Hyotan style	1	1.44	0.106	0.005	0.01	
2	"	2	0.92	0.126	0.002	0.03	
3	"	3	1.96	0.123	0.005	0.04	
4	Koban style	1	1.60	0.076	0.003	0.009	0.08
5	Saijo style	1	1.58	0.011	T r	0.017	0.016
6	"	2	0.49	0.037	0.002	T r	0.038
7	Tajo style	1	0.06	0.101	T r		0.07
8	"	2	0.01	0.012		T r	
9	"	3	0.03				
10	Tonami		1.11	0.011	0.006	T r	0.04
11	Yasukuni		1.41	0.017	0.006	0.01	0.01
12	Nittoho		1.23	0.030	0.004	0.01	0.02

ような高リン濃度の素材（南蛮鉄）で本当に日本刀が鍛錬できたのか大きな疑問が残る。日本刀鍛錬の大きな特徴は、他の工具に比べていっそうの強靱性を高めるため、鋼を数多く（約15回）折り返しながら鍛えるところにある。しかし同じ鋼でもリン・イオウ濃度の高いものは脆性が生じることから折り返すことができない。

俵は、江戸期の「伯耆守藤原汎隆越前住以南蛮鉄作之」と銘のある刀の先端部の化学分析を行い、その結果、0.0216 mass%, 0.0111 mass%のリン分を検出した⁴⁾。このことから、「南蛮鉄塊には元来多量の炭素と燐とを有せるも、此を以て刀剣類を鍛錬せんに其の炭素と同時に又有害なるべき燐も燃焼され、除去さるべきを以て、其の精製刀剣中には原鉄塊に於ける如き、多量の燐は認むべからざるものなりとす」とし、高リン濃度の南蛮鉄の鍛錬に与える脆性の影響を否定している。

確かに、リン濃度は鍛錬によって減少する。これについては後の実験で明らかにする。しかし、日本刀鍛錬においては素材（出発原材料）と鍛錬過程での鋼中リン濃度の程度が問題となる。そこで本論文においては、上記4種の南蛮鉄での日本刀鍛錬が可能であるかどうかを以下の実験から解明をはかるものとする。

2. 実験方法

南蛮鉄で日本刀鍛錬が可能であるかどうかについては、実際に南蛮鉄で鍛錬実験を行うのが最良の方法である。しかし、現在ではほとんどこの鉄が入手できないことから、現在島根県仁多郡横田町で稼働している「日刀保たたら」の生産物を用いて次の実験を行った。

- (1) 日本刀鍛錬過程におけるリン濃度の変化
- (2) リン濃度の日本刀鍛錬に及ぼす脆性の臨界領域

実験(1)については榎本・山口・高橋・吉原・安達・八鍬の6名の刀匠に依頼し、玉鋼（1級品）による一連の作刀作業（水へし法で統一）を行い、各鍛錬過程（素材・水へし・下鍛え（したぎたえ）・上鍛え（あげぎたえ））において分析試料を採取し、リン濃度の化学分析（定量）を行った。「水へし」とは玉鋼を加熱し、槌で叩いて薄く打



Fig. 5. The Japanese sword produced by Yasutsugu using Nanban-tetsu (1613).

Table 3. Change of phosphorus concentration in Japanese sword forging process.

No.	Process	Material (Tamahagane)	Mizuheshi	Shitagitae	Agegitae
	Swordsmith				
1	Sadayoshi Enomoto (Shizuoka)	0.045	0.050	0.028	0.029
2	Kiyofusa Yamaguchi (Iwate)	0.045	0.056	0.033	0.029
3	Tsuguhira Takahashi (Nagano)	0.045	0.017	0.036	0.033
4	Kuniie Yoshihara (Tokyo)	0.045	0.023	0.014	0.023
5	Yoshiaki Adachi (Shizuoka)	0.064	0.033	0.051	0.057
6	Yasutake Yakuwa (Tokyo)	0.064	0.013	0.034	0.029

Mizuheshi means the first process of forging of Japanese sword.

Shitagitae means the first half of forging of Japanese sword. And Agegitae means the latter half of the work.

ち延ばす作業をいう。「下鍛え」とは、折り返し鍛錬作業の前半をいい、「上鍛え」とは後半をいう。

実験(2)については吉原・隅谷・川島・天田の4名の刀匠に依頼し、日本刀鍛錬におけるリン濃度の許容範囲がどこにあるかを知るため、①鉾銑、②鉾銑と裏銑と玉鋼を混ぜたもの、③鉾銑と裏銑を混ぜたものの3種の試料をつくり、リン濃度の調整をした。そしてこれらを折り返し鍛え、鍛錬可能(充分粘って折り返しがスムーズにできる)と判断されたとき、鍛錬不可能(粘りがでず折り返すと割れてしまう)と判断されたときに分析試料を採取し、リン濃度の化学分析を行った。鉾銑とは鉾の下に付着した銑をいい、裏銑とは炉底に溜まった銑をいう。本実験においては、主に銑を用いたが、その理由は銑は玉鋼に比較してリン濃度が概して高いことによる。

各出発原材料の炭素濃度の分析は直接は行わなかったが、「日刀保たたら」の基準では、玉鋼1級品は1.0から1.5mass%、銑は1.7mass%以上である。銑のうち鉾銑より炭素濃度の高い裏銑は、下げ(脱炭)で使用した。

なお、実験(1)、実験(2)の鍛錬における加熱温度は刀匠により手法があることから任意とした。鍛錬用木炭にはすべて松炭を使用した。

3. 結果

(1) 日本刀鍛錬過程におけるリン濃度の変化

実験の結果をTable 3に示した。これを見ると、リン濃度は6者すべてが最も鍛錬回数が進んだ、つまり最もよく精製された上鍛えの段階に至ると素材に比べてかなり減量

していることであり、リン濃度は鍛錬によって減量することがわかった。

なお、この間リン濃度に増減が見られるのは、下鍛えまでは鍛錬回数がまだ半分で、組成が荒く、これによって生じたバラツキである。前出の南蛮鉄で造られた重高刀の出来ぐあいについては「精製刀」と表現しているが、この精製とは和鉄での鍛錬同様によく鍛えたことを意味している。

(2) リン濃度の日本刀鍛錬に及ぼす脆性の臨界領域

実験の結果をTable 4に示した。この結果、鍛錬過程において鍛錬可能と判断されたときのリン濃度は0.044mass%から0.051mass%、鍛錬不可能と判断されたときのリン濃度は0.069mass%以上である。この結果からリン濃度の日本刀鍛錬に及ぼす脆性の臨界領域は0.052mass%から0.068mass%の間にあることがわかった。

また、これを出発原材料(素材)中のリン濃度から見た場合、鍛錬可能であったもののリン濃度は0.072mass%、不可能であったものは0.085mass%以上、つまり素材中リン濃度から見た場合は、鍛錬に与える脆性の臨界領域は0.073mass%から0.084mass%の間にあることがわかった。銑・裏銑・玉鋼を混ぜた出発原材料、試料番号「3」についてはリン濃度の分析をすることを逸した。鍛錬不可能と判定された中で、隅谷が鍛錬回数を9回と進めているが、同氏の言によれば最初の鍛えに入ったときから脆さを感じられ、弱い力でだましまし鍛えたが、それでも9回折り返すのが限度であったという。

また、試料番号「3」のfinal stageのリン濃度が0.069mass%と0.072mass%を下回っていたにもかかわらず鍛錬

Table 4. Measurement of phosphorus concentration in Japanese sword fold forging process.

No.	Material	Swordsmith	Times of forging	Judge	P (mass%)	
					Initial stage	Final stage
1	Kerazuku 100%	Yoshito Yoshihara (Tokyo)	4	Forging possible	0.072	0.044
2	"	Masamine Sumitani (Ishikawa) Chuzen Kawashima (Shimane)	6	"	0.072	0.051
3	Kerazuku 15% Urazuku 35% Tamahagane 50%	Masamine Sumitani (Ishikawa)	8	Forging impossible		0.069
4	Kerazuku 50% Urazuku 50%	Akitsugu Amada (Niigata)	4	"	0.096	0.076
5	"	Masamine Sumitani (Ishikawa)	9	"	0.085	0.084

不可となったのは、槌で打つ力が強すぎたことによるものとする。

なお、上述したリン濃度の臨海領域と炭素濃度との相関は重要なファクターでこれについても言及しなければならないところであるが、前述の通り直接の炭素分析は行わなかったためこれについては留保する。

4. 考察

Table 2に依る南蛮鉄の分析データを示し、上記の実験結果をもとに各南蛮鉄についてリン濃度と脆性の関係について考察する。

4.1 瓢箪形

瓢箪形のリン濃度は上限は試料番号「2」0.126 mass%、下限は試料番号「1」の0.106 mass%、平均0.118 mass%である。依は前述の通り、「リンは燃焼されて除去される」としており、これについては「日本刀鍛錬過程におけるリン濃度の変化」の実験によって明らかにした。しかしこれを「リン濃度の日本刀鍛錬に及ぼす脆性の臨界領域」の実験結果（以下実験2という）における素材中リン濃度から見た場合、瓢箪形の場合は素材の段階において既にこの臨界領域の数値をかなり超えていることから鍛錬は不可能である。

幕末の刀工水心子正秀は瓢箪形南蛮鉄を用いたその所感として、「彼の鉄は我が国の鉄には劣るべし。実に我が国の鉄にてつくりたる刀は、万国にすぐれて見ゆるなり。然れば、南蛮鉄などは好むべきものにはあらず」と述べ⁸⁾、瓢箪形南蛮鉄の日本刀の素材としての適性を否定している。なお、「津田越前守助広南蛮瓢箪鉄ニテ作・延宝元年11月日」と銘を記した刀が存在するが⁹⁾、この場合は和鉄にほんの少量瓢箪鉄を混入して作刀したものと理解する。

4.2 小判形

小判形のリン濃度は0.076 mass%で、これは実験(2)の結果から見た場合、素材中でのリン濃度は許容範囲に近いが、鍛錬過程におけるリン濃度の度合いから見た場合は鍛錬不可能な数値を示している。従って鍛錬はかなり困難である。

4.3 細條形

細條形の場合は、リン濃度0.011 mass%、0.037 mass%、平均0.024 mass%で、これは実験(2)によって得られた素材および鍛錬過程両者におけるリン濃度の度合いから見て、鍛錬可能な低い数値を示している。従って鍛錬は十分可能となる。ただし、細條形試料番号「1」の場合はやや炭素濃度が高いことから、また、細條形試料番号「2」についてはやや低いことから、この場合は鍛錬回数などによる炭素濃度の調整が必要となる。通常日本刀の素材として用いられる玉鋼中炭素濃度は1 mass%前後である¹⁰⁾。

4.4 太條形

太條形試料番号「1」の場合は、リン濃度が0.101 mass%で、実験(2)によって得られた素材および鍛錬過程両者におけるリン濃度から見て、鍛錬不可能な数値を示している。太條形試料番号「2」の場合はリン濃度0.012 mass%と微量で鍛錬は十分可能である。ただし、この場合は炭素濃度が0.01 mass%と微量であることから、卸し鉄（吸炭）をして程良い炭素濃度（1 mass%前後）に調整する必要がある。

なお、イオウ濃度についてであるが、すべての南蛮鉄が和鉄同様0.00 mass%台¹⁰⁾、又はTr（痕跡）で検出されていることから全く問題はない。

5. 結論

以上の考察より、以下の知見を得た。

(1) 瓢箪形は鍛錬不可能である。

- (2) 小判形の鍛錬はかなり困難である。
- (3) 細條形は十分鍛錬可能である。
- (4) 太條形には鍛錬可能な部分と不可能な部分とが混在する。

終わりに、本研究を遂行するにあたり、多大なご指導をいただいた東京工業大学大学院教授 永田和宏氏に、また分析を行っていただいた日立金属安来工場冶金研究所に対し、そして刀匠河内国平氏に深く感謝の意を表す。

文 献

- 1) 国史大辞典，第10巻，国史大辞典編集委員会編，吉川弘文館，東京，(1989)，795.
- 2) 山田吉睦：古今鍛冶備考「銘寄三」，書林，江戸，(1816).
- 3) 寒山刀剣講座，第3巻，刀和会編，大塚巧芸社，東京，(1980)，5.
- 4) 俵 国一：日本刀の科学的研究，日立評論社，東京，(1953)，429.
- 5) 俵 国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，(1993)，86.
- 6) 玉鋼品質の研究，日本美術刀剣保存協会編，日本美術刀剣保存協会，東京，(1979).
- 7) 鈴木卓夫：たたら製鉄と日本刀の科学，雄山閣出版，東京，(1990)，129.
- 8) 成瀬関次：古伝鍛刀術，二見書房，東京，(1943)，184.
- 9) 数田政治，森口隆次：助広大鑑，光村推古院，京都，(1980)，308.
- 10) 鈴木卓夫：作刀の伝統技法，理工学社，東京，(1994)，3.

1) 国史大辞典，第10巻，国史大辞典編集委員会編，吉川弘文館，