

大河津分水路で自在堰が設計された社会的背景に関する研究*

A study about the social background that the Jizai-zeki weir at Ohkozu diversion channel was designed

木下篤彦**・松井健一***・松澤嘉啓****・五百川清*****

By Atsuhiko KINOSHITA, Ken'ichi MATSUI, Yoshihiro MATSUZAWA and Kiyoshi IOKAWA

The Jizai-zeki weir at Ohkozu diversion channel was completed in 1922. The weir was designed by Mr. Saburo Okabe. He adopted the bear-trap weir for the Jizai-zeki weir. In this study, we verified the social background that he adopted the bear-trap weir and clarified the meaning of Ohkozu diversion channel in those days.

First, we investigated the history of the bear-trap weir in the United States where the weir was invented. Second, we investigated the reason that Mr. Okabe adopted the weir by his papers. Finally, we verified the social background that he adopted the bear-trap weir from the points of the water transportation and the electric power in those days.

We found that in the points of the social background he adopted the bear-trap weir for the reason that the weir was needed little electricity and he wanted to contribute the development of the movable weir.

1. はじめに

信濃川下流域に展開する新潟平野は土砂の堆積によってもたらされた沖積平野で、川の氾濫によって連年洪水の被害を受け、越後の農民は洪水との苦闘の明け暮れだった。特に、信濃川の下流地域は水害の常襲地域で江戸時代の大洪水だけでも86回、明治に18回、大正に入ってから3回記録されており、中・小規模の洪水は数えきれない¹⁾。図-1に現在の信濃川下流域の地図を示す。

大河津分水路の計画は、享保年間(1716~1735)まで遡り、三島郡寺泊(現長岡市)の住人、本間数右衛門が河合某と相談して、信濃川の水を大河津から開削して寺泊に流し新田を開発せんと幕府に請願したのが始まりである¹⁾。その後数々の紆余曲折を経て、明治29年(1896年)の「横田切れ」を契機として、明治42年(1909年)に大河津分水路工事が始まり、大正11年(1922)に通水している。この時、信濃川本川に建設されたのが洗堰、大河津分水路に建設されたのが自在堰であった。洗堰、自在堰は信濃川本川が $440\text{m}^3/\text{s}$ (現在は $270\text{m}^3/\text{s}$)以下の平水時の時には全量信濃川本川に流し、 $440\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水時には全量大河津分水路に放流する目的で建設されている²⁾。その後、自在堰は昭和2年(1927年)に基礎の洗掘によって

倒壊した。直後に復旧工事が行われ、昭和6年(1931年)に壊れた自在堰の補修工事として、可動堰、2基の床固め、4基の床留が完成している。写真-1に通水した時の自在堰の様子を、写真-2に陥没した自在堰の様子を、写真-3に補修された可動堰の様子を示す。

自在堰を設計したのは岡部三郎であるが、彼は「ベアトラップ」という堰を採用している。この堰はアメリカ合衆国で舟運を目的として開発されたものである。ベアトラップが採用された社会的背景を検証することは、大河津分水路の存在意義を議論する上で重要である。

本研究では、まず、U.S. Army Corps of Engineers(アメリカ合衆国陸軍工兵隊)の航行用ダム計画、設計書³⁾を基にベアトラップの基礎的な構造についてまとめる。次に、アメリカ合衆国でのベアトラップの歴史について紹介する。次に、岡部がベアトラップを採用した理由について記した論文^{4), 5)}についてまとめる。最後に、当時の舟運、電力の状況からベアトラップが採用された社会的背景を推察する。

2. ベアトラップの構造について

簡単なベアトラップの構造について図-2にまとめる。扉を起立させる場合は上流側の吸水弁を開き、下流側の排水弁を閉じて扉下室に水を送り込む。これによって上流部の水位と扉下室の一番高い所の水位は等しくなろうとし、扉が起立する。扉を伏臥させるには、上流側の給水弁を閉じ、下流側の排水弁を開いて扉下室内の水を下流側に排出すると、扉下室の一番高い所が堰下流の水位まで低下しようとするので、扉の自重により伏臥する。

*keywords : 大河津分水路, 自在堰, ベアトラップ

**正会員 農博 国土交通省信濃川下流河川事務所
(〒951-8153 新潟市文京町14-13)

***正会員 工修 国土交通省信濃川下流河川事務所

****正会員 国土交通省信濃川下流河川事務所

*****正会員 信濃川大河津資料館

(〒959-0124 新潟県燕市分水町五千石)

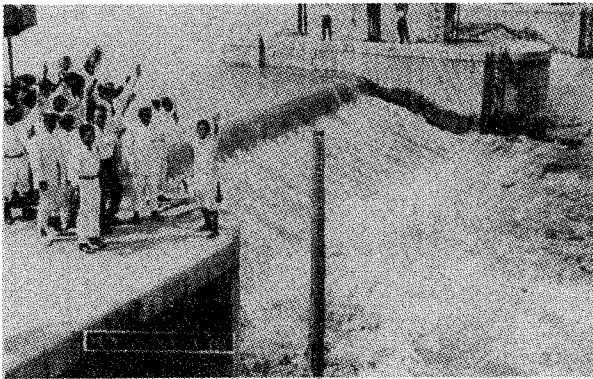


写真-1 大河津分水通水時のベアトラップ式自在堰の様子

(Photo.1 The Jizai-zeki weir which is bear trap style when Ohkozu diversion channel was completed)

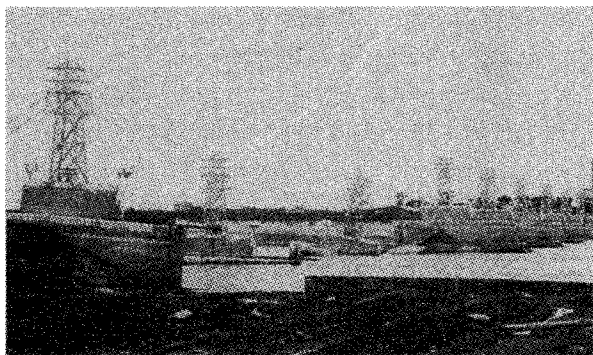


写真-2 陥没した自在堰の様子

(Photo.2 The collapsed Jizai-zeki weir)

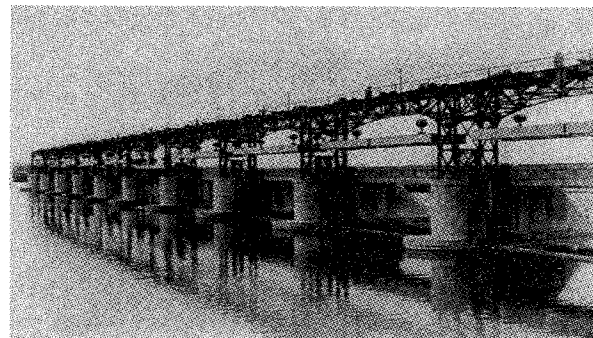


写真-3 補修終了当時の可動堰の様子

(Photo.3 The movable weir when the repair was finished)

3. アメリカ合衆国でのベアトラップの歴史およびその構造の変化^{4), 6)-10)}

ベアトラップは、ジョシアー・ホワイトによって発明されたものである。彼は、アパラチア山脈周辺のリハイ谷から産出される豊富な石炭をリハイ川を使ってフィラデルフィアに運び鉄鋼産業を興すことを考えていた。図-3にフィラデルフィア周辺の地図を示す。リハイ川は険しく、さらには春の増水、夏の渇水もあり、座礁して碎けて壊れる船が後をたたなかった。ホワイトは、まず、荷物を積んだ船にとって航行に十分な水深を維持することを目的として舟運用の堰を作った。しかし、1818年の

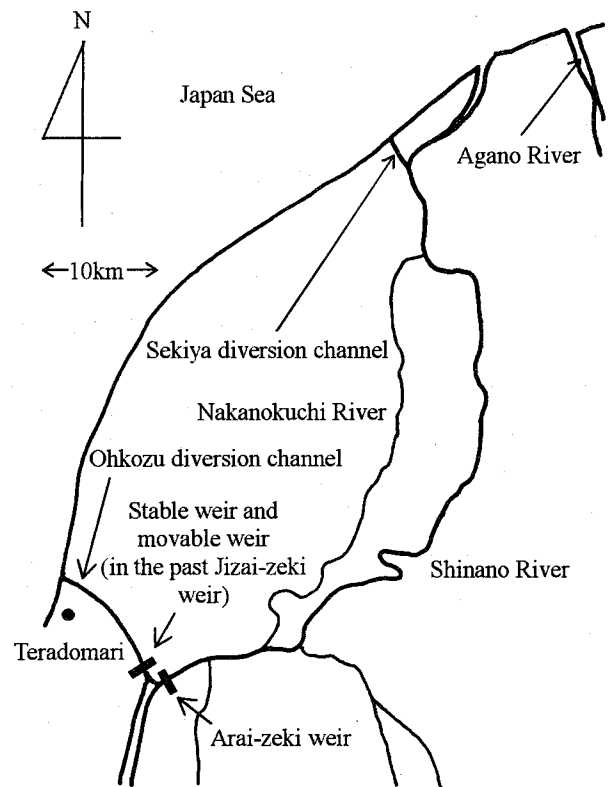


図-1 信濃川下流域の地図

(Fig.1 The map of the lower of Shinano River)

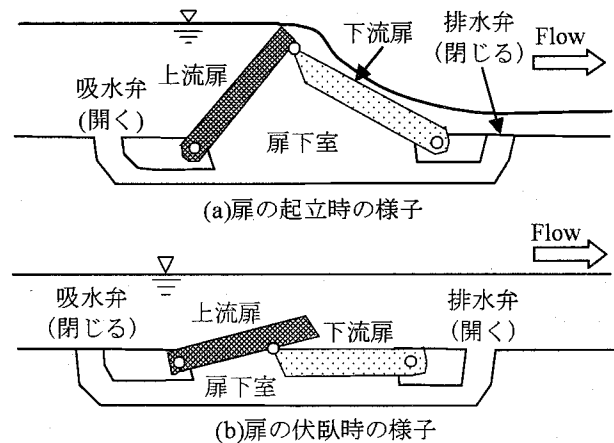


図-2 ベアトラップの模式図

(Fig.2 The schematic view of the bear-trap weir)

旱魃による流量の減少時にはこの堰は機能しなかった。そこで、流量が少ないときでも舟運を可能とするために開発されたのがベアトラップであった。図-4に当時のベアトラップの模式図を示す。当時、モークチャンク(現ジムソープ、モークチャンクとは眠れる熊の山という意味である。)では熊のわな(ベアトラップ)が作られていた。そこで、ホワイトは熊のわなを作っているということで周りの目をごまかすことによって秘密裏にかつライバルを出現させること無く堰を完成させることができた。ベアトラップ以前は全ての運河で、堰を上げ下げして船を通しており、特に堰を下げるのに多くの労力を必要とした。ベアトラップは1人が数分で操作することができ、

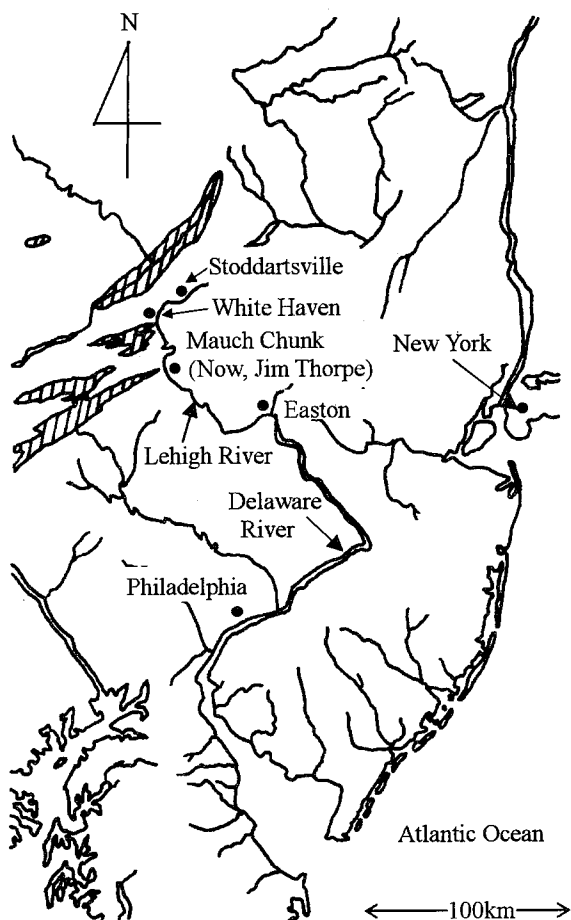


図-3 アメリカ合衆国東海岸の地図。斜線は無煙炭の産地を示す。黒いシンボルは地点を示す。
(Fig3 The map of the east coast of the United States. The areas of slanted lines show anthracite coal fields. Black symbols show spots.)

また、川がどんな水位の場合でも航行可能となった。また、ベアトラップを閉じることによって人工的に洪水を起こすことができ、上流の石炭を早く下流に運ぶことができた。船は目的地に着くと解体され、木材として売られた。目的地に着いた漕ぎ手は荷馬車に乗って上流に戻った。1829年にはイーストンからモークチャンクまで運河は完成した。その後、さらにモークチャンクからホワイトヘイブン(ジョシアー・ホワイトから名付けられた地名である)、ホワイトヘイブンからストダートスビルまで延長された。運河は水面幅が 60 フィート(約 18m)、底幅が 45 フィート(約 13.5m)、深さが 5 フィート(約 1.5m)であった。また堰の幅は 22 フィート(約 6.6m)、100 フィートの長さ(約 30m)で、堰は石でできていた。1830 年には 303 トンの石炭を運河で運び、1855 年のピーク時には百万トン以上もの石炭をフィラデルフィアに運んだ。この結果、この地域はアメリカ合衆国で最も鉄鋼の盛んな地域となった。また、近郊で石灰岩が発掘され、この運河で運んだ。

その後、1862 年に不運にも洪水がリハイ川を襲い、ホワイトの航行システムは破壊されてしまった。また、1870

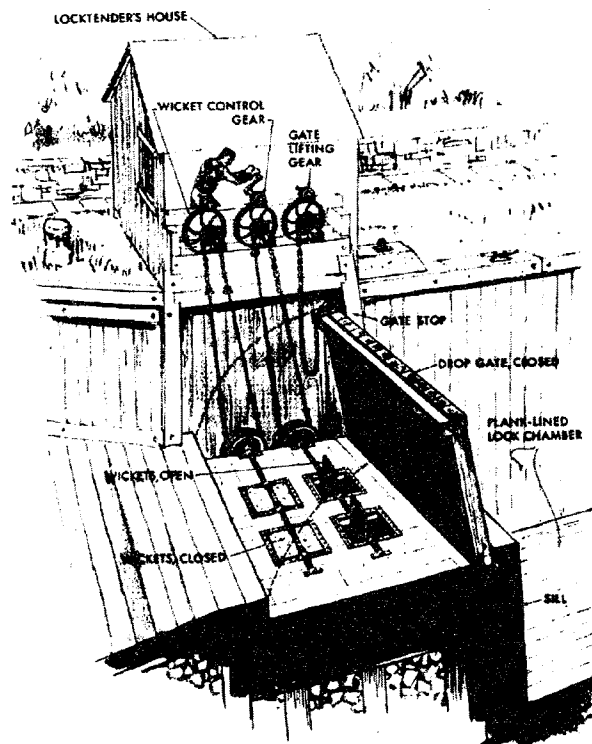


図-4 アメリカ合衆国の初期のベアトラップの模式図¹⁰⁾
(Fig.4 The schematic view of an early stage of the bear-trap weir in the United States)

年以降は安い運賃で、早く、かつ冬でも運べる鉄道が登場した。さらに不景気も災いし、舟運はストップした。

なお、リハイ川以外のベアトラップの堰は、1818 年から約 60 年間はほとんど見るべきものはないが、1880 年頃から特にオハイオ川で再び発達した。また、U.S. Army Corps of Engineers(アメリカ合衆国陸軍工兵隊)の航行用ダム計画、設計書³⁾は、ゲートの中や下にシルトや砂が堆積し、そのためにゲートの上げ下げが十分に行えないと指摘し、その上で勧められない方式の堰だと述べている。

4. 岡部がベアトラップを採用した理由について

岡部は大河津分水路自在堰におけるベアトラップ採用の理由として以下のように述べている⁴⁾。

「自在堰の設置に際しどの型式を選定するかは技術者の最も研究を要する点で、河川の状態並びに水量調節の目的等を考慮し、最も適切なものを選ぶ必要がある。自在堰の目的に沿うためには、大洪水の際に築造物による嵩上げが大きくなり、水の勢いが大きい時に安全に作業ができ、平水以上の場合に水量調節を鋭敏にし、短時間に、容易に操作ができる必要がある。これらの目的に合致した型式で自在堰に多く設置されているのは以下の 5 型式である。

- 1) ブリッジダム
- 2) テンターゲート

- 3) ストーニーゲート
- 4) ローリングゲート
- 5) ベアトラップ

1)のブリッジダムは設計の仕方によっては最も目的に合致しているが、都市の近郊で重要な橋を兼用する場合の他は経済上採用できない。2)のテンターゲートは一般に上下流の水位差が大きいときに堰堤の上などに設置するのに適していて今回はふさわしくない。3)～5)のストーニーゲート、ローリングゲート、ベアトラップはいずれも水流に対する抵抗の程度、堰の操縦の難易度、必要な動力量、故障の有無、工費などに各々優劣があり一概に適不適を断定することができない。普通小径間に使用されるストーニーゲートも設計によっては長径間に適する。一般に急流工事に適するローリングゲートも必ずしも緩流に適さないとは言えない。現在比較的评价されていないベアトラップは操縦が容易で起伏運動も自然であるのみならず、外観が美しく容易に捨て難い。いずれの型式も大同小異で、技術者の設計に支配され、いずれもまだ大いに改良発達の余地を残しており、現在の我が国においては型式の問題よりも如何に改良すれば完全の域に近づけるかというのが技術者に与えられた問題である。この意味において比較的例の少ないベアトラップを選定し、これに多少の改良を加え、過渡時代における我が国可動堰発達史上に多少の貢献をしたい。アメリカにおけるベアトラップは、単独で設置せずウィケットウィアー等と併用されるものが多い。これはベアトラップの運用上予め人工的に水位差を生じさせるためである。本計画ではベアトラップのみであるが、基礎の構造上扉を起立させる際は常に多少の水位差があり、かつ八組の扉のうち最初の一、二組を起立すれば自然水位差を増加し、残りの起立運動に多くの動力を必要としないので、単独でこれを採用した。」

また、設計書ではベアトラップを採用した理由として以下のように述べられている²⁾。

「自在堰の種類については多種多様で各々長所・短所があり、この選択には充分な研究が必要である。本設計においては近年もっぱらアメリカのオハイオ川に応用されているベアトラップ式を採用することにした。その理由は

- 1) 洪水の放流が容易で短時間に開放することができる。すなわち、一門の扉はその幅が10間(18m)以上であるから、一度伏臥すれば瞬時に流過断面を増加することができる、しかもこれを動かすのにわずか1分20秒に過ぎない。また閉じる場合は5分以内に元に戻すことができる。
- 2) 洪水の際、築造物の障害により生じる水面隆起を最小限とすることができる。すなわち、他の自在堰では橋脚または支柱などの数が多いためにはなほだしく流過断面を減じ、したがって水位に大きな影響を与える。これに反しベアトラップは扉の幅が大きいた

め脚柱を比較的少なくすることができる。本設計では川幅100間(約182m)に対し脚柱は8個である。

- 3) 激流であっても安全に作業ができる。すなわち、ベアトラップの開閉は圧搾空気と水位差より生じる水圧とによるものであるから他の方法に較べて安全である。」

さらにベアトラップの特長として次のようにも述べている³⁾。

「開閉運転は自然水位差もしくは空気を利用して短時間に容易に平滑に行うことができる。伏臥する時には水面上に何の障害物も残さない。大きな径間の堰を築造することができるので多量の水量調節ができる。運転設備費および維持費が少ない。」

その他、堰堤の高さの設計においては、大河津における信濃川の常水位、平水位、灌漑に必要な水位、新潟、長岡間を航行する船に必要な水位が考慮されている⁴⁾。

3)のアメリカ合衆国でのベアトラップの歴史と合わせて考えれば、ベアトラップが採用された社会的背景としては、以下の点が考えられる。

- 1) 起伏運動によって人工的に洪水を起こすことができ、舟運に便利であること。
- 2) 操縦が容易で、電力が少なく済み、起伏運動も自然であるのみならず、外観が美しい。
- 3) 岡部が好奇心、チャレンジ精神から過渡時代における我が国可動堰発達史上に多少の貢献をしたいと考えた。

1)の舟運、2)の電力については、当時の舟運、電力の状況から判断する必要がある。

5. 当時の社会状況について

(1) 信濃川の舟運の歴史について⁵⁾

表-1に信濃川の舟運とその周辺の鉄道の歴史を示す。信濃川の船道(船便)の始まりは1600年代前半である。陸路の交通がまだ発達していなかった時代に信濃川は年貢米や海の幸を運ぶ水路として大きな役目を果たしていた。上流の山岳地帯で採れた山の幸を下流に運び、下流で採った海のものを上流に運ぶ。大量の年貢米を動かさなければならぬ幕府や諸藩にとっては貴重な存在だった。この信濃川水運の中心となったのが「長岡船道」という一大組織である。長岡～新潟間の信濃川交通を独占して大きな利益を上げ、長岡町発展のもとになっていた。

舟運は明治の中頃まで盛んであったが、明治33年(1900年)頃から馬や手引きの荷車が舟運に取って代わり、陸運全盛時代に入る。特に、小千谷に軽便鉄道、魚沼鉄道(明治44年開通)が敷かれてからは船の数も急激に姿を消していった。

岡部がベアトラップの水理模型実験を行っていた大正5年(1916年)から大正8年(1919年)の頃⁴⁾は信濃川の舟運は衰退の一途を辿っていたと考えられる。よって、岡部は自在堰に舟運の機能を持たせることを考えていなかった

表-1 信濃川の舟運、鉄道の歴史¹⁾

Table. The history of water transportation and rail roads of Shinano River

年	項目
元和2年(1616年)頃	新潟～長岡間で船道(長岡船道)が始まったと言われる。
寛永19年(1642年)	幕府から船道特許状というお墨付きをもらい、長岡河岸の船継河岸として信濃川筋の水運権を認められるようになった。
元禄年間(1700年頃)	幕府が直領地の年貢米を海から運ぶため、酒田、新潟から日本海を通して下関、大阪、江戸へ通じる「西回り航路」を開いたことで長岡船道は繁栄した。
慶応3年(1867年)	河井継之助によって長岡船道廃止
明治8年(1875年)	新潟～長岡間で川蒸気船が就航
明治30年(1897年)	鉄道が敷かれ長岡駅ができる。
明治31年(1898年)	北越鉄道(直江津～長岡～新潟)開通。川船営業に影響を与える。
大正9年(1920年)	新潟～長岡間の川蒸気船が廃業

たと思われる。

(2) 当時の電力の状況について⁴⁾

自在堰の電力について、岡部は次のように述べている。
「空気圧搾機並びに発電機直結蒸気機関に送るべき蒸気を発生させるため径5フィート、長さ14フィート6インチのコルニッシュボイラー1台を備える蒸気機関を原動力とする。直流発電機1台並びに蓄電池を置き、発電機は電動機の運転蓄電池の充電その他の臨時電灯電力に使用するもので、蓄電池は普通常夜灯に使用し、臨時にマグネチックソレノイドその他電動機の運転等一時的にしてかつ急速に大きな電流を必要とする際に使用する。蒸気機関直結発電機の予備として将来新潟水電の電力を使用できる際に、これと同容量の電動発電機1台を備えることができる余地がある。」

また、点灯設備については次のように述べている。
「常夜灯としては全部十燭光マツダランプを用い、蓄電池を使用し自在堰運転室内3個、運転士の官舎に1個、自在堰の室外に1個、洗堰に2個、閘門に2個、閘門監視人の官舎に2個の合計11個とする。臨時燈は配電盤用電燈10燭光2個とする。夜間自在堰操縦のため、臨時に各鉄塔に100ワットタングステンランプを点す。その数9個とする。また、運転室内臨時燈32燭光マツダランプ3個を設置する。洗堰用としては100ワットタングステンランプ4個を点し角落材倉庫に32燭光マツダランプ2個を点す。閘門、臨時燈は100ワットタングステンランプ2個とする。」

自在堰には、水力発電の電気が来ておらず蓄電池を使っていたことが分かる。岡部がベアトラップを採用した社会的背景として、当時、使用できる電力が限られていたことも挙げられる。

6. おわりに

本研究では、大河津分水路において過去に自在堰が設

計された社会的背景について、アメリカ合衆国でのベアトラップの歴史、設計した岡部の論文、信濃川の舟運の歴史、設計当時の電力事情を基に推察した。本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 岡部は自在堰に舟運の機能を持たせることを考えていなかったが、操作が容易で電力が少なくて済むことがベアトラップを採用した一因になったと考えられる。
- 2) 岡部は技術者としての好奇心、チャレンジ精神から当時前例が少なかったベアトラップを採用し、我が国の可動堰の発展に貢献したいと考えた。

参考文献

- 1) 建設省北陸地方建設局：信濃川百年史，社団法人北陸建設弘済会，p.153, 574, 1030-1037, 1979
- 2) 建設省北陸地方建設局長岡工事事務所：信濃川大河津分水誌第2集，p.32, 43, 44, 1969
- 3) U.S. Army Corps of Engineers：Planning and Design of Navigation Dams，p.5-8,9, 1995
- 4) 岡部三郎：信濃川改修堰堤工事設計報告書，土木学会誌，第6巻，第1号，p.5-8, 24, 25, 1919
- 5) 岡部三郎：可動堰の選定に就て，土木学会誌，第12巻，第4号，p.764, 765, 1926
- 6) Welcome to the White Haven Chamber!：
<http://www.whitehaven.org/josiah.html>
- 7) Lehigh Canal：
<http://www.cr.nps.gov/nr/travel/delaware/leh.htm>
- 8) Jim Thorpe Today：<http://www.jitoday.com/features/LehighRiverHistory/ch4.html>
- 9) National Canal Museum，The Lehigh Navigation System：<http://www.canals.org/education/lehighnavigationsystem.html>
- 10) The upriver canals：<http://www.usace.army.mil/usace-docs/misc/un16/c-6.pdf>