

# 高速度カメラによる捕鯨砲の性能解析の研究

植 村 恒 義

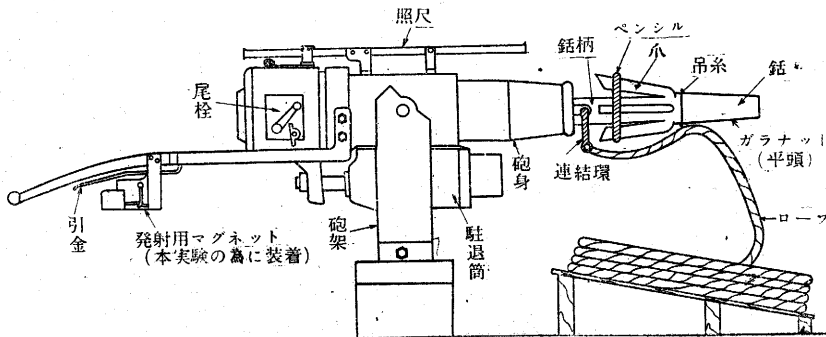
## 1. 捕鯨砲の構造ならびに性能

第 1 図は捕鯨砲の概略を示したもので第 2 図は発射準備完了の場合の写真である。砲身の内径は普通 90 mm で、銃は柄の根元までさし込まれ、柄の溝の中に連結環を通し、これにロープをむすびつけてある。ロープは一旦吊糸で銃の先端部に吊し、それから下にたらしとぐろをまかせる。銃爪は 4 本あり、発射のとき、開かぬようペンシルなる綱でしばつてある。これは鯨体に入った時ぬけて始めて爪が開くようになっている。銃の先端にあるガラナツトの内部には火薬銃では、炸薬が入っており、鯨体内で炸裂する。砲身は一体の特

電気捕鯨実施並に捕鯨砲性能向上に関する研究が、文部省科学試験研究班<sup>1)</sup>(水産大学田内森三郎教授、本学平田森三教授他)、捕鯨船舶装備改善委員会により昭和 23 年度より 27 年度にわたつて行われてきたが、同研究中筆者が分担した高速度カメラによる捕鯨砲の砲内砲外弾道・ロープの運動状況・砲の駐退復座状況等の解析結果を総括して以下簡単に報告する。

殊鋼できており、砲架にだかれて約 150 mm 駐退しうる。砲身の下には駐退筒がある。左方へは照準用把手がのびており、砲手はこれで砲身を上下左右に自由に動かして照準する。図には高速度カメラの始動と砲の発射を同期させるための電気スイッチを装着した場合を示している(6 章参照)。

銃の重量は約 70 kg で砲身の駐退部の重量は 490 kg、その比は 1:7 である。又射程は最大 100 m 以内であるが、それまでにくり出されるロープの重量は銃の重量の 2 倍以上に達する。一般火砲では弾丸と砲身の比は数十分の一で、ロープなどを引き出すものはない。又砲の駐退量も一般火



第 1 図 捕鯨砲の構造

第 5 卷

生産研究 9 月号 目次

第 9 号

口 絵

翼型 NACA 0012 を過ぎる遷音速流  
捕鯨砲の発射瞬間

研究解説

高速度カメラによる捕鯨砲の性能解析の研究..... 植村 恒義... 1  
有機蛍光体の発光能と光化学反応性 藤森 栄二... 6  
乱流促進法について..... 田宮 真...11  
発光塗料の研究..... 仁木 栄次...15

究研速報

造型機に関する基礎的研究..... { 千々岩健児...19  
白鬚 勝男  
衝撃波管による翼を過ぎる遷音速流  
の実験..... 大島 耕一...20  
陰イオン交換による海水の精製..... 山辺 武郎...21  
 $\alpha$ -ピコリン酸-N-オキシドの脱炭酸  
反応..... { 小尾 達郎...22  
永井 芳男  
示差滴定を用いた自動滴定装置..... { 高橋 武雄...23  
仁木 栄次...23  
木本 浩二

IIS NEWS

港の水理模型試験..... 井口 昌平...24  
部外活動.....24



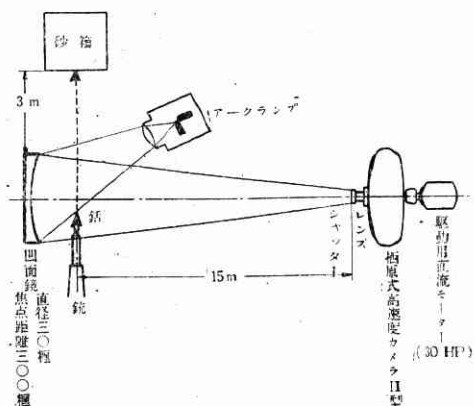
第2図 発射準備完了の状態

砲は 1 m 以上もゆるせるが、捕鯨砲の場合はすぐ背後に砲手がいるため、15 cm 程度しか許せない。このように捕鯨砲は構造は簡単であるが、種々の制約があり、一般火砲とは著しく異つている。

2. 模型実験<sup>2)</sup>

捕鯨砲発射時の砲口附近における銃及びロープの運動状況を驗べるため、基礎的実験として昭和 25 年 9 月より 25 年 3 月にわたつて五分の一モデルにつき、柗原式高速度カメラを使用し、毎秒 3000 駒の速度で影写真で撮影を行つた。銃の形状、ロープの吊り方、火薬量等条件を種々変化させて実験を行つた結果次のような事項が判明した。

(a) 実験装置及び方法 第3図は実験配置の平面的概略を示す。発射用砲としては口径 18 mm の標識銃用銃を使用した。図のように銃の背後に凹面鏡を置き、斜め前よりアークランプで照明し、凹面鏡で反射した光を集光して高速度カメラのレンズに入れる。砲口附近の状

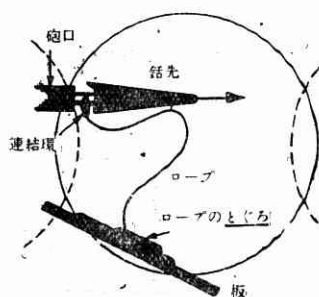


第3図 模型実験配置図

況を知るのが目的であるので砲口前約 3 m の位置に砂箱をおき、銃を打込む配置にした。

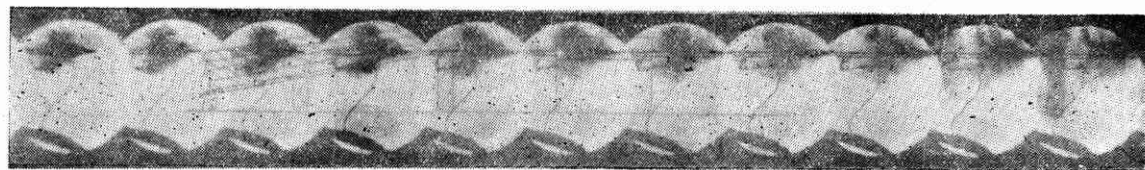
(b) 撮影結果 撮影はいずれも毎秒 3,000 駒の速度で計 13 回行つた。第4図の写真はその1例を示す。

[A] は発射瞬間の 1/3,000 秒おきの変化を示す。[B]

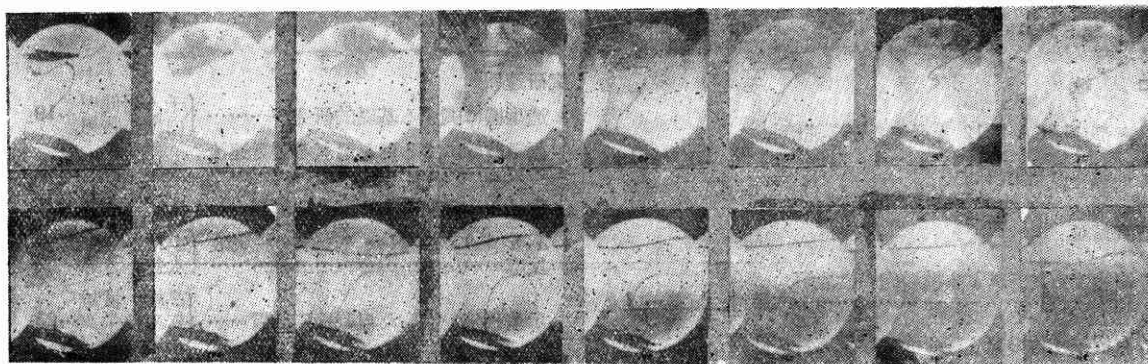


第5図 写真視野の説明

は 1/600 秒毎の状態を示す。第5図の線図は写真視野の説明である。第6図は写真より測定した銃の時間—変位曲線の1例である。図中Aは変位曲線で、B及びCはこれより

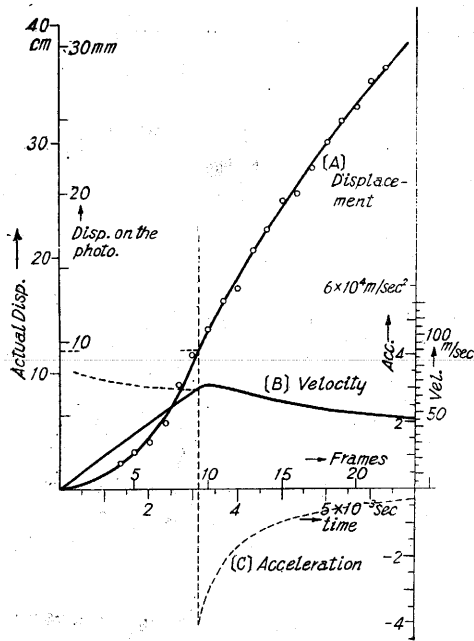


[A] 1/3,000 秒毎の状態



[B] 1/600 秒毎の状態

第4図 捕鯨用銃 (1/5 モデル) 及ロープの発射瞬間における運動状況



第6図 銃の変位、速度、加速度曲線

求めた速度及加速度曲線を示す。

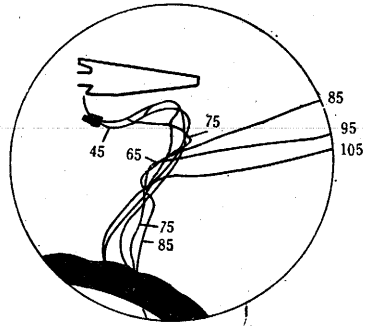
(c) 考察

i) 銃の砲内弾道～捕鯨砲は一般火炮と異り、銃の先端がはじめから砲口外に出ているので、その変位を写真上で測定することにより、銃の砲内における運動状況を知りえた。第6図で縦点線までの約3m秒の間である。この曲線は、変位を  $x$ 、時間を  $t$  とすれば  $x=At^n$  の形で表わされ、 $n=1.8\sim 2.0$  の範囲であつた。なおこの式より理論的に砲内における各瞬間の速度並に加速度を知ることができた。

ii) 銃の初速及び減速～銃が砲口を離れる瞬間の速度は変位曲線より測定した結果70~100 m/秒の範囲であつた。これらの初速は実際の砲の初速と大略一致した値である。一般の銃砲の場合は砲口を離れてからはほぼ等速運動をすると見做してよいが、捕鯨砲の場合はロープを繰り出すため、銃のもつ運動エネルギーは刻々増大するロープの運動エネルギーに費され、銃は相当減速される。このため銃の場合普通の弾丸に較べて相当複雑な弾道となる。この実験では砲口より約30 cmの範囲内の変位を測定したが、砲内の場合と同様  $x=Bt^n$  の形となり、 $n=0.7\sim 0.8$  で、減速効果のはつきり現れている。

iii) 連結環の運動～銃とロープをつなぐ連結環は、発射瞬間においては、銃が動き出しても、環の慣性により銃の柄の溝内にはほぼ静止のまま残り、銃だけが加速される。銃の柄の最後部で初めて急激に衝突し、銃と一緒に動き出すが、第6図の変位曲線で見ると、加速度曲線が急に減速度曲線に不連続的に変化しており、この際の衝撃力は相当大であることが判つた。

iv) 発射瞬間のロープの変形状況～連結環に結びつけられたロープは第5図のように一旦銃の先端に細紐で吊り下げ、それから下方にたらし、そこで緩斜面上に二段にとぐろを巻かしておいてある。第4図写真[B]からも判るように銃の発射と同時に銃先の細紐は直ちに切断されるが、ロープは環と共にそのまゝの形を保つて残り、環が動き出して初めてそれに引張られて運動し始める。第7図はこの状況を明示するために写真を10駒おきに重ね合せて書いた線図である。75駒までは静止のときとは同じ形状をた



第7図 重ね合せ線図

もつているが、85駒からは急にロープは引張られている。

v) その後のロープの運動～銃が動き出して約1/200秒後に環及びロープは動き始め、ロープは次第に繰り出されてゆくが、ロープは銃ととぐろを結ぶ直線にはならず、「型」の波が相当後まで残る(第4図[B]及び第7図参照)。すなわちロープはとぐろから一旦上方に向つて繰り出され、銃の弾道の高さ近くまで昇つて急に水平に曲り、銃の後を追つてゆく。これは興味ある現象で云換えると「型」の波形が銃と同一速度で、銃と逆方向にロープに伝播されていることになる。今ロープの横振動について考えて見ると、波動の速度を  $C$ 、ロープの線密度を  $\rho$ 、張力を  $T$  とすれば  $C=\sqrt{\frac{T}{\rho}}$  なる関係がある。一方銃及びロープの速度を  $v$  とすれば、単位時間に繰り出されるロープの質量は  $\rho v$  となり、その運動量は  $\rho v^2$  となる。張力  $T$  は単位時間に増加する運動量  $\rho v^2$  に等しいから

$$C=\sqrt{\frac{T}{\rho}}=\sqrt{\frac{\rho v^2}{\rho}}=v$$

となり、ロープを伝播する波の速度は、ちょうど銃の速度に等しくなるから、波形は相対的にはもとの位置に静止したまゝとなり、上述の事実は理論的にも存在しうることになる。

このようにしてロープは繰り出されるから、とぐろを巻く斜面がほとんど水平に近くとも、ロープはもつれる心配は少いわけである。かように始め上方に向つて繰り出される力が働くので、銃の後を追つて行くロープは、銃が次第に減速することにより常に銃の弾道線より少し上方に位置して飛行する。又時々生ずるロープのこぶ状のよぢれ目は上述の波形とは無関係に前方に銃と同じ速度で繰り出されてゆく。

vi) とぐろの跳躍～ロープが急に動き出すとき、下

でとぐろを巻いたロープはあたかも一枚の円盤であるかのように斜面上で僅か跳躍する現象が観察された。

vii) **ロープのもつれ方**～とぐろの巻かせ方が悪いと途中でロープがもつれたまゝで繰り出されて行く状況が観察された。

viii) **連絡環とロープの間に重錘が存在する場合**～電気銃では離脱装置が連結環とロープの間に追加されるが、この装置が少し重くなると発射の瞬間に連結環が切断して銃だけが飛んで行く事故が起る場合が多いので、その原因を究めるため離脱装置模型を付けて実験してみた結果、環が銃の柄の最後部に衝突する際、重錘の慣性のため非常に大きな瞬間力が働き、環が切断してしまうため環及びロープの先端の部分はできるだけ軽くしておく必要があることが判つた。

なお又電気銃場合の銃先への導線を含んだ枝網の運動状況も観察することができた。

### 3. 第1回実射試験(武豊)<sup>3)</sup>

上述の模型実験に引続き昭和26年4月11日から13日まで、愛知県の日本油脂武豊工場内試射場において80耗及90耗新捕鯨砲の実射試験を行つた。本試験では普通火薬銃並に電気銃を用い、発射薬の種類、薬量等を変化し、最大腔圧、銃の速度、射距離、砲内外弾道等の諸元の測定を行つた。

実射は計10発行つたが、弾道の測定には16mm日立式高速カメラ(使用撮影速度1000駒/秒)並に16mmフィルム高速カメラ(毎秒128駒)の二種を用い、砲口附近、飛行中及び弾着附近の状況を撮影した。

なおこの外夜間の試験では、発光剤をつけた銃の弾道軌跡を固定乾板上に描かせる回転シャッター式撮影装置も使用された。

これらの撮影結果より次の諸点が明かにされた。

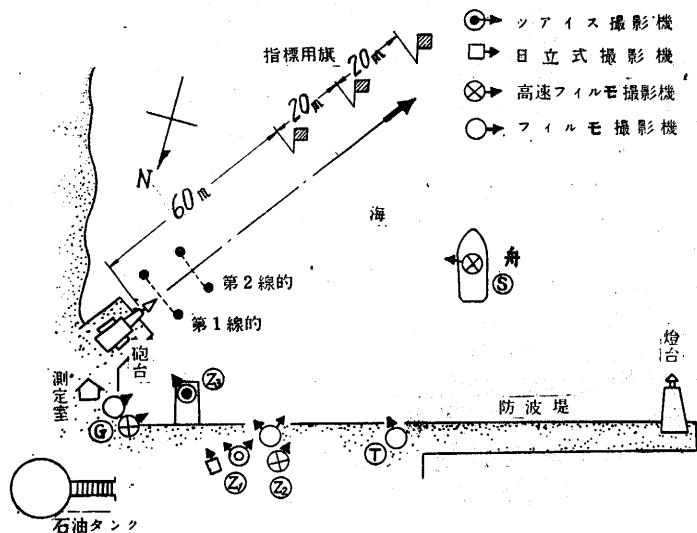
i) **銃の回転**～銃は大抵の場合1秒間に約3回転程度の割合で柄軸の周りに回転していることが判明した。方向は砲より見て左巻、すなわちロープの繰り出される方向である。なお電気銃の場合枝網が銃の回転に伴つてよぢれて飛行する状況がよく認められた。

ii) **ロープの変形状況**～はじめは模型実験の場合と同様とぐろから上方へ一旦昇り、それよりほぼ弾道線に沿つて繰り出される。ロープを円座に巻いたことに起因するスパイラル状の波が銃と大抵同じ速度で前方へ伝播すると共に、振幅数十種、周期1/1000秒程度の早い波が起つていることが判つた。又銃が80米程度以上飛行した後は、砲口の前ではロープは円座から殆んど垂直に数米の高さまで繰り出されているのが観察できた。

### 4. 第2回実射試験(鮎川)<sup>4)</sup>

第2回実射試験は宮城県鮎川町大洋漁業株式会社試射場において、昭和26年8月4日より15日迄の間実施した。使用砲はミロク製90耗新砲で、銃の種類は普通火薬銃1種、電気銃4種、重心移動銃2種計7種について行い、銃先のガラナツトは8種の形状のものについて弾着の際の反跳を試験した。ロープは絹、マニラ、電纜3種計5種を使用し、発射薬も種類、薬量をかえて試験した。

総計60発の試射を行つたが、高速撮影の外、音叉型駐退測定器、火花継電器型初速測定装置、最大腔圧測定装置、落下乾板型駐退測定装置カメラ及び夜間弾道撮影カメラ等の各種装置を用いて必要な諸元の同時測定を行つた。高速撮影には次の4種のカメラを使用した。  
[A] ツアイス・イコン高速カメラ(35mm)毎秒500駒、  
[B] 日立式高速カメラ(16mm)毎秒1000駒、  
[C] フィルモ高速カメラ(16mm)毎秒128駒、  
フィルムカメラ(16mm)毎秒64駒。第8図は試射場の略図でカメラの位置を示す。



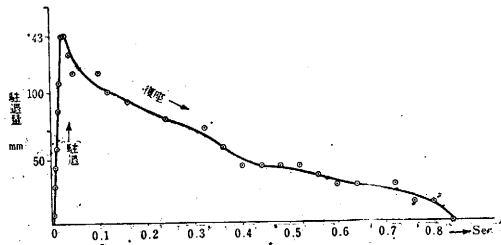
第8図 鮎川試射場略図、カメラ位置図

これらの撮影結果より模型実験の場合のような時間—変位曲線図(第6図)をえ、速度、加速度を求めることができたが、第3回試験において更に精度の高い線図を得ているのでこれらの点は後述する。

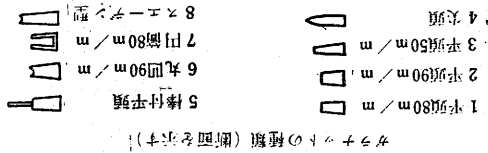
この他に明かにされた点は次の通りである。

i) **砲の駐退復座**～第9図は駐退復座曲線の一例を示す。駐退速度は最高20m/秒程度で0.02~0.025秒の間に駐退を完了し、復座時間は約0.9秒である。銃が砲口を離れるのは駐退速度が最大となつた直後になつている。

ii) **弾着の際の水面での反跳**～銃先につけるガラナツトの形状は第10図に示すような8種を用い、弾着の状態をフィルム高速カメラ(128駒/秒)で望遠レンズを使用して撮影した。その結果平頭90mmでは反跳せず、水中を10m位はほぼ直進する。平頭80mmは入



第 9 図 砲の駐退復座曲線  
〔射番号 No. 58〕  
撮影速度毎秒 500 駒, ツアイ高速カメラ



第 10 図

水後水面に浮上る傾向があり、8 m 位で再び水上に跳上る。平頭 50 mm 及びスエーデン型銃はほぼ同様に相当反跳する。丸頭 90 mm は反跳はしないが入水後の方向の曲りが大きく早く止る。円筒 80 mm は反跳する。平頭 90 mm に棒を突出させた棒付平頭型は反跳する。

この他各種銃の飛行中の振れの状態、ロープの振動状況等がよく観察された。

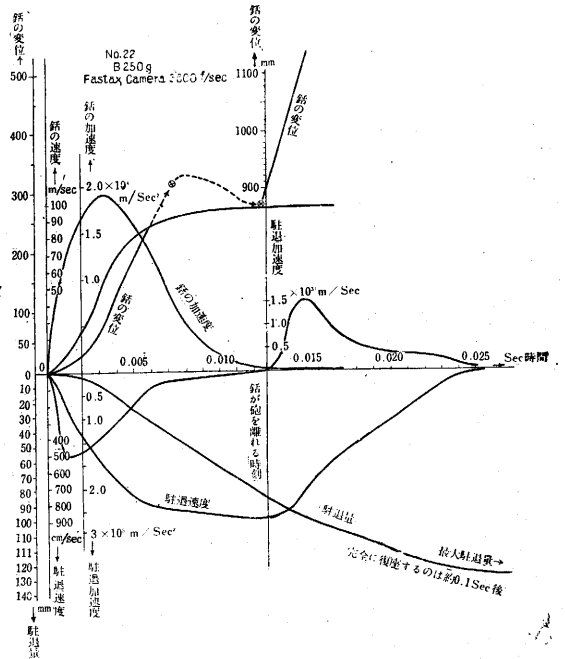
5. 第 3 回実射試験 (武豊)<sup>5)</sup>

第 3 回試験は第 1 回と同じく日本油脂武豊工場試験場において、昭和 28 年 3 月 24 日より 26 日の間に実施した。この実験は NG 入り捕鯨用新火薬の性能試験並に標準量の決定、及び駐退筒を大型にした新 90 mm 捕鯨砲の性能試験、特に駐退器の作動状況、銃の砲内弾道の諸点に重点をおいた。この目的のために鋼柱並に軟鋼円錐による腔内最大圧の測定、水晶圧電氣装置による駐退筒内油圧の変化の測定、初速測定並に高速撮影の方法を併用した。

試射は総計 22 発行つたが、その内 8 発について Fastax 高速カメラを用い毎秒 4,000 駒前後の速度で撮影を行つた。なお銃の弾道を観察するためフィルム高速カメラ (128 駒/秒) 並に普通フィルムカメラ (64 駒) を併せ用いた。

Fastax カメラは銃の発進状況、砲身の後退、復座を精密に測定する目的で砲口附近の撮影を行い、35 mm, 50 mm, 101 mm の 3 種の焦点距離のレンズを使用した。このカメラは前 2 回の実験に使用した日立式、ツアイス式カメラに比して撮影速度も高く、1 駒の露出時間は、毎秒当り駒数  $n$  のとき  $1/5n$  秒となり、毎秒 4,000 駒で  $1/20,000$  秒の短時間となるので、発射された銃も静止した姿で相当鮮明に捕えられる (アード紙写真参照)。照尺、砲架等の固定部に白ペンキでマークして基準線とし、銃並に砲身にもマークした標線との間の距離を精密に測定し、その変位—時間曲線より銃及び砲身の速度並に

加速度を精度よく求めることができた。第 11 図は代表的な一例を示す。



第 11 図 銃及び砲身の変位、速度、加速度曲線

今この図について考察してみると、砲身後退の加速度が最大値を示す瞬間は、砲身の後退及び銃の発進が始まってから約 0.001 秒後であり、砲の後退量は僅か 0.8 mm に達したときに相当する。この瞬間において銃のうける加速度は約  $13,500 \text{ m/sec}^2$ 、砲身の後退加速度は約  $1,900 \text{ m/sec}^2$  である。両者の比  $\frac{13,500}{1,900} = 7.1$  は砲身の駐退部の重量 487 kg と、銃の重量 68 kg の比  $\frac{487}{68} = 7.2$  にはほぼ等しい。このことは銃と砲身が自由に反撥している状態に近く、駐退器は作動していないことを意味する。0.001 秒をすぎると急に駐退器が作動して砲身の後退は急激に抑制されてくるのが判る。

6. む す び

以上捕鯨砲に関する研究中筆者の分担した高速カメラによる解析について概略を述べてきたが、このような毎秒約数千駒程度の撮影速度を有する高速カメラが測定手段として非常に有効な役割を果した一例といつてもよいであろう。

終りに終始御指導を戴いた平田森三教授並に関係各位に深く感謝の意を表する。(1953. 8. 12)

文 献

- 1) 「電氣捕鯨実施に関する研究」 文部省科学試験研究 昭和 23 年~25 年度。  
「捕鯨砲の性能向上に関する研究」 文部省科学試験研究 昭和 26 年~27 年度。
- 2) 昭和 26 年 3 月 13 日 電氣捕鯨実施に関する研究報告会にて発表。  
昭和 26 年 4 月 4 日 応用物理学会講演会にて発表。
- 3) 昭和 26 年 5 月 21 日 捕鯨船舶裝備改善委員会発射試験報告。
- 4) 昭和 26 年 10 月 16 日 捕鯨船舶裝備改善委員会発射試験報告。
- 5) 昭和 28 年 5 月 6 日 捕鯨船舶裝備改善委員会性能試験報告。