

安価なタイムラプスカメラを用いた中間育成中のホタテガイ稚貝の行動観察 (技術報告)

夏池真史^{*1}, 金森 誠¹, 山崎千登勢², 西田芳則³, 本家一彦⁴

¹北海道立総合研究機構函館水産試験場

²北海道立総合研究機構網走水産試験場

³北海道立総合研究機構中央水産試験場

⁴北海道水産林務部

A case study of behavioral observation of interim cultured scallops using a low-priced time-lapse camera (Technical report)

MASAFUMI NATSUIKE^{*1}, MAKOTO KANAMORI¹, CHITOSE YAMAZAKI², YOSHINORI NISHIDA³ and KAZUHIKO HONKE⁴

¹ Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051, Japan*

² Abashiri Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Abashiri, Hokkaido 099-3119*

³ Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 046-8555*

⁴ Department of Fisheries and Forestry, Hokkaido Government, *Sapporo, Hokkaido 060-8588*

キーワード：ホタテガイ, タイムラプス撮影, 本分散, 丸籠

タイムラプス撮影は、インターバル撮影や微速度撮影とも呼ばれ、通常の動画撮影よりも長い撮影間隔で撮影した画像をつないで動画にすることを意図した撮影方法で、例えば星空や植物の成長など長時間の変化を高速度で捉える際に用いられる映像表現である (小迫, 2015)。近年では、スマートフォンやデジタルカメラなどにタイムラプス撮影機能が搭載され、またタイムラプス撮影に特化したデジタルカメラが市販されるなど、身近な撮影手法の一つとなっている。タイムラプス撮影は映像表現としてだけでなく、通常の動画撮影と比較して撮影期間に対する画像取得枚数が少なくなるため、記憶容量や電気使用量を抑えつつ、長期間の連続的な変化を捉えることができるという利点がある。水産学の研究においても、古くから海洋生物などの行動観察に用いられており、近年では陸上使用を前提とした安価なタイムラプスカメラを用いて水産生物の野外での行動を長期間撮影する研究例が増えている (例えば、塩澤ら, 2019; Takahashi *et al.*, 2019; 山下, 2020)。他方、このようなタイムラプスカメラを水中で使用するための防水耐圧容器 (ハウジング)

は量販されていないため、特注に近い市販品を購入するか自作する必要がある。これまでに塩ビ管やアクリル板などの安価な市販品を用いたハウジングの作成方法がインターネットで紹介されており (<https://www.instructables.com/Underwater-Housing-for-miniDV/> および <http://feis.fra.affrc.go.jp/seika/tayousei/fishdiv/housing.html> (2021.1.5)), これらのハウジングの使用例も報告されている (Bergshoeff *et al.*, 2017; 山下, 2020)。しかしながら、後述の通りホタテガイの中間育成に用いられる養殖籠内の限定的な範囲に収容した上で実用的な撮影を行うためには、より小型化したハウジングや広角レンズでの撮影などの改良が必要と考えられた。

北海道ではオホーツク海における地まき栽培や噴火湾における垂下式養殖などの方法によるホタテガイの増養殖が盛んである。これらホタテガイの増養殖には、日本海沿岸や噴火湾等で春に採苗された後、約1年間中間育成された稚貝が用いられる。噴火湾では、中間育成後の稚貝の死亡率と変形貝率の増加 (成育不良) がしばしば発生すること、稚貝の成育不良が発生した世代は、本養成

後の成員の生残率が著しく低下する, いわゆるへい死が発生することが指摘されている(馬場, 2011; 金森, 2019)。ホタテガイ稚貝における成育不良の要因の一つとして, 室内実験や環境条件から養殖籠の振動が成育に悪影響を及ぼしている可能性が指摘されている(森ら, 1974; 金森, 2019)。しかし, 天然環境において中間育成中に稚貝の成育不良が生じるメカニズムについては解明されていない。筆者らは, 稚貝の成育不良の原因解明に資するために, 市販のタイムラプスカメラを用いて養殖籠で中間育成されるホタテガイ稚貝を半連続的に観察したので, この観察方法を報告するとともに, 得られた画像から環境の変化に対する稚貝の行動に関して若干の考察を試みた。

試料及び方法

タイムラプス撮影機材 本研究では, 比較的廉価であり乾電池のみを電力として撮影条件次第で1か月以上の長期間タイムラプス撮影が可能であること, 比較的小型(幅64 mm, 高さ106 mm, 奥行き46 mm)であるため漁具などへの取り付けが容易であること, 水中生物の観察事例がすでに報告されていることから(例えば, Takahashi *et al.*, 2019; 塩澤ら, 2019; 山下, 2020), Brinno社製のタイムラプスカメラ(TLC200Pro)を撮影に使用した。本研究ではホタテガイの中間育成に用いられる丸籠内に取り付けるため, できるだけ小型のハウジングを作成することを目指した。そこで, これまでに公表されている作成方法を参考にしつつ, 低コストでサイズや加工方法を細かく指定できるアクリル部品(<https://www.hazaiya.co.jp/index.html> (2021.1.5))を利用してハウジングを作成した。ハウジングに必要な部品の仕様や工具とハウジングの組立手順について付録1~4にまとめた。工具を含む作成に必要な部品は, 1台のハウジング当たり20000円程度で購入可能である。作成したハウジングは, 水深30 mに15分間沈下させても漏水などのトラブルはなかった。このハウジング(高さ15.5 cmフタを除く本体の直径7.6 cmの円筒)にタイムラプスカメラを収容した。本報告では養殖籠内でのホタテガイ稚貝の挙動を把握するために, 直径50 cmの円形の養殖籠(いわゆる丸籠)の底面全体を約40 cm上方から撮影することを目指した。このとき, カメラに付属のレンズ($f = 19$ mm, 画角 112°)では, 籠全体を観察できる視野が確保できないため, より広角なレンズが必要であった(スペック上の画角は大気中で使用されることを前提とした値であり, 水中使用の場合, 屈折の影響で画角はより小さくなる)。しかし, 同社のオプション品である広角レンズは比較的高価であり, かつ要

求される画角を確保出来なかったため, 市販の広角レンズに付け替えた。TLC200ProではレンズマウントとしてCSマウントが採用されている。CSマウントでは市販レンズのバリエーションが少ないため, CS-M12マウント変換アダプターを用いてM12マウントの広角レンズ($f = 1.39$ mm)を装着した。M12マウントは, 監視カメラや工業用カメラの規格として頻繁に利用されるため, 様々な広角レンズが比較的安価に市販されており, レンズ, マウントアダプター, ナットはインターネット販売等で購入可能である(例えば<https://www.tu-han.net/camera11.html> (2021.1.5))。撮影には, 広角レンズを付け替えて焦点を合わせたタイムラプスカメラ6台を用いた。撮影時間を12時00分~12時15分, 撮影間隔を10秒, 10 FPS, 露光条件として水中における光量の減衰を考慮してtwilightを選択し, 他は規定値のままにして撮影を開始した。この状態でハウジング内に収納・固定し, 海中で中性浮力となるように鉛の錘を加えてフタをした(図1-1, 付録3)。これで1台のカメラで, 1日に約90枚の連続画像を得ることができる。

カメラを取り付けた中間育成用丸籠と養殖条件 噴火湾における養殖ホタテガイの中間育成では, 主に仮分散と本分散と呼ばれる2回の選別作業が行われる。仮分散は, 春に採苗した稚貝を夏に選別して座布団籠と呼ばれる育成籠に収容する作業であり, その後, 数ヶ月育成した稚貝を, さらに成長に応じて秋季に選別して新たな養殖籠に収容する作業を本分散と呼ぶ(嶋田ら, 2000)。本分散した稚貝の収容には, 主に丸籠が用いられる。丸籠は各段の底面のフレームと側面のロープによって1段の高さ20 cm, 直径50 cmの円筒状に整形され, 目合い約6 mm(2分)のポリエチレン製の網で覆われており, これが10段連続している(図1-2)。本研究では, この丸籠1段全体の観察を目指した。アクリル容器でハウジングしたタイムラプスカメラを結束バンドで, 丸籠の1, 4, 7段目の中央部のフレームに固定した(図1-3)。それぞれのカメらは, 2段下の3, 6, 9段目の籠の底面全体を視野に収めて観察できる。また, カメラと稚貝の間の網地と十字に補強されたフレームは, 視野を遮るため取り外した。籠の最下段に籠を安定させるための1 kgの鉛錘を取り付けた。2020年9月11日に, 同年春季に採苗して中間育成した稚貝を, 目合い4分5厘(13.6 mm)のふるいで選別した上で, カメラ付きの丸籠の3, 6, 9段目にそれぞれ70, 50, 30個体収容した。収容した稚貝の殻長は 18.0 ± 1.51 mm(平均±標準偏差, $n = 92$)であった。この籠を2本立てで用意した。噴火湾の湾奥部に位置する八雲漁港の沖約2.7 kmの養殖施設(水深約17 m, 北緯42度15分26秒, 東経140度19分10秒)にこの籠を垂下した。籠を水深約3 mに張

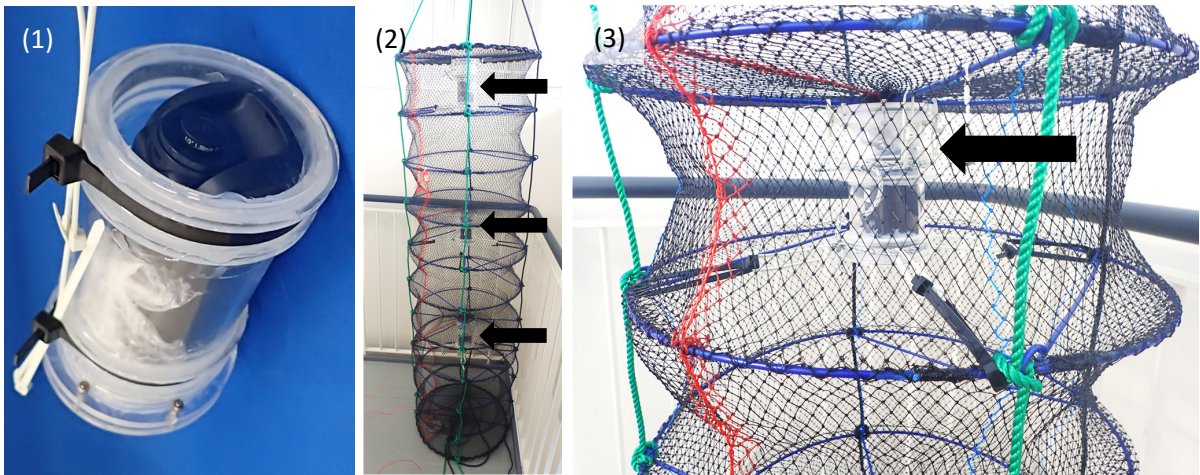


図1 自作したハウジングに収容したタイムラプスカメラ (1) およびこのハウジングを取り付けたホタテガイ中間育成用の丸籠全体 (2) と一部の拡大写真 (3)。矢印は、籠中のハウジングを示す。

られた幹綱から、長さ約2 mのロープで垂下した。この時のカメラの垂下深度は、おおむね5~7 mになる。2020年9月11日に垂下して撮影を開始し、9月28日までの18日間、撮影した。

画像解析 連続撮影された画像は、撮影日ごとにAVI方式の動画ファイルとして保存される。プログラミング言語Pythonで動作する画像処理ソフト (OpenCV) を用い、動画ファイルからコマ単位でjpeg形式の画像ファイル取り出した。各画像ファイルを目視で確認してホタテガイ稚貝を判別するとともに、籠内での分布や移動などの様態を観察した。さらに、プログラミング言語Pythonで動作するソフト (labelme; Wada, 2016) を用いて、1台のカメラから得られる約90枚の連続画像のうち (図2-1)、最初と最後の2枚の画像に含まれるホタテガイ領域を手動で指定し (図2-2)、OpenCVを用いて指定したホタテ領域に占める画素 (ピクセル) 数を計測した。撮影期間中の気象データ (全天日射量、日降水量、日最大風速・風向) を気象庁ホームページ (<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2021.1.5)) より入手した。降水量、風速・風向については、養殖地点に最も近い八雲のデータを、測定地点が限られる全天日射量のみ室蘭のデータを利用した。

結果および考察

画像取得 6台のカメラによる18日間の撮影で、電池切れやハウジングの漏水などのトラブルなく、すべてのカメラで撮影を完了し、合計9,686枚の画像を取得した (図2-1)。得られた画像は視野内に稚貝を収容した段全体を収め、真上から見下ろした状態で観察可能であった。1日1台当たり連続撮影される画像の枚数は89~90枚と若

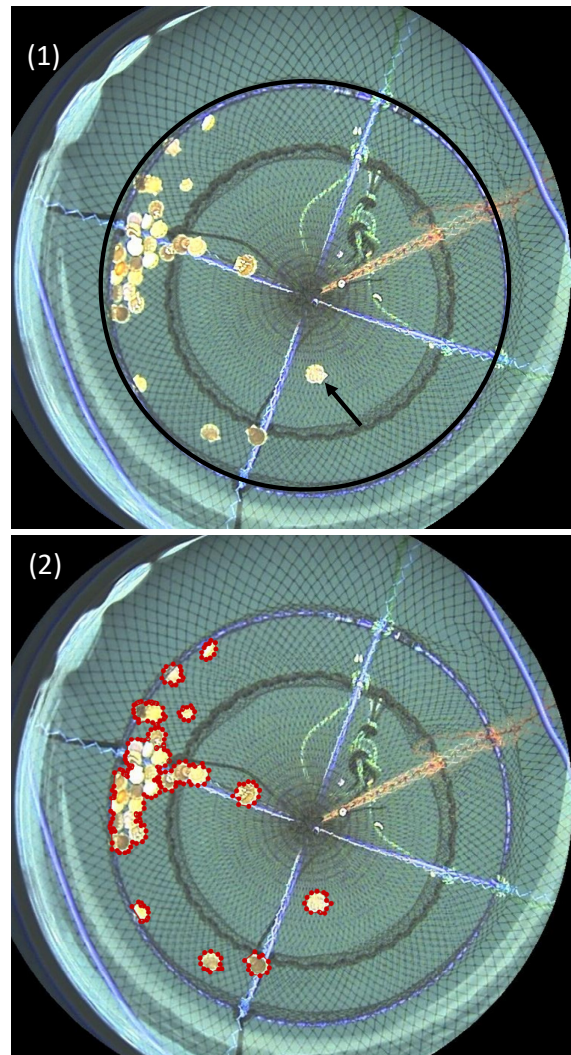


図2 丸籠内の中間育成中のホタテガイの連続写真の例 (1)、および同じ写真から手動でホタテガイの周囲を囲った時の写真 (2)。1の黒丸枠は稚貝が収容された籠の底面を、矢印は撮影されたホタテガイの稚貝を示す。

干の差があったが、これはシャッタースピードなど撮影に際し生じる微少な時間差の積み重ねによるものと考えられた。全期間を通して、3日間（9月13, 14, 25日）でホタテガイを認識できない画像があった。特に9月13日にはすべてのカメラで観察可能な画像が得られなかった。9月13日の天候は曇で、晴天時の半分程度の日射量しかなかったことに加え、撮影前までの24時間に30 mmを超える降雨があった(図3)。9月13日と同程度の日射量にも関わらず問題なく稚貝を撮影できる日があったこと（例えば9月12日や9月23日）、撮影地点が噴火湾に流入する河川で最大の流量を有する遊楽部川の河口に近いことを考慮すると、光量の不足に加えて出水や時化に伴う濁度の増加によって明瞭な像が得られなかったと考えられる。なお、より大きい光量を確保するために、事前にカメラの向きを天地逆（下向きではなく上向き）にして筐底面を下方から観察可能か検討したが、逆光の影響が強く物体をほぼ認識できないため稚貝の観察には適さないと判断した。水中撮影に際して、日光の影響が大きいことは、同じタイムラプスカメラを用いた水中生物の観察においても言及されており（山下, 2020）、同様の撮影を実施する場合、光環境やそれに応じた撮影条件をよく検討すべきである。また、観察を開始して2週間が経過した頃から、ハウジング表面の付着生物が画像に映り込むようになった。同様の撮影にあたっては電池の残量やデータ容量とともに、付着生物の影響を考慮して撮影期間を検討すべきである。これらを除外した稚貝を十分に観測できる画像は約8,900枚であり、筐全体に分布する大きさ20 mm程度のホタテガイ稚貝をタイムラプス撮影可能であることを確認した。

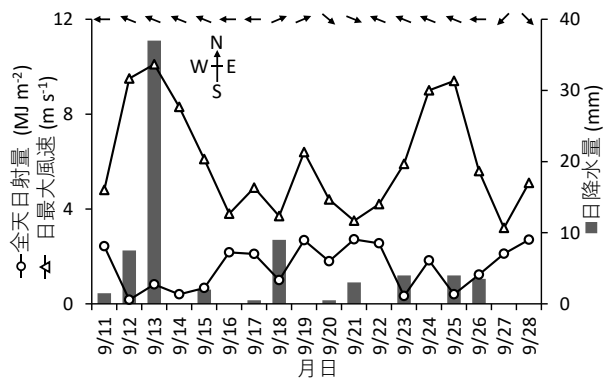


図3 タイムラプス撮影を試みた期間（2020年9月11日から9月28日）の室蘭における12時から13時までの1時間当たりの全天日射量、八雲における日降水量および日最大風速、および最大風速時の風向（矢印）。データは気象庁ホームページ（<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2021.1.5)）より入手した。

画像解析 稚貝を囲んだ領域の画素数を目的変数、養殖日数を説明変数として直線回帰したときに、収容枚数と連の異なるすべての試験区において正の相関があった(図4)。本研究では、撮影後も中間育成を継続したため、カメラ観察終了後の稚貝サイズを把握できなかったが、ホタテガイ領域の画素数が育成期間に伴って増加した要因はホタテガイの成長による可能性が高い。また、各試験区の収容枚数を説明変数、上述の回帰直線のy軸切片（養殖開始日に想定される稚貝の領域面積）を目的変数として直線回帰した場合、強い正の相関（ $r = 0.98, n = 6$ ）がみられ、ホタテガイ領域画素数は収容枚数に比例することもわかった。そのため、これらのパラメーターを用いれば、撮影画素数から中間育成中の稚貝の成長を容易に推測できる可能性がある。ホタテの成長と画素数の関係を明確にすることは画像解析を有効に活用する上で、今後必要な課題となるであろう。また、試験期間中、ホタテガイ領域画素数は、養殖日数とともに増加する傾向があった一方で、すべての試験区で概ね同じ時期に急減する場合があった（例えば9月12～14日および9月23日～25日、図4）。この期間の画像を確認すると、筐内の稚貝同志の重なりやフレームの外周部に密集する等、分布の変化が認められた。併せて、稚貝の分布の変化がみられた期間中、噴火湾では湾口方向から吹送する風速が強まっており（図3）、一定以上の時化による振動が稚貝の筐内に及んでいたと推察される。養殖施設の振動が、筐養殖されているホタテガイの成長や生残に悪影響を及ぼすことは過去の研究でも示唆されており（森ら, 1974; 金

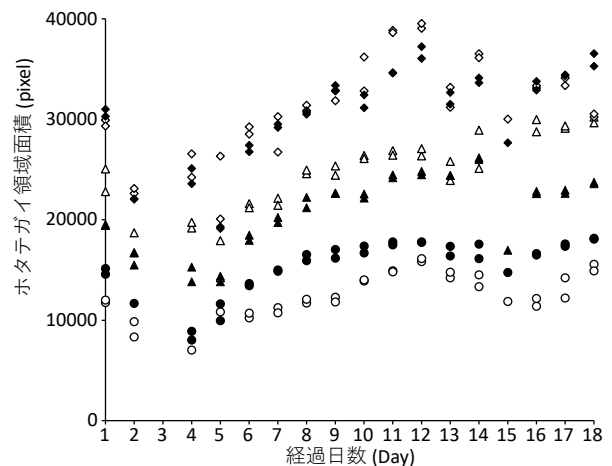


図4 経過日数とホタテガイ収容枚数ごとのホタテガイ領域面積（ピクセル）の関係。収容個体数は30個体（○●）、50個体（△▲）、70個体（◇◆）の3通りあり、白抜きと黒塗りつぶしは、それぞれ同じ連の結果を示す。各試験区における養殖日数と領域面積の相関係数は0.60 - 0.83 ($p < 0.01$)の範囲であった。

森, 2019), タイムラプス撮影による稚貝の行動観察が, 稚貝のストレスを把握する上で効果的であると考えられる。また, 同じ日の最初と最後のホタテ領域画素数の差が大きい場合があり, 撮影時間内で短期的な稚貝の分布の変化(移動頻度)には日間差がある可能性がある。このように, より詳細な連続画像の解析によって稚貝が受けた物理ストレスを評価できる可能性がある。しかし, 本研究において手動で囲った画像の数は, 得られた全画像(約10,000枚)に対して200枚程度でしかなく, 手動での解析には限界があった。例えば, 本研究のように手動でホタテガイ領域を囲う作業には, 画像1枚当たり平均して10分程度を要し, 約200枚の画像を囲うだけで, のべ30時間以上の時間が必要であった。取得された約10,000枚の画像に対して, すべて手動で同様の作業を行うと仮定すると, 1,700時間という膨大な時間が必要となる。タイムラプス撮影では容易に膨大な情報が得られる反面, 人力によるデータ処理に多大な労力が必要であることは他の研究でも指摘されており(山下, 2020), 今後, 得られた画像データを有効に活用するためには, 深層学習によるホタテガイ領域の自動認識プログラムの開発など作業の大幅な自動化が必須であろう。

本研究では, 安価なタイムラプスカメラを用いて中間育成中のホタテガイ稚貝の行動観察を試み, 収容枚数の異なる試験区におけるホタテガイ稚貝の18日間の連続画像の取得に成功した。このように安価なカメラを用いることは, 限られた予算の中でより多くの試験区や精度の高い結果を得る上で意義深いと思われる。実際に, 得られた画像を解析した結果, ホタテガイの成長や環境変化に応じた行動の変化が示唆される数値データを取得することができ, 本手法が中間育成中のホタテガイの行動観察に有用であると考えられた。他方, 膨大な画像データから有効なデータを得るには, 画像解析手法の自動化などの技術開発が求められる。

謝 辞

八雲町漁業協同組合ならびに同組合の阿チ谷大輔氏に, 現場調査にご協力頂いたことを御礼申し上げます。画像解析に関して熊本大学工学部の戸田真志教授および日新電子工業株式会社の夏池由紀氏に助言を賜った。現地調査に際し, 渡島総合振興局渡島地区水産技術普及指導所ならびに渡島北部地区水産技術普及指導所所員の皆様, 北海道立総合研究機構稚内水産試験場の佐藤政俊氏, 同函館水産試験場の北川雅彦氏ならびに渡野邊雅道氏に協力を賜った。

引用文献

- 馬場勝寿. 噴火湾養殖ホタテガイのへい死要因. 試験研究は今 2011;695: <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/o7u1kr000001f27.html>
- Bergshoeff JA, Zargarpour N, Legge G, Favaro B. How to build a low-cost underwater camera housing for aquatic research. *FACETS* 2017; 2: 150-159.
- 金森誠. 噴火湾養殖ホタテガイのへい死年の気象・海洋環境について. 試験研究は今 2019; 888: <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/work1/ima888.html>
- 小迫裕之. タイムラプス/微速度撮影. 映像情報メディア学会誌 2015; 69: 658-664.
- 森勝義, 菅原義雄, 小畑一臣. 三陸沿岸における養殖ホタテガイの大量へい死に関する研究 - I 貧栄養, 貧栄養+振動の両実験条件下で発生する斃死について. 魚病研究 1974; 9: 10-18.
- 嶋田宏, 西田芳則, 伊藤義三, 水島敏博. 噴火湾八雲沿岸における養殖ホタテガイの成長, 生残と漁場環境要因の関係. 北海道立水産試験場研究報告. 2000; 58: 49-62.
- 塩澤舞香, 塩出大輔, 秋山清二, 胡夫祥, 東海正, 平井良夫. 中層・底層定置網の海亀脱出装置から漁獲対象種は逸出するのか?. 日本水産学会誌 2019; 85: 173-175.
- Takahashi C, Karama KS, Masumi S, Uchida J, Hirose M, Matsushita Y. A Comparison of Remotely Operated Vehicle (ROV) and Time Lapse Camera Techniques for Investigating Fish Fauna Around an Anchored Fish Aggregating Device (aFAD). *Fisheries Engineering* 2019; 56: 75-83.
- Wada K. labelme: Image Polygonal Annotation with Python. 2016; <https://github.com/wkentaro/labelme>
- 山下泰司. タイムラプスカメラによる水中画像を用いた石組み魚道における遡上魚の確認. 岡山県農林水産総合研究センター水産研究所研究報告 2020; 35: 33-37.

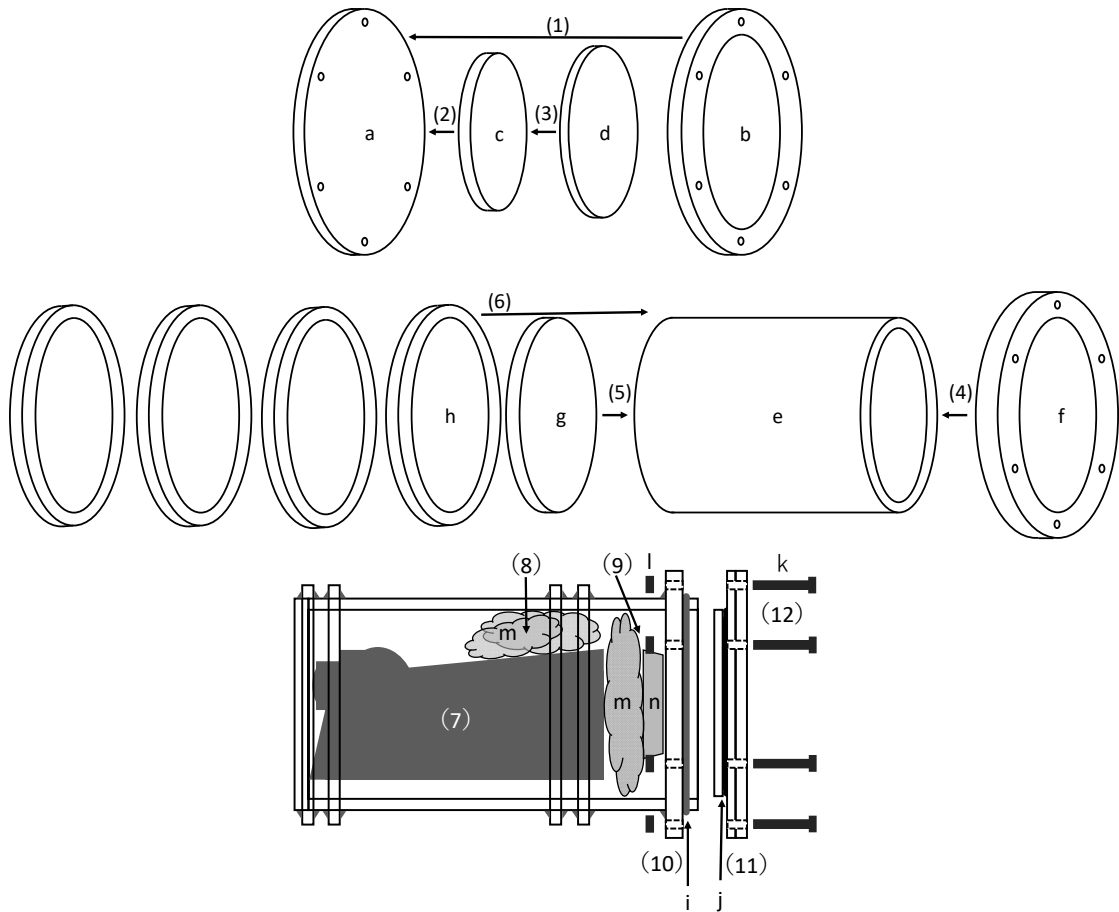
付録1 カメラハウジング組立に必要なオーダーメイドアクリル部品の仕様。

カメラハウジングの組立に必要なアクリル部品の仕様					
名称	付録中のアルファベット	直径 (mm)	厚さ (mm)	加工	必要数量
円板	a	96	4	タップ穴開け：6分割，中心からの距離43 mm，タップ穴規格M3	1
円板	b	96	3	穴開け：中心からの距離76 mm タップ穴開け：6分割，中心からの距離43 mm，タップ穴規格M3	1
円板	c	61.5	4		1
円板	d	67	3		1
パイプ	e	76 (外径)	4		1
円板	f	96	6	穴開け：中心からの距離76 mm 穴開け：6分割，中心からの距離43 mm，穴直径3 mm	1
円板 (透明)	g	76	5		1
円板	h	86	4	穴開け：中央部の直径76 mm	4*
カメラハウジングの組立に必要なその他の部品					
名称	付録中のアルファベット	規格	サイズ	必要数量	
シリコンゴム製Oリング	i	AS568-150	線径2.62 mm，内径72.69 mm	1	
ニトリルゴム製Oリング	j	AS568-229	線径3.53 mm，内径59.92 mm	1	
ステンレス製六角ボルト	k	M3	長さ20 mm	6	
ステンレス製六角ナット	l	M3		6	
気泡緩衝材	m			適量	
錘	n			約270 g	

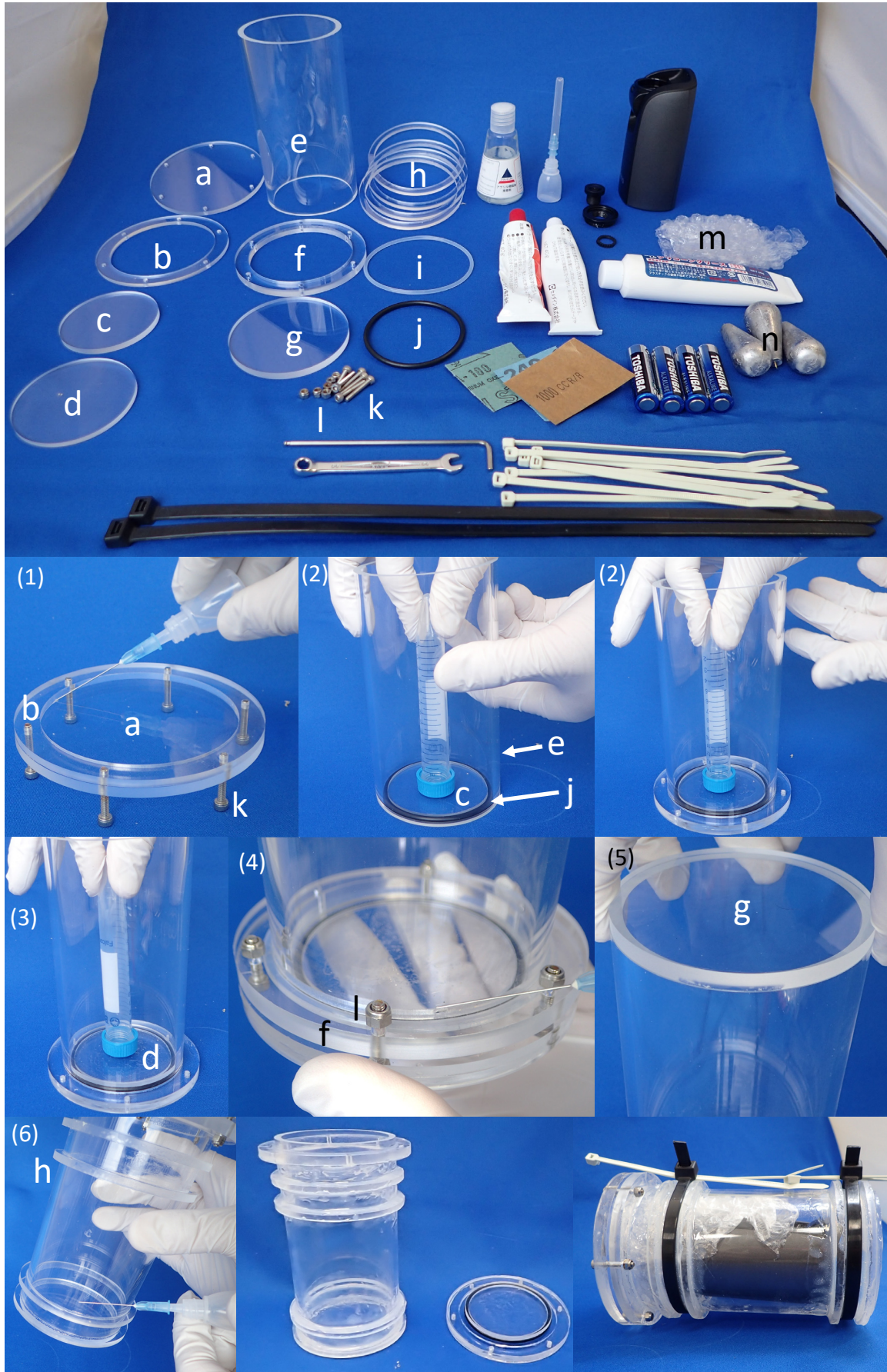
*ハウジングの固定に有用

付録2 カメラハウジングの組立および使用の手順。

順番	組立手順
(1)	aとbを接着する。接着の前に、六角ナット(k)をタップ穴に締め込んで、位置を決めておく作業しやすい。
(2)	aのbが接着された側とcを中心を合わせて接着する。接着の前に、cの外周にニトリルゴム製Oリング(j)を装着した上で、eにはめ込んだ上で、aと接着すると容易に中心が決まる。
(3)	dとcを中心を合わせて接着する。できあがったものがハウジングのフタになる。
(4)	eの端より5 mm程度内側にfを接着する。接着の前に、fにシリコン製Oリング(i)を噛ました上で、fとeを六角ボルト(k)とナット(l)で仮組みして、fの接着位置を決定する。
(5)	fがある反対の面のeとgを接着する。
(6)	eとhを接着する。ハウジングを固定するために必要であれば行う。



付録3 カメラハウジングの組立（上側）および使用（下側）の手順図。図中の数字とアルファベットは、付録1と2と対応している。



付録4 カメラハウジングの組立と本研究で用いたタイムラプスカメラ (TLC200Pro, Brinno) を使用するために必要な部品とカメラハウジング組立の各手順の作業写真。写真中の数字とアルファベットは、付録1と2と対応している。