

< 実践報告・資料 >

ホタルイカ生態解説支援システムの開発

Development of firefly squid ecology explanation support system

北陸職業能力開発大学校

人 見 功治郎
中 杉 晴 久
植 平 一 郎

ホタルイカ生態解説支援システムの開発

北陸職業能力開発大学校 人 見 功治郎
中 杉 晴 久
植 平 一 郎

Development of firefly squid ecology explanation support system

Kojiro HITOMI, Haruhisa NAKASUGI, Ichiro UEHIRA

要約 魚津水族館からの依頼を受け、ホタルイカの生態を解説する際に使用する実演用システムを開発した。これは、ホタルイカが発光する理由を来館者に分かり易く解説するためのシステムであり、メカトロニクス的要素（マイコン、モータ、LED、センサ等）を用いた3つの装置で構成されている。操作者は操作卓のタッチパネルあるいは音声入力でも本システムを操作する。模型を用いて行われていた従来の説明方法では発光する理由を十分に説明できないことから、海中を想定した環境をシステム内に再現し、ホタルイカと魚の模型の動作に合わせてホタルイカ模型に埋め込まれたLEDを発光させることで、発光理由を説明する。このシステムは応用課程の開発課題実習で11名の学生が製作したものである。実習では水族館学芸員からの要望調査から始め、システムの提案・修正を重ねて仕様を決め、製作した。平成22年度、水族館で行われたホタルイカ発光実験で、2ヶ月あまりの間来館者の前で実演した。実演に対する学芸員の評価は概ね良好であった。

I はじめに

富山県魚津市にある魚津水族館（以下、水族館）では、3月中旬から5月末までのホタルイカ漁獲シーズンに合わせ、生きたホタルイカの発光実験と模型を用いたホタルイカの生態解説を行っている。平成21年度初め、生態解説に使用する新しい装置を開発したい、という要望を水族館から受けた。ついては平成21年度に試作品を製作し、次年度本格的に着手したいとのことであった。このため、北陸職業能力開発大学校では地域貢献の一環として、応用課程の開発課題で取り組み、「ホタルイカ生態解説支援システム」として試作品を開発した。

当初は試作品として開発したものの、学芸員からの評判が良かったため、平成22年3月下旬から5月末までの2ヶ月あまりの間、実際に水族館に設置し、従来の生態解説模型の代わりに来館者の前で使用・実演した。本稿では開発したシステムと、開発の際に応用課

程学生を指導した内容および実際に使用した学芸員からの評価について報告する。

II ホタルイカ発光実験と従来の生態解説

1 ホタルイカの発光器について

ホタルイカは大きく分けて3種類の発光器を持っている⁽¹⁾。一つめは2本の触手先端についた腕発光器である。これはそれぞれの触手に2個ずつ付いており、何かに触れると発光する。このため一般的には敵を脅すためのものと考えられている。しかし魚津水族館の稲村は、天敵に見つかった時にオトリとして光らせ、天敵の注意がオトリに向いた間に逃れるといった説を立てている⁽²⁾。

二つめは両目の海底側についた眼発光器である。片目に5個ずつあるが、実際に発光しているところは自然界で確認されていない。三つめは腹についた弱く発光する約1,000個の皮膚発光器である。ホタルイカの

天敵は海底側に生息しているため、ホタルイカが海面からの光を遮ると、影によりその存在が天敵に知られてしまう。ホタルイカの腹は海底側を向いており、皮膚発光器を発光させることで海面からの光に自身の姿を溶け込ませ、海底から見えなくしている。これをカウンターシェイディング効果と呼ぶ。なお、海面側から海底に向かって見た場合はこの効果が働かないため、背中側には発光器がほとんど存在しない。

2 水族館での解説内容

魚津水族館では昭和30年代から様々な方法でホタルイカの発光実験を行ってきた。現在の発光実験は平成10年より行われているもので、毎年3月中旬から5月末のホタルイカ漁獲シーズンに、水族館内のレクチャールームを占有して行われている⁽³⁾。ここでは、まず薄暗い赤色照明の下、図1に示す模型を用いてホタルイカの各発光器と発光生態を解説する。模型の全長は約55cmであり、稼動部は無い。腕発光器として青色LEDが埋め込まれており、発光させることができる。また皮膚発光器として蛍光塗料が塗られており、UV光を照射することで光らせることができる。

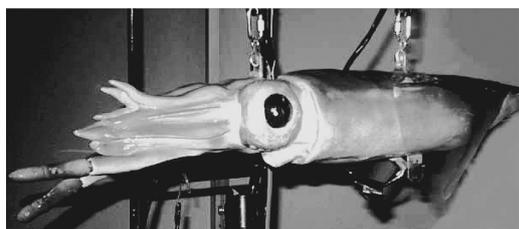


図1 従来の生態解説で使用されている模型

明るさに目が慣れてきたら、部屋の前方に設置したホタルイカ水槽の前に10名前後の観客を集め、さらに照明を落とす。水槽は前面と下面が透明で、真下には観客に向け45度に傾けた鏡が設置されている。これにより、皮膚発光をしながら泳ぐホタルイカの姿を、観客は鏡を通して観察することができる。また、学芸員がホタルイカを水槽から取り出し、腹側を上にして観客の前で見せる。この時、強く光る腕発光と、1,000個ほどある皮膚発光の「ツブツブ」を観察できる。

このように生きたホタルイカで発光器を確認できるため、観客には好評である。しかし海中とは環境が違うため、水槽内でカウンターシェイディング効果を確認することは難しい。また生きたホタルイカに刺激を与えれば腕発光器を発光させることはできるものの、発光理由が詳しく説明されていないため、自然界における腕発光を水槽内で再現することはできない。従っ

て、現状では発光理由の解説は言葉での仮説紹介に留まっている。そのため、観客にとって発光理由を理解し易いとは言えず、印象にも残りにくい。

さらに模型に取り付けた発光装置の輝度が高く、観客の視力を暗闇に慣れさせる際の障害となる。このため発光実験では模型の発光器をほとんど点灯させていないのが実情である。

III ホタルイカ生態解説支援システム

1 装置概要

水族館からの依頼を受けた後、開発に先立って水族館に赴きホタルイカの生態と解説方法の現状を調査した。その結果、次の点に着目した。

- 模型のため動きがなく、面白みに欠ける
- カウンターシェイディングを解説しづらい
- シーズン以外では行っていない

そこで模型を動かすことで面白みを持たせ、またシーズン以外でも無人で解説を行うことのできる装置として開発に着手した。

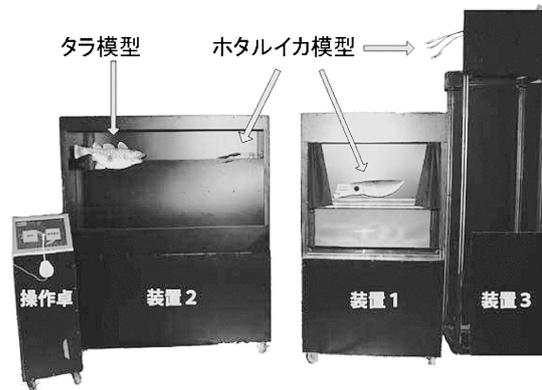


図2 ホタルイカ生態解説支援システム

今回製作したシステムを図2に、装置寸法を表1に示す。製作した装置は大きく分けて三つの装置に分かれている。装置1では各発光器とカウンターシェイディングを解説する。装置2では、装置3を共に用いてホタルイカが天敵の魚から逃れる方法を稲村の仮説にもとづいて解説する。これらは三つで一つのシステムとして成り立っており、それぞれの装置は脇にもうけた操作卓から操作する。操作卓はタッチパネルになっており、学芸員が解説時に使用するだけでなく、シーズン以外に来館者が操作することも想定した。また操作卓にはマイクが取り付けられており、音声で操作することもできる。

表 1 各装置の大きさ

装置名	寸法 (mm)
装置 1	W:1,010×H:1,800×D:805
装置 2	W:1,510×H:1,800×D 805
装置 3	W:600×H:2,500×D 500
操作卓	W:370×H:1,150×D 310

学芸員が解説する際には、これら装置をレクチャールーム内に図3のように配置する。従来から使用している生きたホタルイカの入った水槽を正面中央に据え、その両脇に装置1と2を設置する。装置3はレクチャールームの柱に隠れるように置き、装置自体は観客に見せず、装置から飛び出す模型のみが見えるようにする。

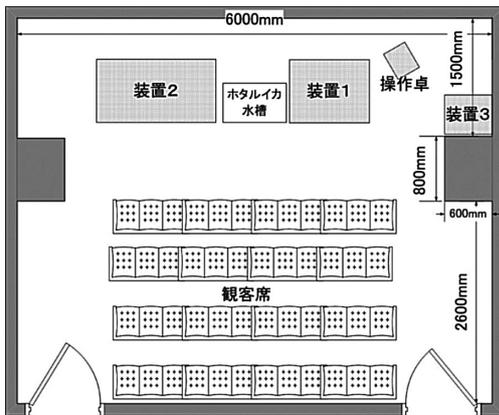


図3 装置配置 (レクチャールーム)

システム構成図を図4に示す。各装置内に設けられたモータやLED、センサ類は、装置1内に設置されたマイコンで制御する。またシステム全体の制御はパソコンで行い、タッチパネルとマイクを介して入力されるユーザ指示に基づいて、マイコンに命令を送る。

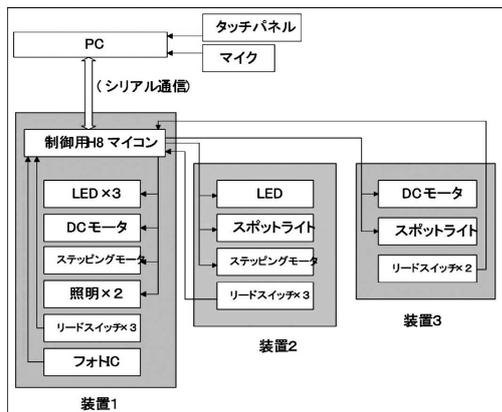


図4 システム構成

2 装置1について

装置1では、図5に示す約10倍に拡大したホタルイカの模型を用いて、各発光器とカウンターシェイディングについての解説を行う。模型の全長は約54cmで

あり、硬質ウレタンフォームで作った外形にFRP樹脂を積層し製作した。この模型内部にLEDを取り付け、表面にポリパテを盛り、研磨、塗装し完成させている。腕発光器、眼発光器として実際と同数の青色LEDを、皮膚発光器として120個の青色LEDを埋め込んでいる。

発光器のほとんどは海底側を向いている。このため、観客の居る、模型横側からは観察できない。そこで解説の際には、模型を90度回転させて腹面を観客に向け、埋め込んだLEDをそれぞれ発光させて解説を行う。模型の回転にはステッピングモータとウォームギアを使用した機構を用いている。

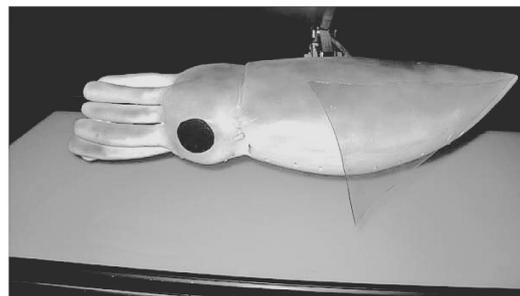


図5 装置1内のホタルイカ模型 (大きさ: 実寸の約10倍)

カウンターシェイディングの解説では、海底に届く光を再現した青いLED照明を模型の上からあて、ホタルイカが息する海中を再現する。そして、模型下方に設定した乳白色アクリル板スクリーンに映る影を、さらにスクリーンの下、斜め45度に傾けて設置した鏡に写して観察する。発光器の数が、実際のホタルイカに比べ10分の1程度のため、直接鏡で反射させると光点のはっきりと分かり、カウンターシェイディングの再現にならない。そこで、装置ではこの問題を解決するためにイカ模型と鏡の間に乳白色のアクリル板を挟み、光を拡散させている。

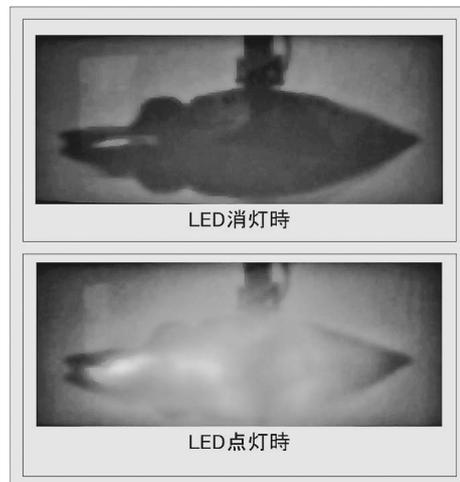


図6 カウンターシェイディング

図6に示すように、皮膚発光器に見立てて模型に埋め込んだ120個のLED消灯時には模型の影がはっきりと映る。しかし、写真ではLEDの光点が若干目立つものの、LEDを点灯するとその影が消えることがわかる。これによりカウンターシェイディングの効果を解説することができる。なおこの際、LEDの輝度を上からの照明にあわせるためPWMで調整している。

3 装置2、3について

装置2、3には実寸大のホタルイカ模型、装置2には天敵のタラ模型を配置している。ホタルイカ模型を図7に示す。これは、水族館で以前に使用していたものを手本にして製作した。粘土でマスターモデルを作成し、それを基にシリコンゴム型を作り、型に樹脂を流し込み模型を複製した。ホタルイカの腕にあたる場所までプラスチックファイバを埋め込み、LEDの光を導くことで腕発光器を再現している。タラ模型は装置1のホタルイカ模型同様FRPで作成した。

また、高輝度チップLEDを搭載したスポットライトを装置内に取り付け、解説に合わせてタラやイカの模型を効果的に照らすようにした。

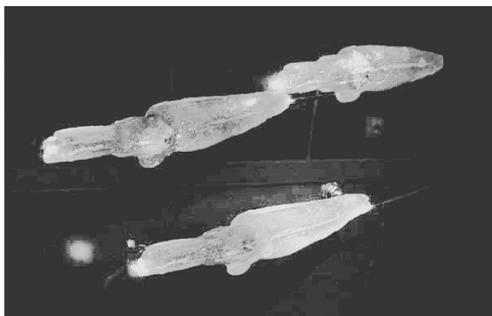


図7 装置2、3内のホタルイカ模型 (大きさ：実寸大)

これら二つの装置を用い、ホタルイカが天敵のタラから逃げる様子を次のようにして説明する。まず、装置2内でタラ模型がえさに見立てたホタルイカ模型を捕食しようと近づく。タラ模型が近づく、ホタルイカ模型は腕発光器(LED)を発光させるものの、タラ模型に捕食される。実際には、捕食する直前にタラ模型とイカ模型をスポットライトで照らす。その後スポットライトを消灯し、腕発光器を一瞬発光させる。そして暗闇の中、タラ模型をイカ模型の位置まで移動し、再度スポットライトで照らし出す。この時、タラ模型でイカ模型を隠すことで、イカ模型が捕食されたように見せかける。しかし、その後捕食されたと思われたホタルイカ模型を装置3から登場させ、タラ模型が捕食したのは腕発光による残像だったことを解説す

る。装置3の位置を装置2から離すことによりホタルイカの逃げる速さを表現した。

装置2ではタラ模型を左右に約1,000mm動かす必要があるため、本装置では図8に示すパンタグラフ機構を用いた。この機構によりボールねじストロークの約7倍の移動距離を発生させることができた。またタラ模型の入退場のために、回転テーブル機構とワンウェイクラッチを組み合わせた180度揺動機構を製作した。これをパンタグラフの先端に取り付け、タラ模型の入退場箇所付近に設けたラックで動力を変換し動作させる。これによりパンタグラフ機構による左右移動のみでタラ模型の入退場を可能とした。

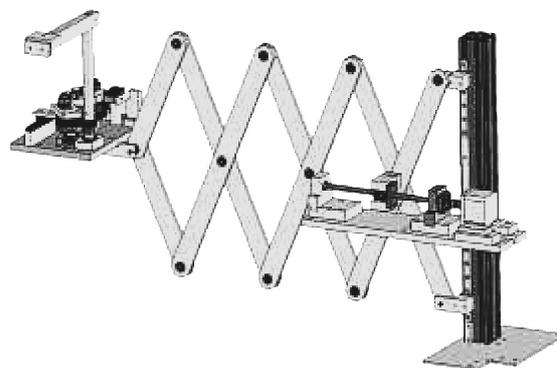


図8 パンタグラフ機構

装置3におけるホタルイカ模型の入退場は、レクチャールームの柱の影から直線的にスライドさせて行う。スライド機構にはベルト送り機構を採用し、入退場時に発生する動作音の低減を計った。

4 操作卓について

装置1から3に設置した模型は操作卓から操作する。操作方法にはタッチパネルと音声入力を採用した。発光実験中の学芸員による操作ではタッチパネルを使用し、それ以外の観客による操作ではタッチパネルと音声入力を使用する。これは、解説文と音声での操作文が実験中に混在すると観客にわかりにくりと考えたためである。タッチパネルと音声入力用マイクはパソコンに接続され、パソコンから装置1内に設置したマイコンを制御する。タッチパネルには15インチ型のものを用いた。パソコンのOSにはDebian GNU/Linuxを採用し、Glade開発環境を利用してGUIプログラムを作成した。タッチパネルの情報はUSBを介したシリアル通信で送付されるため、これを読み取る。例として、装置1を使用して各発光器を点灯させる操作画面を図9に示す。図中のボタンをタッチすると、対応する発光器が点灯または消灯する。

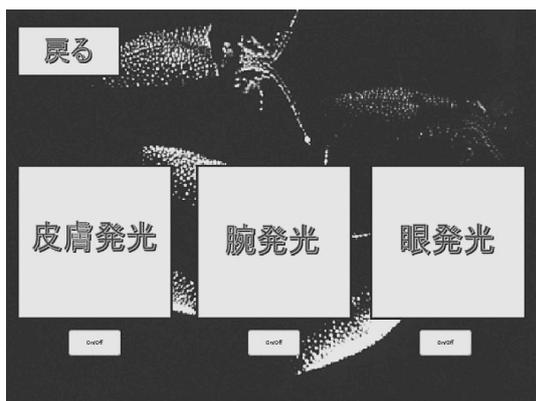


図9 発光器操作画面

音声入力への認識にはJuliusを採用した。音声入力時には、タッチパネルからの入力を読み取らず、音声でのみ操作できるようにした。音声入力の開始ボタンをタッチすると、作成したプログラムからJuliusを起動し、ファイルを通じてJuliusの認識結果を読み取る。認識できる音声は「腕発光器」「眼発光器」などの10単語に限定しているが、話者を選ばない。「終わり」と入力すると音声入力を抜け、タッチパネルでの操作に戻る。

装置1内に設置したマイコンには、H8/3069Fマイコンを搭載した市販マイコンボードを使用した。マイコンボード上で動作するプログラムの開発にはμITRON準拠のOS、TOPPERS/JSPを利用し、シリアル通信、LED点灯、モータ制御などをタスクに割り当て、マルチタスクシステムとして動作させている。また、H8/3069Fマイコンボードをマルチタスクシステムとして動作させると、入出力ポートを使用できなくなる。このため、装置内に設置されたモータやLEDをメモリ空間にマッピングするインターフェース回路を製作した。

IV システムの開発とその指導内容

今回の開発は、生産機械システム技術科4名、生産電子システム技術科4名、生産情報システム技術科3名の計11名で行い、概ね次のような段階を経て完成に至った。

1. 構想段階
2. 仕様詳細化段階
3. 設計・製作段階
4. 評価段階
5. 発表段階

以下、各段階での学生に対する指導内容について述べる。

1 構想段階

開発当初の2、3ヶ月は構想を練る段階にあて、月に1、2度のペースで水族館学芸員と打ち合わせを行い、双方の考えをすり合わせた。

従来当校の開発課題では、指導員の設定したテーマを学生ら自身が調査し、討論を通して「社会ニーズがある」「技術的に社会的価値が見出せる」「学業の集大成にふさわしい」といった見地から具体的な製作物の構想を立て、製作する。ところが、本開発課題は水族館からの依頼を受けて開始したため、ニーズは既があり、使用者も明確に決まっている。よって、残りは学業の集大成にふさわしい技術を盛り込むことであった。

そこで、「ホタルイカのロボットのようなものを作り、脚を含めてその動きを再現する」といった難易度の高いロボット製作を、水族館に提案した。しかし、『あくまでも製作物は生態を説明するためのものであり、見易さのために大きくなることは仕方が無いにしても、誤ったイメージを来館者に植え付けたくない』とのことで却下された。このため、技術的に高度なものを作ることが優れているのではなく、ユーザが欲しているものを作ることが大事である、あるいは、そういったものこそが売れるものであると学生に説明し、水族館が要求するものを製作するようにさせた。

2 仕様詳細化段階

依頼者との間で構想が固まれば、仕様を詰め詳細化していく。例えば以下のような作業を行い、詳細を詰めていった。

設置場所は決まっているため、部屋の大きさにあった製品を作る必要がある。このため設置場所を測定するのはもちろんのこと、設置場所に至る搬入経路についても測定した上で製品全体の大きさを決定させた。

また、設置する部屋では生きたホタルイカの発光を観察するため、部屋の赤色照明はかなり薄暗い。このためLEDを明るく点灯させると、暗闇の中で生きたホタルイカのほのかな光を見ることができなくなってしまう。そこで、あらかじめ部屋の照度を計測し、LEDの輝度を調整した。

実際に製作する装置の概要を決定すると、「それぞれの装置がどのような動作をするのか」また「そこでどのような説明をするのか」といったことを水族館側に具体的に提示する必要がある。このため、今回は図10に示すストーリーボードのようなシナリオを描かせ、実際に行う説明内容をメンバ全員で共有し、決定させた。

No.	カット	ピタチキ	内容	セリフ	タッチパネル
1			照明用ライトを点灯する 1カット終了時消す	ホタルイカは日本海 産で、本平清洲の 一軒の海鮮料理店 2000-2000mの深所に 生息しています。	
2			魚発光器を光が弱く 2カット終了時消す	魚発光器は、この装置 から魚を動かすために 設置されています。魚は この装置から光を感知し、 泳ぎ回ります。魚の動きは この装置から感知され、 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて	
3			魚発光器を光が強く 3カット終了時消す	魚発光器は、この装置 から魚を動かすために 設置されています。魚は この装置から光を感知し、 泳ぎ回ります。魚の動きは この装置から感知され、 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて	
4			魚発光器を光が弱く 4カット終了時消す	魚発光器は、この装置 から魚を動かすために 設置されています。魚は この装置から光を感知し、 泳ぎ回ります。魚の動きは この装置から感知され、 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて	
5			魚のライトを光が弱く 魚発光器を光が弱く ホタルイカの足とライトを 動かす ホタルイカを左右に移動 させる 5カット終了時消す	魚発光器は、この装置 から魚を動かすために 設置されています。魚は この装置から光を感知し、 泳ぎ回ります。魚の動きは この装置から感知され、 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて 魚の動きに合わせて	

図10 装置の動作説明図

3 設計・製作段階

この段階では詳細化した仕様を満たすように、設計・製作していく。ただし、仕様詳細化段階で決定した内容を確認するため、一度だけ、実験結果・製作途中のもの・シナリオなどを水族館に持ち込み、製作物について確認させた。その結果、「カウンターシェイディングを効果的に見せるために、カーテンでホタルイカを隠す」「スポットライトの光を弱め、ぼんやりと映し出すようにする」「装置1の横幅を短くする」などといった要望が出され、変更を行った。なお、前節で記述した装置詳細はこれら要望を反映した内容となっている。

4 評価段階

装置完成後、タッチパネルと音声の入力に応じて各装置がシナリオ通りに動作することを確認した。しかし、マニュアルの作成など水族館での実演準備に時間を取られたため、音声認識率などの定量的評価はできていない。

また、実際に水族館学芸員4名に一連の動作を見てもらい、感想という形で評価してもらった。実演の結果は、概ね良好な感想であった。ただ一点、学芸員不在の時に来館者自身が操作を行う場合には、来館者は思いもよらずやり方で操作し、時には破損につながるような場合がある。このため、来館者に操作させる場

合には、「操作できる部分を限定する」「操作する部品を堅牢にする」などの対策を取らないと壊されてしまうと指摘された。

V ホタルイカ発光実験での実演

当初試作品開発として始めた課題であったが、2010ポリテクビジョン in 新川(平成22年2月20日)での発表直前、学芸員の前で披露したところ高く評価された。その結果、急遽平成22年度の発光実験で使用するようになった。

平成22年度の発光実験は、3月21日から5月30日までの日曜・祝日に開催された。日に5回の実験があり(ゴールデンウィーク期間中は6回)、延べ日数は17日間、延べ回数は90回であった。ゴールデンウィーク期間中は来場者が多く、混雑する。このため、今回開発した装置を使用できないかも知れないとの話であった。しかし2ヶ月あまりの期間を通して、全ての発光実験で使用・実演された。発光実験一回あたりの入場者は平均で65人、一日あたりの入場者数は平均で345人、期間を通じての延べ入場者数は5860人であった。この期間の入場者数推移を図11に示す。

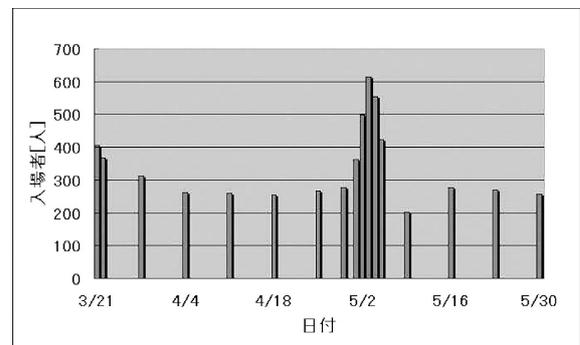


図11 ホタルイカ発光実験入場者数

開発した装置を使用しての致命的なトラブルは無かったものの、運用で対応したトラブルが2件発生した。一つはパソコンの電源を入れたままで放置するとシステムがハングアップするものであり、原因は良く分からない。ただ、電源を入れなおせば正常に動き出すため、発光実験が始まる都度、電源を投入してもらった。二つめは装置2内に設置したタラ模型が止まらなくなるもので、期間中2、3回発生した。このトラブルは学芸員の機転で話を切り替え、お茶を濁した。また実験期間終了後、使用しての感想を聞いたところ、以下のようなものであった。

- カウンターシェイディングの説明が、装置を使うことで一目瞭然であり、分かり易く、やり易

かった

- 観客にも楽しんでもらえたとし、話も分かりやすくなった
- 運用にさほど手間がかからなかったため、ゴールデンウィーク期間中も観客に楽しんでもらえた。

しかし、装置の細部に対しては、

- タラ模型の移動速度が遅く、捕食のイメージから遠い
- 装置3のモータ音が大きく、仕掛けが分かってしまう
- LED発光を見づらい場所が会場の端に存在した
- パソコン操作よりもリモコンで操作できたほうが、観客の近くで説明できる

といった指摘を受けた。

VI おわりに

平成21年度開発課題として「ホタルイカ生態解説支援システムの開発」を行った。

当初は試作品製作の予定であったが、完成した装置に対する評価が高く、実際に水族館内に設置して実演を行った。2ヶ月あまりの間利用し、実際に使用した学芸員から細かなところで改良点を提案されたり、原因の究明できていないトラブルが2件発生するなど課題も残されるが、概ね満足できる出来栄であり、観客にわかりやすい装置であるとの評価を得た。

開発にあたっては、装置の使用者が決まっていたため、どのようなものを作りたいのかという聞き取り調査、どのようなものを作れば満足してもらえるのかといった事前実験、あるいは打ち合わせに多くの時間を割いた。このため、通常の授業では経験できない内容となり、結果的に学生たちにも良い経験になった。また、多くの人の目に触れる場所で実際に製品が使用されたという経験は、成功体験として学生たちの今後の良い結果をもたらすことと期待したい。

最後に、機会を与えていただいた魚津市企画総務部 企画政策課 稲村主幹、また学生からのいろいろな提案に耳を傾け、ご指導いただいた魚津水族館学芸員の皆さんに謝意を表します。

[参考文献]

- (1) 渡瀬 庄三郎、「蛍烏賊の発光器」、動物学雑誌、第17巻第200号、1905年、pp.119-123
- (2) 稲村 修、「ホタルイカの発光の目的に迫る 一光はオトリなのか?!」、月刊海洋、号外47、2008年、pp.80-85
- (3) 稲村 修、「魚津水族館でのホタルイカの展示」、月刊海洋、号外51、2009年、pp.153-159