

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「漸深層で使用可能な同期機能実装型バイオリングデバイスの開発」

研究開発成果等報告書

平成26年 3月

委託者 北海道経済産業局

委託先 一般財団法人函館国際水産・海洋都市推進機構

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制	2
1-3	成果概要	2
1-3-1	小型データロガーの開発	2
1-3-2	取得したデータの可視化ツールの開発	2
1-3-3	データロガーに実装するアドホック通信の確立	3
1-3-4	フィールド検証	3
1-4	当該研究開発の連絡窓口	3

第2章 本 論

2-1	小型データロガーの開発	4
2-1-1	データロガー試作機の作成	4
2-1-2	筐体素材の変更及び、低コスト化への取組み	4
2-1-3	加速度搭載型（DTA）データロガーの試作	5
2-1-4	試作したデータロガーによるフィールド検証の成果	7
2-2	取得したデータの可視化ツールの開発	10
2-2-1	グラフ表示部の改良	10
2-2-2	統計処理	12
2-2-3	地図データと連携した移動軌跡表示機能の実装	13
2-2-4	個体ID別データ集計	14
2-3	データロガーに実装するアドホック通信の確立	15
2-3-1	今年度の開発スケジュール	15

2-3-2	27th北海道技術・ビジネス交流会 ビジネスEXPOへの出展	16
2-3-3	検証試験	16
2-4	フィールド検証	19
2-4-1	耐圧検証	19
2-4-2	シロザケ検証	20
2-4-3	同期機能検証	29

最終章 全体総括

(1)	複数年の研究開発成果	32
(2)	研究開発後の課題・事業化展開	33

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

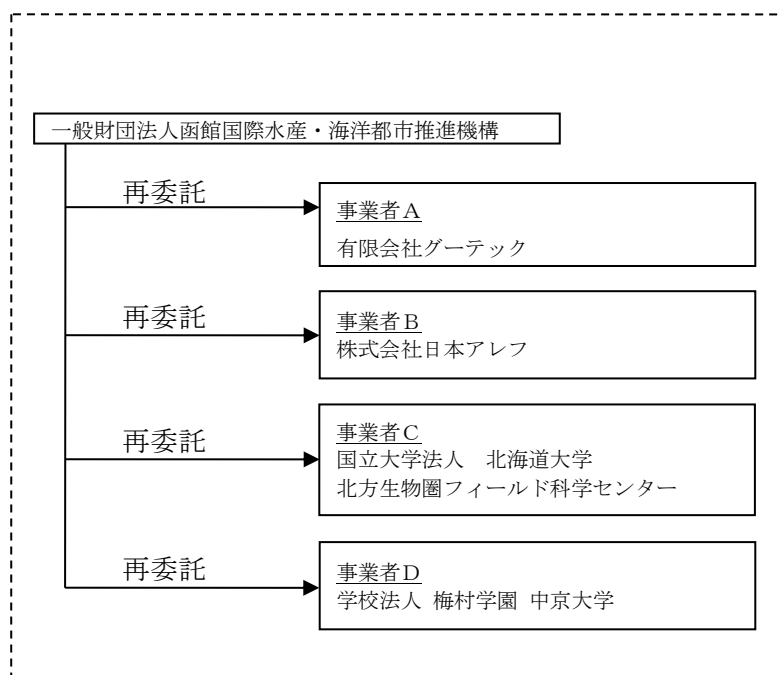
近年、生物資源管理及び生物多様性保全の重要性が世界的に認識されるに伴い、海洋生物についても科学的知見の集積と調査研究の必要性が強く意識されるようになった。今後、国際機関・国・地方自治体・NGOなどが主催する海洋生物調査プロジェクトが世界的に増加することは確実である。

こうした状況を踏まえて、川下事業者は海洋生物調査システムの確立を目指しているが、そのようなシステムに必須の構成要素であるバイオリギングデバイス（データロガー）の性能が現状では十分でない。そのほとんどが海外製であり、高価なうえ、エンドユーザのニーズに即応したカスタマイズができていない。具体的には、研究目的や対象とする海洋生物によってデータロガーの種類を変更する必要があることに加えて、海洋生物に取り付けたデータロガーのデータ回収率（データロガーの回収率に依存する）が非常に低いため、調査のたびに多数のデータロガーが必要である。しかしながら、データロガーの単価が高額のため、十分な数のデータロガーを確保することが困難である。

こうした問題を解決するために、データロガーのデータ取得部（IF：インターフェイス）を共通化したうえで、搭載するセンサデバイスを個別に構成して（モジュール化）、複数（マルチ）のセンサデバイスを積み重ねた状態（スタック型）にし、マルチスタック型のデータロガーを開発する。さらに、データロガーに超音波相互通信を用いたデータ共有機能（同期機能）を実装し、データロガー1個の回収によって生物1個体ではなく複数個体分のデータを効率的に取得できるシステムを実現する。

以上のようにして、カスタマイズ性、データ回収効率を飛躍的に向上させたデータロガーの製品化実現を目的とする。

1-2 研究体制



総括研究代表者（PL）

所属：有限会社ゲーテック

役職：取締役技術本部長

氏名：小松 正

副総括研究代表者（SL）

所属：株式会社日本アレフ

役職：技術本部長

氏名：齋藤 忠勝

1-3 成果概要

1-3-1 小型データロガーの開発

漸深層で使用可能なセラミック製 DT 型データロガー、軽量化と低コスト化を実現した樹脂埋め DT 型データロガーを作成した。さらに加速度センサ搭載型（DTA）データロガーを作成できた。データロガーからのデータ吸い出し機能の実装と一部の圧力センサの耐性試験は未完了である。

1-3-2 取得したデータの可視化ツールの開発

取得データの可視化ツールを開発し、統計処理結果・移動軌跡などの表示機能を実装した。

1-3-3 データロガーに実装するアドホック通信の確立

超音波を用いた個体間のデータ同期通信（アドホック通信）システムを開発してデータロガーに実装し、生魚を用いた検証により同期通信に成功した。

1-3-4 フィールド検証

耐圧検証において試作されたロガーは、深度 1,000m でも浸水せず、予定通り漸深層で利用可能なロガー筐体を作成できた。シロザケ検証では、予定されていた個数のロガーを作成し検証を行ったが、深度・水温ロガーのセンサ不調により、予定していたデータを得ることができなかった。一方、加速度ロガーでは、計画通り加速度 3 軸のデータを得た。加えて、超音波同期通信に関しては、4 つのデバイス間で予定していた水温データの同期に成功した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人函館国際水産・海洋都市推進機構 総務・経理部門 伊藤 晶

TEL : 0138-43-0220 FAX : 0138-42-6223

e-mail: a.ito@marine-hakodate.jp

一般財団法人函館国際水産・海洋都市推進機構 調査・研究部門 福田 覚

TEL : 0138-43-0220 FAX : 0138-42-6223

e-mail: s.fukuda@marine-hakodate.jp

第2章 本論

2-1 小型データロガーの開発

昨年度は、試作1号機から2号機への改良において電池寿命を改善し、1分間のサンプルリングレートで7年間の寿命を達成した[動作条件]。さらに、3号機への改良において、スタック機能を実現した[小型化]。こうした昨年度の成果を踏まえて、今年度は主に検証活動に向けて必要な試作機(DT型/DTA型)の作成を行いながら、ユーザーニーズの高い項目についての機能開発を行った。

2-1-1 データロガー試作機の作成

機能を限定して、できるかぎりの小型化を実現したデータロガー試作機として、長さ40mm以下、直径20mm以下の魚類用外部装着型データロガーを30個作成した(DT型25個/DTA型5個)。6月の噴火湾検証からはじまり、8月末以降のシロザケを対象としたフィールド検証において動作確認と課題抽出を行った(確認された課題とその対策については後述)。今年度は、昨年度のDT型に加えて新たにDTA型(加速度センサ搭載型)の試作機も作成した。

2-1-2 筐体素材の変更及び、低コスト化への取組み

昨年度までは、強度を最優先と考えて、セラミック製の筐体で設計と試作を行った。それに対して今年度は、ユーザーニーズの観点からより軽量化及び低コスト化が望まれたことから、新たに樹脂製の試作機の準備を行った。低コスト化の最大のネックとなっていた圧力センサに関しても、昨年度とは別の種類の安価なセンサを選定して試作機に搭載した。

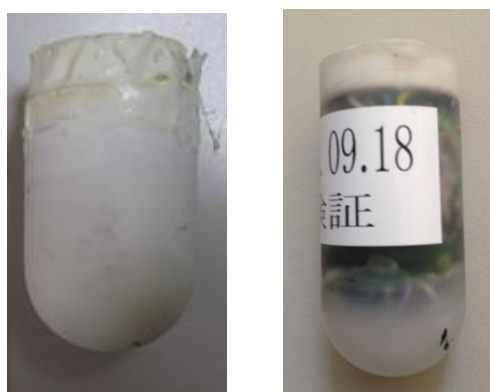


図 2-1-1 左:昨年度試作のセラミック筐体/右:今年度試作の樹脂埋筐体

表 2-1-1 セラミック製 DT 型データロガー試作機の性質

素材	サイズ	重量	測定データ	耐圧	電池寿命	サンプリング
セラミック	22×30mm	32g 18g (水中)	温度 圧力	1000m	7年	1分～5分

表 2-1-2 樹脂埋め DT 型データロガー試作機の性質

素材	サイズ	重量	測定データ	耐圧	電池寿命	サンプリング	データ通信
樹脂埋め	18×30mm	25g 9g (水中)	温度 圧力	1000m (未検証)	7年	1分～5分	2線式

2-1-3 加速度搭載型 (DTA) データロガーの試作

DTA 型は、主に魚類の生態調査向けに使用されている DT 型とは異なり、高付加価値型のデバイスに分類されるデータロガーである。加速度データは、温度/水圧と比較してデータが大量になる。温度/水圧は業界標準としては 30 秒に 1 回のサンプリングとなっているが、加速度に関しては 16Hz (1 秒間に 16 回) サンプリングが標準とされている。そのため、DT 型で使用したメモリ (1Mbit) では不足することから DTA 型では microSD (SPI モードで 2GByte) を搭載した。



図 2-1-2 左:DT 型ロガー開発機/右:DTA 型ロガー開発機

DT 型ロガーと比較すると、DTA 型ロガーの開発機のほうがスタックしている基板の枚数が多くなっている。当初、DTA 型ロガーの開発機は消費電力の関係で容量が大きな電池を搭載していたが、試作を重ねた結果、9 月フィールド検証用の試作機の段階では DT ロガーと同様の電池サイズとなった。

(1) ユーザニーズによる機能追加

- 1) データロガーの取り付け時刻を毎回検証時に実験担当者が記録しているが、可能であれば実時間との連動をデータロガー本体へ組み込み機能として実装する。
- 2) 9 月の段階では、回収したデータロガー本体からデータを取得するためには、樹脂埋め部分に切削加工を施してデータ吸出し用コネクタにアクセスする必要があった。検証の後のステップである製品化フェイズにおいては、樹脂の切削加工なしでデータを回収できる仕組みが必須となる。

上記 2 つの開発課題に対しては以下のように取り組んでいる。1)に関しては、実時間との連動を実現するために、電池取り付け後に RTC (リアルタイムクロック) に現在時刻の設定を行うという機能を新たに追加することで対応している。これは 9 月のシロザケ検証時に実装済みである。2)に関しては本年度中に開発を完了する予定である。具体的な手法としては、以下のような通信 (2 線式通信) によりデータ取得を行う。

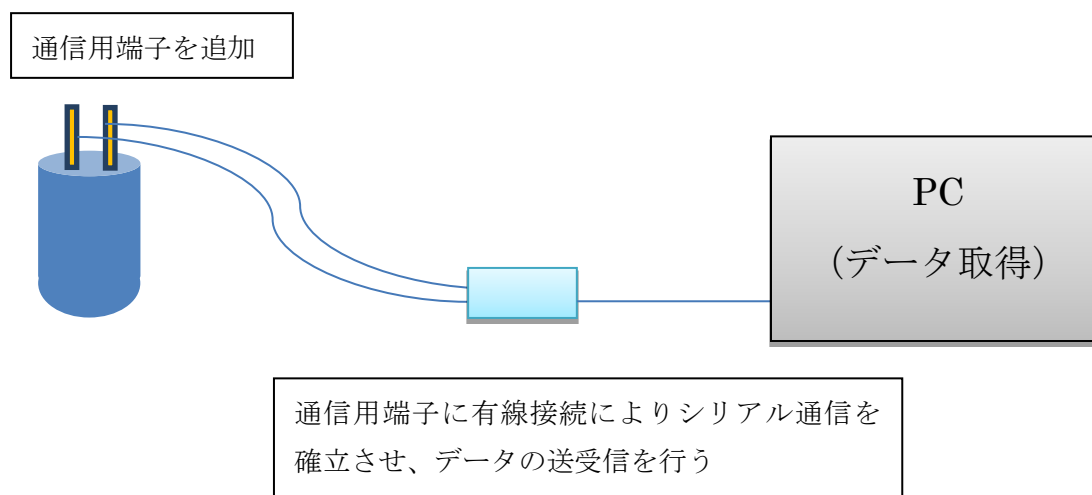


図 2-1-3 2 線式通信によるデータ吸出し機能予定

2-1-4 試作したデータロガーによるフィールド検証の成果

今年度から取組みを行った樹脂埋め型のデータロガー30個程度を取り付けた実フィールド検証を行うことができた。およそ20個程度の回収に成功した。その中で、加速度型(DTA型)と分類される高付加価値型のロガーの試作機によるデータ取得が確認された。回収したデータロガーから得られたデータをCSV形式に変換が可能であり、データロガーのユーザである共同研究機関の担当者に変換後データを提供することができた。



図 2-1-4 9月のシロザケ検証で実際に回収されたデータロガー(DTA/DT)

また、このフィールド検証の結果、試作したデータロガーに以下の課題が存在することが明確となった。それらの課題に対する対策を以下に記載する。

(1) 試作したデータロガーの課題

1) 回収したデータロガーの中には、樹脂埋めの段階で気泡が入り漏水していた個体があった

2) 樹脂とアクリル製の樹脂の相性によりクラックが発生したデータロガーがあった

1)、2)の課題は筐体のハード的な問題であるので、気泡の混入防止のために真空引き及び、ケースを使用せずに型を起こして樹脂を固めて作成する方式をとることで、次のステップである量産品の試作時には課題が解決できる見通しである。



図 2-1-5 左:クラックが入った個体/右:気泡から漏水し電池から液漏れしている個体

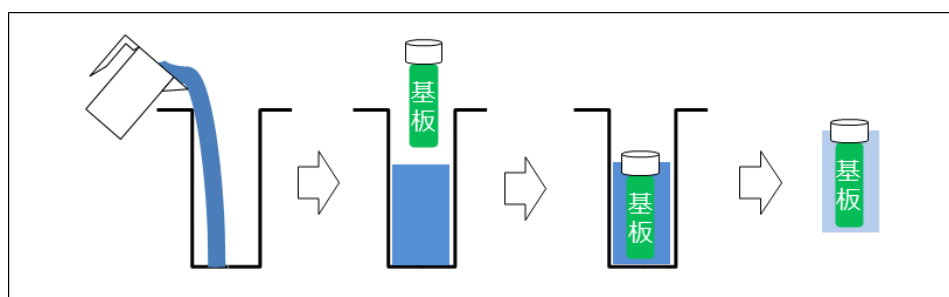


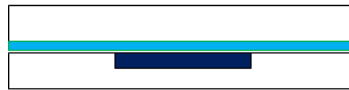
図 2-1-6 して樹脂をかためる方式イメージ

3) 取得した温度データの精度がユーザニーズを満たしていないという問題の発生
(温度センサの再選定が必要)

3)の課題は、今年度使用した温度測定方法においては、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の精度がユーザニーズとして必要な仕様であることが把握できた。この仕様に則して適切な温度 IC を選定しなおすことで問題解決が可能であり、既に新しい温度 IC の選定が終了している。

4) 今年度新たに選定したセラミック製の圧力センサを使用した場合、樹脂埋め方式を用いると正常に動作しないという問題の発生

4)の課題は、セラミック圧力センサの今年度使用した製品と昨年度使用した製品について内部構造を比較分析することにより原因を探究した。外見的には同様に見えていた両センサ製品であったが、X線を用いた調査の結果、両者の内部構造に下図のような大きな違いがあることが分かった。



- ①セラミック
- ②ひずみゲージ
- ③隙間
- ④セラミック



- ①セラミック
- ②ひずみゲージ

図 2-1-7 左:昨年度使用したセンサの構造/右:今年度使用したセンサの構造

今年度使用した圧力センサ製品において、センサ原理であるひずみゲージの直下に樹脂が接着してしまうことでひずみが小さくなってしまふことが判明した。これが正常に動作しなかった原因と考えられる。この圧力センサは部材単価としては 1/4 程度の価格であったために使用を決めたものだが、標準的使用法としては樹脂で埋めることは想定されていないため、スペックシートには上記の事実は記載されていなかった。

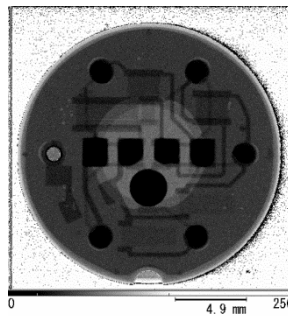


図 2-1-8 左:昨年度使用したセラミック圧力センサ外観/右:内部構造

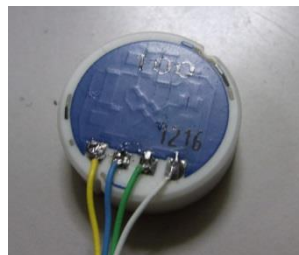


図 2-1-9 今年度使用したセラミック圧力センサ

上記の圧力センサの問題に関しては、次のステップである量産化サンプル試作時までには、実験で必要な深度（水圧）に耐えることのできる圧力センサを選択することで解決したいと考えている。

500m 以下の場合 → 初年度試作機で使用した安価な圧力センサ

500m 以上の場合 → 昨年度試作機で使用したセラミック製の高価な圧力センサ

バイオロギング研究において、データロガーを 1,000m といった深い領域を対象とすることは稀である。そのため、生産するすべてのデータロガーに上記の高価な圧力センサを一律に搭載するのではなく、それほどの深度を必要としない研究に対しては安価な圧力センサを搭載したデータロガーを提供していきたいと考えている。そのうえで、1,000m の領域を扱う研究に対しては、セラミック製の圧力センサを搭載したデータロガーを提供することで、多様な環境に対応できる BTO 型のデータロガー生産システムを目指している。

2-2 取得したデータの可視化ツールの開発

昨年度までに、データロガーから PC にデータを転送するミドルウェアの開発と、複数種類の物理データを 2D グラフ及び 3D グラフに描画する可視化ツールの開発を行った。

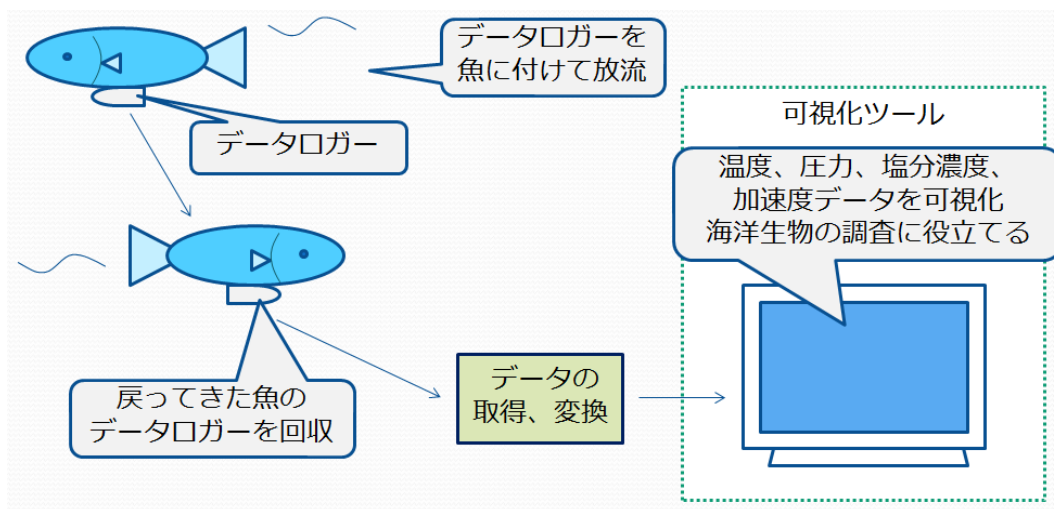


図 2-2-1 可視化ツールについて

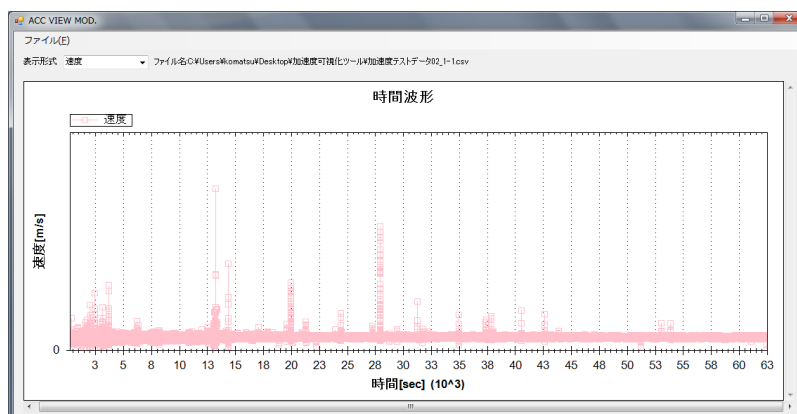
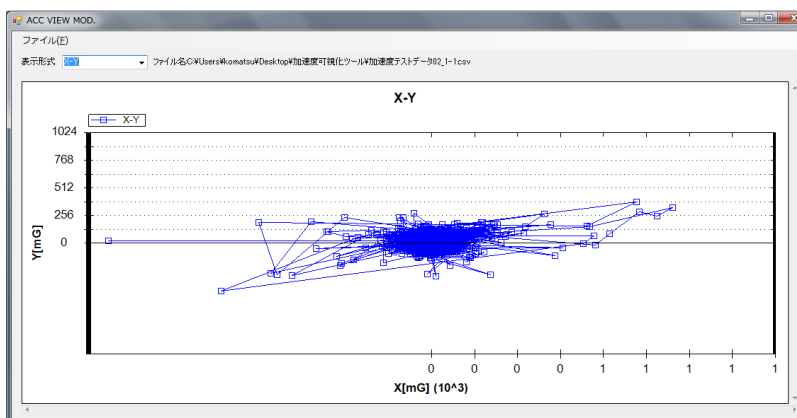
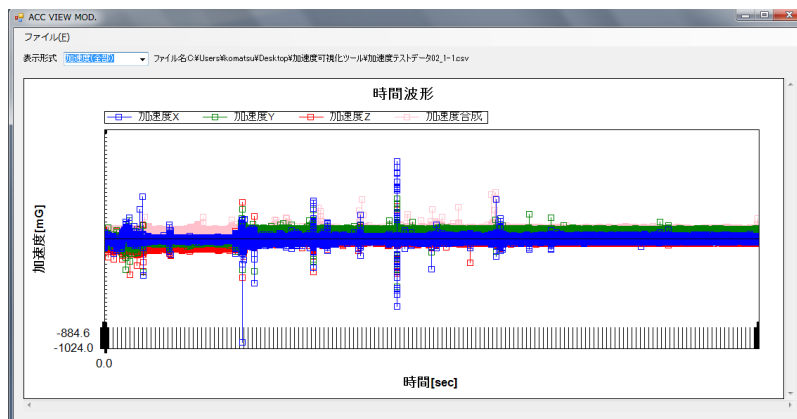
本年度は、可視化ツールについて、以下の 2-2-1~2-2-4 の改良及び追加機能の実装を行った。

2-2-1 グラフ表示部の改良

ユーザが利用しやすいように、以下のようにグラフ表示部を改良した。

- (1) 各データを任意の組み合わせで表示：表示形式を変更することで、1つの画面上でグラフの種類（加速度グラフ・速度グラフ・移動距離グラフなど）を切り替え

る機能を実装した。 加速度グラフにおいては、3 軸加速度の任意の軸の組合せて 2 次元グラフを表示する機能を実装した。



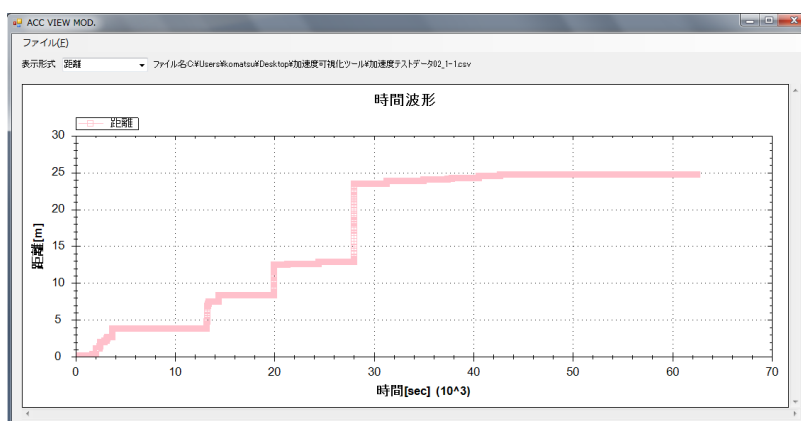


図 2-2-2 グラフ表示形式の変更。順に、加速度グラフ(時系列)、加速度グラフ(任意の 2 軸)、速度グラフ、移動距離グラフ

(2) 複数のグラフを並べて表示する機能を実装した。グラフを並べる方向 (縦横) は自由に選択できるようにした。

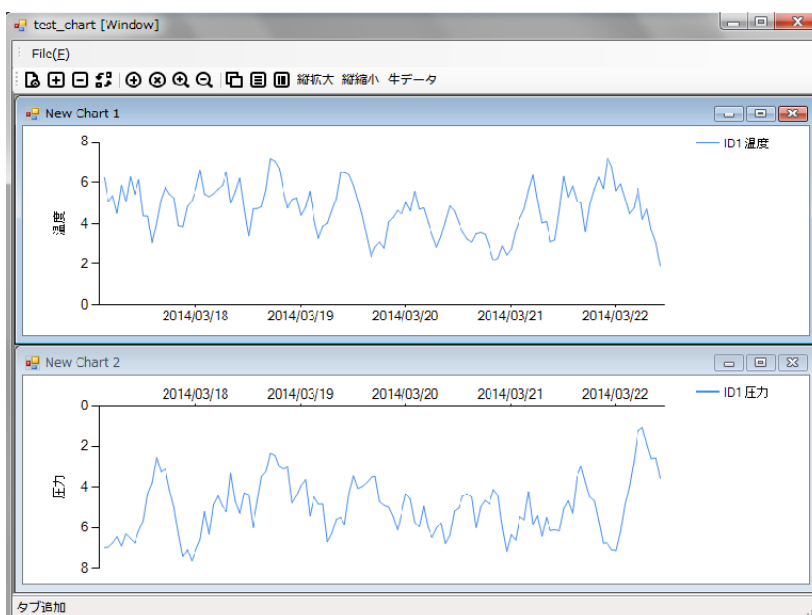


図 2-2-3 複数のグラフを並べて表示(横に並べた場合)

2-2-2 統計処理

取得したデータに以下のような統計処理を行う機能を実装した。

(1) 移動平均

ノイズ低減のためのデータクレンジングとして、移動平均を算出して表示する機能を実装した。

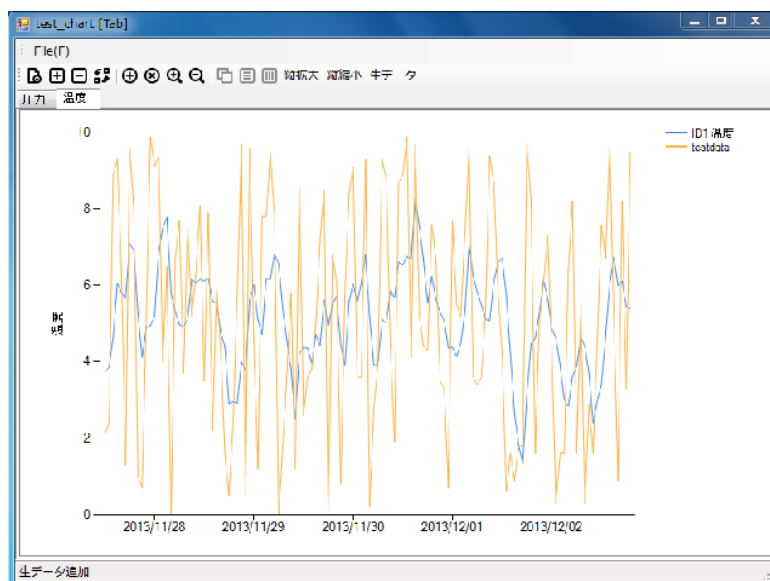


図 2-2-4 移動平均

(2) フーリエ変換

FFT（高速フーリエ変換）を行い、結果を表示する機能を実装した。

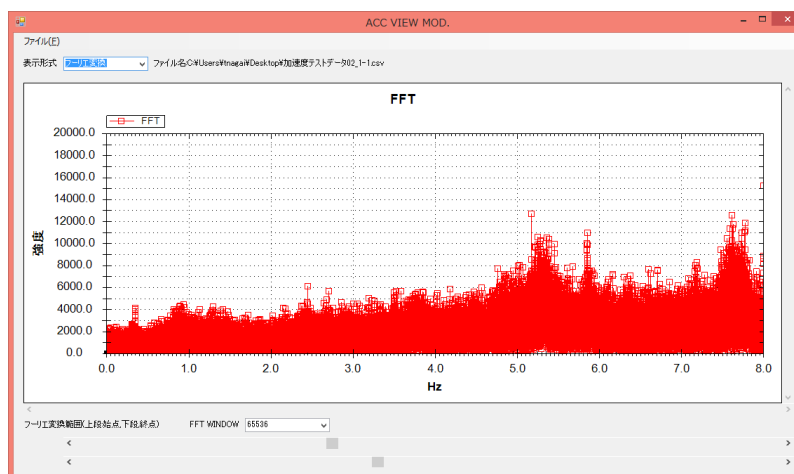


図 2-2-5 フーリエ変換

2-2-3 地図データと連携した移動軌跡表示機能の実装

データロガーを取り付けた生物個体の移動の軌跡を地図上に表示させる機能を実装した。加速度データから速度と移動距離を算出して、移動の軌跡を地図データ上に描画させるという手法を用いた。ただしこの手法には、加速度データだけではなく、データロガーを取り付けた個体の放流地点の位置データと放流時の個体の身体の向き（方角）のデータが必要となる。フィールドにおいて、放流時の個体の身体の向き（方角）のデータを記録することは、生物のグループによっては可能である。放流直前の個体に、自然状態ではぼ生じることのない姿勢（頭を真下にして吊り下げる）をとらせて、その時刻

をタイムマークとして記録し、その直後に、特定の方角（例えば北）に頭を向けた水平姿勢を取らせることで、個体の身体の向き（方角）のデータを記録することができる。魚類の多くの種では、自然状態で頭を真下に向けることはないので、頭を真下にして吊り下げた時刻をタイムマークとして記録するという方法は有効である。下図の移動軌跡の算出に用いたデータは仮想的なものである。

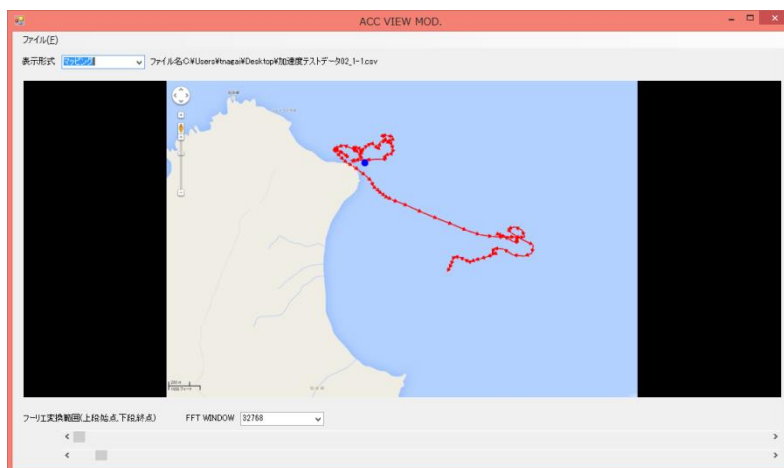


図 2-2-6 地図データ上の移動軌跡表示(仮想データに基づく)

2-2-4 個体 ID 別データ集計

複数のセンサのデータを、個体 ID 別に同時に可視化させる機能の実装を行った。

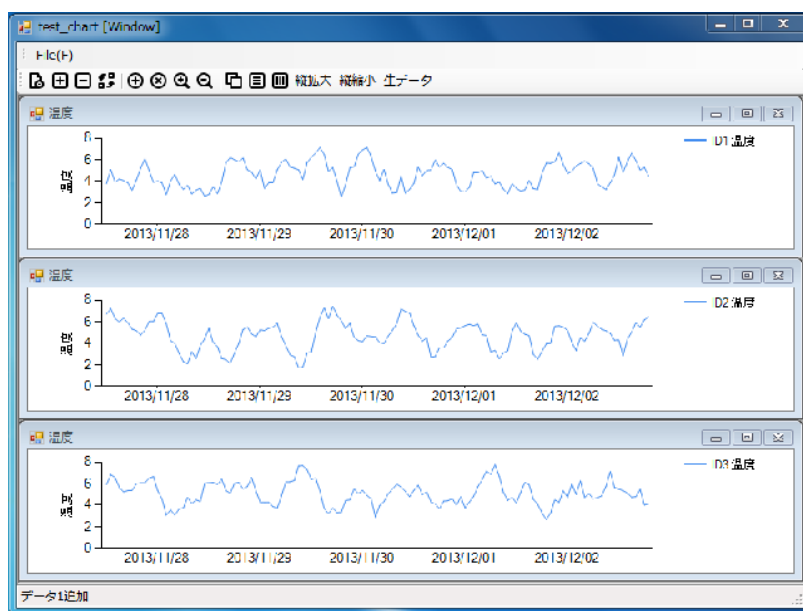


図 2-2-7 複数の個体 ID データの表示

2-3 データロガーに実装するアドホック通信の確立

昨年度は、水中での超音波通信の基礎実験を行った。それをもとに今年度は、大幅なステップアップにはなるが、目標設定を実際の魚類に装着した上で水中でのデータ同期検証とした。

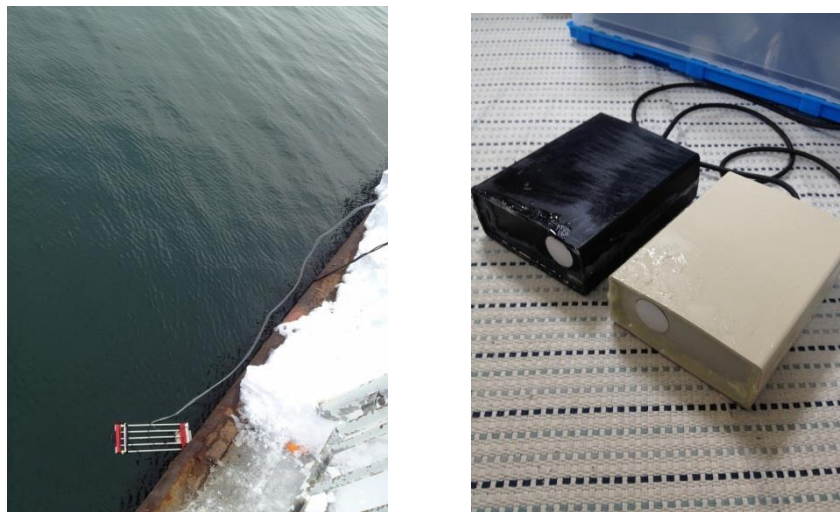


図 2-3-1 写真左:昨年度の試作機/写真右:昨年の検証風景

2-3-1 今年度の開発スケジュール

今年度は、超音波の通信に使用する部分では(有)フュージョンの技術供与を受け、超音波素子に関して実績があるものを採用することができた。セラミックを積層型にすることで非常に小型ながら通信に必要な出力を得られる仕様の素子となっている。通信部にはこの素子を用いて試作を行った。開発は下記の流れで行った。

- (1) 新規超音波素子に合わせた送信方式へのプログラム変更
- (2) 新規超音波素子に合わせた送信検証用基板試作
- (3) 新規超音波素子に合わせた受信方式へのプログラム変更
- (4) 新規超音波素子に合わせた受信検証用基板試作
- (5) 送受信を1台で行う検証用試作機向けのプログラム作成
- (6) 送受信を1台で行う検証用基板試作
- (7) 送受信動作検証による動作確認
- (8) 実フィールド検証用基板5式の試作
- (9) 検証用機材の動作確認
- (10) 2月末の高知県の大阪海遊館 海洋生物研究所以布利センターでの検証試験

2-3-2 27th 北海道技術・ビジネス交流会 ビジネス EXPO への出展

平成 25 年の 11 月に行われたビジネスエキスポでは 2-3-1 (4)の段階で試作中であった水中での超音波受信デモの展示を行った。



図 2-3-2 左:水中による受信デモ展示の様子/右:展示に使用した受信機能検証用試作機

展示した受信デモでは、温度データを超音波によって受信部に伝搬させ、PC に受信データを受けてリアルタイムで画面に出力をするまでを行った。送信/受信の目処を付けることができたため、本研究課題の最終課題であった実フィールドにおける超音波同期通信試験検証の計画を実行に移すための準備に入った。

2-3-3 検証試験

検証場所として、2 月に高知県にある大阪海遊館 海洋生物研究所 布利センターの水槽と魚類を借りて行うことを決定した。これは、共同研究機関の多大なる調整によって実現することができた。

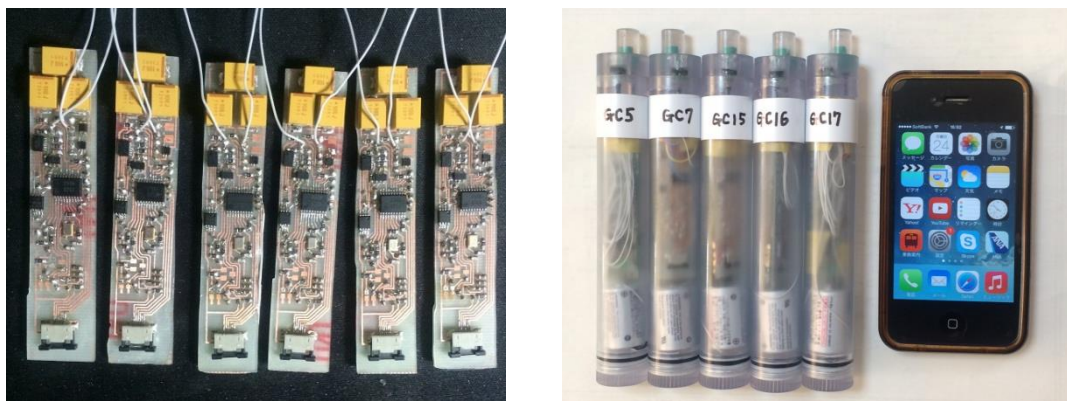
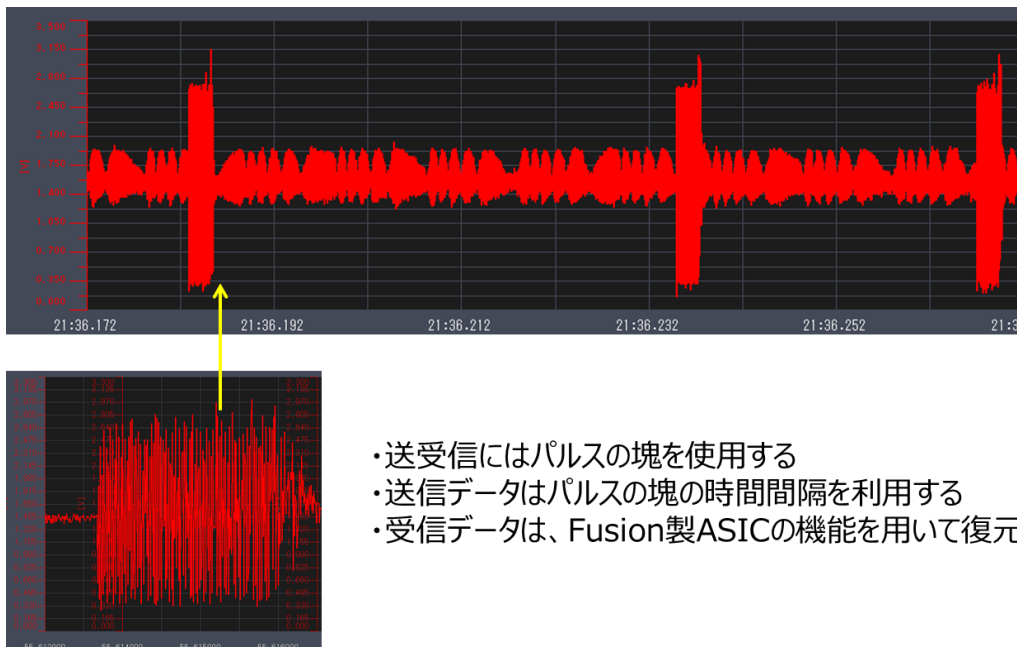


図 2-3-3 左:検証で使用した制御基板/右:検証で使用した検証用試作機

実際の検証においては、比較的魚体の大きいサメに取り付け超音波検証を行った。小型の水槽で通信に関する確認を行い、大型の水槽での検証試験を行うことができた。超

音波検証で実装した超音波通信の方式には、ある特定の識別子を与えたパルス群を個体識別 ID として使用し、そのパルス群の間隔に温度データ/圧力データを入れて送付を行った。



- ・送受信にはパルスの塊を使用する
- ・送信データはパルスの塊の時間間隔を利用する
- ・受信データは、Fusion製ASICの機能を用いて復元を行った

図 2-3-4 検証で行った通信方式

検証を終えて取得したデータを確認したところ、実際に他個体のデータを取得できていることが確認できた。魚類に取り付けられるサイズで超音波通信による送受信を行うことができたデータロガーは世界初である。実際に取得できたデータの一部を以下に記載する。

ID	CH	周波数	相関値	相関時間	相関時間差	経過時間
16	1	60	211	3056184356	45598	3:14:06
17	1	60	232	3647353348	44652	3:23:57
17	1	60	217	3722694874	44652	3:25:13
17	1	60	248	3726114104	44660	3:25:16
17	1	60	266	3746668458	44632	3:25:36
17	1	60	239	3780896976	44640	3:26:11
17	1	60	276	3784331645	44663	3:26:14
17	1	60	278	3787751634	44638	3:26:18
17	1	60	292	3791172576	44642	3:26:21
17	1	60	315	3794608107	44650	3:26:24
17	1	60	238	3798026424	44690	3:26:28
17	1	60	260	3804880498	44652	3:26:35
17	1	60	260	3811718019	44658	3:26:42
17	1	60	229	3818572477	44630	3:26:48
17	1	60	295	3821989344	44638	3:26:52
17	1	60	230	3828822397	44648	3:26:59
17	1	60	232	3842535085	44656	3:27:12
17	1	60	250	3845955270	44662	3:27:16
17	1	60	206	3863070350	44660	3:27:33
17	1	60	282	3893851585	43714	3:28:04
17	1	60	283	3893896245	44660	3:28:04

Offset (h)	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
0000C210	1C	01	C0	00	AC	16	8C	EB	14	12	55	39	FF	FF	FF	FF
0000C220	0C	02	70	00	AC	6C	A6	AC	14	12	55	39	18	02	00	FF
0000C230	0C	02	5C	00	AC	6E	37	58	14	12	55	39	18	02	00	FF
0000C240	0C	02	62	00	AC	6F	94	54	14	12	55	39	18	02	00	FF
0000C250	0C	01	92	00	AC	70	1A	E4	14	12	55	39	18	02	00	FF
0000C260	0C	02	56	00	AC	D4	E1	5C	14	12	55	43	18	02	00	FF
0000C270	0C	02	58	00	AC	D6	72	1C	14	12	55	43	18	02	00	FF
0000C280	0C	02	68	00	AC	D7	CF	04	14	12	55	43	18	02	00	FF
0000C290	1C	01	9A	00	AC	EB	E7	14	12	55	46	FF	FF	FF	FF	FF
0000C2A0	0C	02	86	00	AD	3D	0C	70	14	12	55	46	18	02	00	FF
0000C2B0	0C	02	7E	00	AD	3E	9D	1C	14	12	55	46	18	02	00	FF
0000C2C0	0C	02	56	00	AD	3F	FA	18	14	12	55	46	18	02	00	FF
0000C2D0	1C	01	98	00	AD	55	82	33	14	12	55	49	FF	FF	FF	FF
0000C2E0	0C	02	64	00	AD	A5	3F	64	14	12	55	49	18	02	00	FF
0000C2F0	0C	02	66	00	AD	A6	D0	10	14	12	55	49	18	02	00	FF
0000C300	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0000C310	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
0000C320	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

図 2-3-5 左:SD カードに書き込まれたデータ/右:PC 用に変換したデータ

回収した個体に記録されていた SD カードの中身を解析しコンバートした結果、大型水槽に投入した 4 個体において自分自身のデータを含めて 4 個体分のデータを確認することができた。

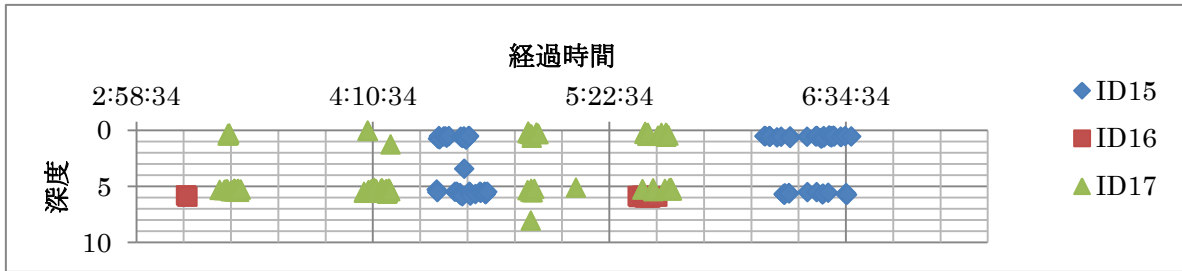
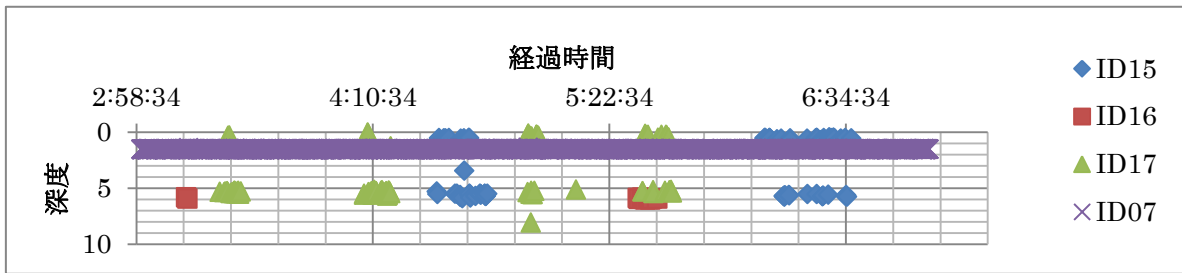


図 2-3-6 取得できた圧力データ

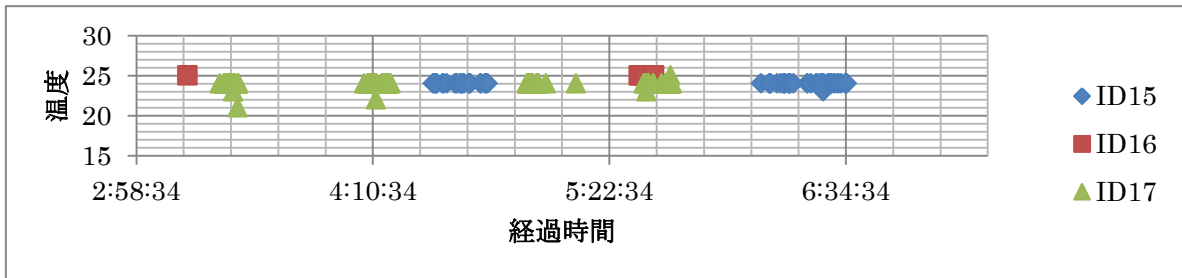
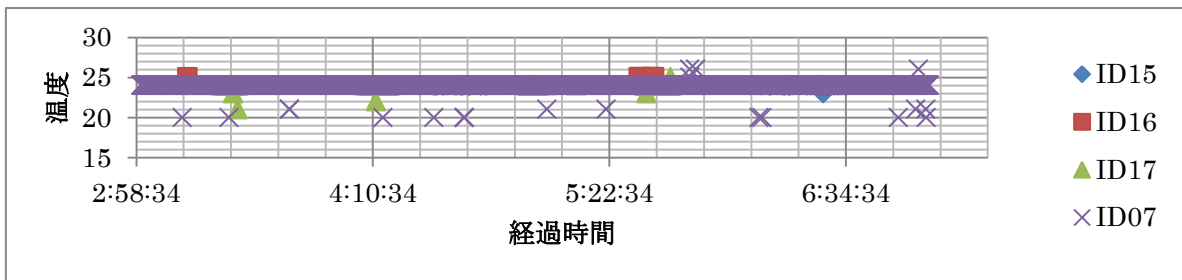


図 2-3-7 取得できた温度データ

取得したデータの中には、送信していたデータと受信していたデータがずれていたケースも存在するが、その他に関してはセンサのデータと同一のデータとなっていたことが分かった。圧力データ/温度データのグラフでは下段は自分自身のデータを除いてある。今回使用した大型水槽は 30m×19m×5m (深さ) のものであり、通信に成功した際には連続して通信ができていく様子がグラフから見て取れる。個体間の距離だけが通信成功の環境であると断ずることはできないが、個体同士の距離関係が大型水槽で可変している中で通信に成功している環境にいる場合と通信できない環境にない場合となっていると考えられる。

実際に取得したデータから、ノイズ成分と思われる部分の除去や大幅な外れ値に関しては除去している。実験環境にあわせてノイズ成分を除去するパラメータを設定することで、より一層の有意義なデータを記録することが可能になる。

本研究での試作機の段階である程度の評価を受けることができ、本年度中に外部の研究者に使用を希望されるに至った。次年度には10個以上の販売が確定している。本事業終了後にすぐに製品化の実現が確定している。本課題に関してはまだまだ研究開発する余地が大きい発展的なテーマであり、今後もユーザである研究者の方々との情報共有を繰り返し行いながら海外の研究者への販売ができる水準を目指していきたいと考えている。

2-4 フィールド検証

フィールド検証における目標は、2-1~3の開発を基に作成したデータロガーが、実際の使用環境である海中や人工的に再現された海中環境でも正常に動作することを確認することである。

本年度の検証は、2-4-1：耐圧検証、2-4-2：シロザケ検証及び2-4-3：同期機能検証について、データロガーの試作機の完成に応じて流動的に実施した。

2-4-1 耐圧検証

(1) 目的：本事業ロガーの耐圧性検証

平成24年度において、本事業ロガー(セラミック・砲弾型)は深度500m相当の耐圧性を持つことが示された。本事業においては、漸深層域(1,000m)で動作するロガーの開発を1つの目的と定めているため、平成25年度は知床半島沿岸域において1,000mの耐圧検証を行う

(2) 課題

1) データロガー筐体の耐圧性検証

9月から10月にかけて、知床半島沿岸域において深度1,000mでの耐圧検証を2~3回行う。また、5月から6月にかけて、北海道噴火湾内において、2回の予備検証を行う。この予備検証では深度100m程度までの検証を行い、本試験である知床半島沿岸域での検証に向けた検証を行う。検証後に浸水の有無を確認し、1,000mの耐圧性があるか否かを検討する(データ解析)。

2) 実施日等の予定

本項は主にサブテーマ1)と連動しており、その開発及び試作に応じて、検証を行っていく予定である。現在までに確定している検証として、予備実験である噴火湾での1回目の検証が5月、2回目の検証を6月から7月に行う。また、本試験である知床半島沿岸域での検証は9月末と10月中旬を予定している。

(3) 噴火湾での予備実験（5—7月）

データロガー開発の遅れから、本事業で開発中のデータロガーの耐圧検証の予備実験は行えなかった（耐圧検証 課題 2）に対応。

(4) 知床半島沿岸域における深度 1,000m の耐圧検証（9—10月）

平成 25 年 9 月 18 日から 19 日にかけて、開発中のデータロガーの耐圧検証を行った。耐圧検証は、根室港から北海道大学練習船うしお丸に乗船、水深が 1,000m 以上ある場所（知床半島 羅臼沖）まで移動した後、CTD(海洋観測機器)に 5 個の DT ロガーを装着（図 2-4-1）、深度約 1,000m(実深度 980m)まで沈降させた。次に、引き上げ後にロガーの外表面及びロガーの動作終了が可能か否かを検証した。



図 2-4-1 CTDに固定されたデータロガー（左：CTDに固定されたデータロガー、右：CTDと5個のデータロガー）

引き上げられたデータロガー5個全てに大きな破損や浸水は認められず、ロガーの動作終了作業とデータ吸い出し作業が可能であった。このことから、本事業で開発したデータロガーは、深度 1,000m においても正常に動作したと考えられる（2-4-1：耐圧検証 課題 1）に対応）。また、一度目の耐圧検証において、1,000m の耐圧性を持つことが示されたため、予定していた二回目以降の検証は行わなかった（耐圧検証 課題 1）に対応）。

2-4-2 シロザケ検証

(1) 目的：知床半島沿岸における、シロザケを用いた本事業ロガーの総合的検証

平成 25 年度は、エンドユーザの使用環境と同等の状況において本事業ロガーを検証するため、本事業ロガーを秋期(8 月末から 10 月末)に知床半島沿岸に来遊するシロザケに装着・放流・回収を試み、他社製品との比較を行う。

(2) 課題

1) シロザケ検証

シロザケを用いたフィールド検証は平成 24 年度においても行われたが、平成 25 年度はロガー筐体及びセンサの検証だけでなく、平成 24 年度には検証できなかったソフトウェア関連、①検証場所(現地)におけるロガー動作設定ソフトの検証、②ロガー回

収後のデータ吸い出しとデータの可視化、の検証を含めることで、本事業ロガーの総合的な検証を行う。また、これらの検証から得られたデータを、他社製品のデータロガーのデータと比較することで、本事業ロガーから得られたデータの妥当性の検証を行う。既製品との比較（データ解析）については、両ロガーから得られたデータに有意差検定を行う。検定においては有意差水準 5%以内の結果が得られた場合、既製品と同等の実用性があると判断する。

2) 検証するデータロガーの内容


検証するロガーの内容として、水深・水温センサを搭載したモデル(計 20 個)と加速度センサを搭載したモデル(計 10 個)を想定している。シロザケ検証は 4 回程度行う予定である。

3) 実施日等の予定

本項はサブテーマ 1)及び 2)と連動しており、その開発及び試作に応じて、検証を行っていく予定である。現在までに確定している検証として、網走沖及び知床半島沿岸において 9 月に検証を行う。これらの検証のため、漁業者や研究組織へのシロザケ再回収や調査船の余席乗船の協力打診、及びスケジュール調整のため、5 月から 6 月にかけて、知床半島一帯に赴く予定である。

(3) シロザケを用いた本事業ロガーのフィールド検証

本検証項目では、知床半島沿岸においてシロザケに開発中のロガーを装着・放流し、後に再回収というプロセスを経てフィールド検証を行った。このフィールド検証の中で、ロガーを装着したシロザケの再回収の際には、知床半島沿岸域に設置されている漁業用定置網を利用した。このため、定置網の所有者やその漁業者達に協力をあおぐ必要があった。そこで 9 月のシロザケ-フィールド検証に向けた協力打診のため、7 月上旬に知床半島を中心とした北海道東部一帯の漁業関係者を訪問し、ロガー回収の協力の快諾を得た（シロザケ検証 課題 3）に対応）。

フィールド検証では、以下のようにシロザケにデータロガーを装着した（ 図 2-4-2）。

(a) ロガー装着可能な部位(薄い灰色)とロガー装着時に魚体に負担をかけない部位(濃い灰色)

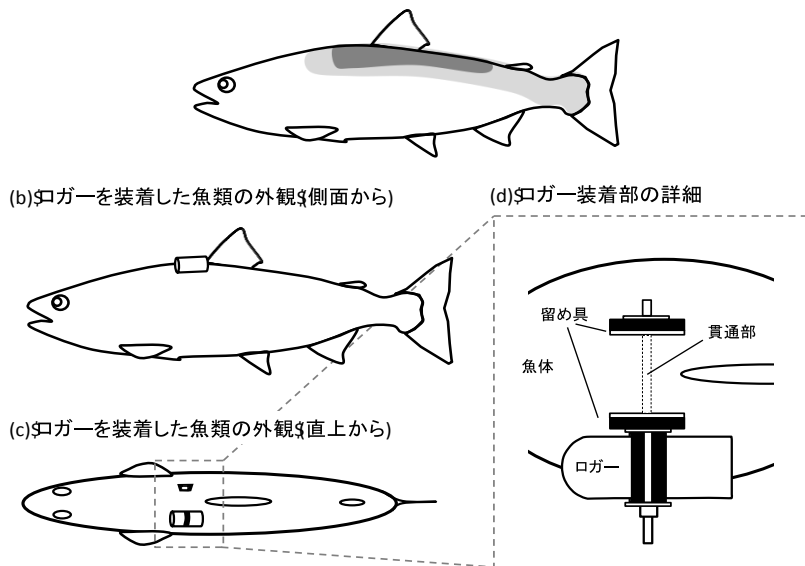


図 2-4-2 データロガーの装着方法の概要

データロガーは、シロザケの遊泳の負担になりにくい背鰭基上部 (a) に金属パイプで固定穴を開けた後に結束帯を通すことで固定した。

9月のフィールド検証では、検証の全期間を通して、24個(内、深度・水温ロガーが20個、3軸加速度・深度・水温ロガーが4個)のロガーをシロザケに装着・放流した(シロザケ検証 課題2)に対応)。なお、耐圧検証には別途5個のデータロガーを用いたため、今年度の知床半島沿岸域で行った検証では、合計29個のデータロガーを用いた。

1) 深度・水温ロガーの検証

検証は、網走沖(9月2日)、ウトロ沿岸(9月6日及び9月18日)、標津沿岸(9月24日)及びウトロ沿岸(10月3日)において計5回行った(シロザケ検証 課題2)に対応)。

検証の流れとして、定置網により採捕・釣獲されたシロザケを、船上で麻酔にかけ、図 2-4-2 の方法にしたがってデータロガーを装着した(図 2-4-3)。装着後、漁業者の定置網でのロガー回収連絡を待ち、回収され次第受け取りに向かった。ロガーの深度・水温の測定間隔は1分に1度とした。



図 2-4-3 ウトロ沿岸海域を例としたシロザケ検証の様子(左上:ロガー装着準備中、右上:定置網からのシロザケ引き上げの様子、左下ロガー装着中、右下:ロガーを装着したシロザケ)

9月2日から10月8日までのフィールド検証中、10個の深度・水温ロガーが回収された(回収率50%)。放流から回収までの期間は平均3日(1~10日間)であった。なお本検証では、開発中のデータロガーの検証のために、同等の機能を有する既存の深度・水温ロガー(Lat 1400, Lotek Inc.)を合わせて使用した(環境測定の間隔は1分)。

9月7日から9月17日までに、網走漁協を中心として、データロガーが計3個回収された。

回収されたデータロガーの全てに対して、簡単な浸水の有無や記録終了の確認を行った。回収された3個のロガーは、いずれもロガー後部の圧力センサ側の溝からの浸水が認められた(図2-4-4左)。



図 2-4-4 左:浸水した深度・水温ロガー

手前の圧力センサ側の溝が茶色く変色しているのが見える。浸水した海水により、内部の基盤が腐蝕し、錆が吹き出てきている。右：浸水対策を施したロガー。写真の手前、ロガーの圧力センサの溝が乳白色の硬化性エキシポ樹脂で埋まっているのが見える。

この浸水は、試作機の樹脂包埋の段階において基盤内に気泡が混入し、圧力センサ側に泡が蓄積し、該当部分の樹脂包埋が不完全なものになったためと考えられた。この応急処置として、以後に使用した全てのロガーに対して、検証場所現地で圧力センサ側の溝に硬化性エキシポ樹脂を注入し、浸水を防ぐように試みた(図 2-4-4 右)。

回収されたデータロガーは(有)グーテックに送付し、ロガー内に記録されたデータの吸い出しを行い、得られたデータと既存の深度・水温ロガー(Lat1400)のデータ比較を行った。その結果、既存品と比較したとき、開発中のデータロガーは、その全てで深度が 0m (動作不良) となり、水温は約 10℃ (7-13℃) の誤差が認められた。

この原因として、使用した温度センサが環境測定用のセンサでなかったこと、圧力センサが樹脂加工に非対応であり、海水中での圧力を検出できない状態であったことが考えられた。このため、既存品とのデータ比較に耐えうるデータを得ることができず、既存品との統計学的比較は行えなかった(シロザケ検証 課題 1)に対応)。

2) 3軸加速度・深度・水温ロガーの検証

深度・水温ロガーの検証と同様に、3軸加速度・深度・水温ロガー(以下、3GDT ロガー)の検証を行った。加速度ロガーは、生物の重力・運動由来の加速度を記録し、装着生物の立体的な動きを再現するために用いられる。生物の行動を加速度として捉えるためロガーの固定は、深度・水温ロガー以上に強固にする必要がある。例えば、ロガーの固定が不十分な場合は、「ロガーがぶらぶらと揺れた」ときの加速度が記録されてしまうため、生物の運動由来の加速度を解析するにあたり大きな障害となる。このため、深度・水温ロガーの場合はシロザケの背鰭基上部に一つの穴を空けるところを、二つの穴を空けることで、シロザケと加速度ロガー間を強固に固定した(図 2-4-5 左下の写真)。なお、シロザケに装着した際の 3 軸の加速度の値は、X 加速度が 0G、Y 加速度 1G、Z 加速度は 0G となる。測定間隔は 0.0625 秒 (16Hz) とした。



図 2-4-5 9月18日のシロザケ検証の様子(左上:検証に用いた船、左下:ロガー装着のためにシロザケ背鰭基上部に2点の穴を開ける様子、右上:加速度ロガーを装着したシロザケ、右下:後の加速度ロガーのデータ確認のために必要なタイムマーク中の様子)

回収された3個の3GDTロガーの内、データが取得されたのは2個であり、内1個はデータ記録が途中で中断された状態であった。

正常にデータが取得された1個の3GDTロガーからは、シロザケの放流から回収に至るまでの3日間分の3軸加速度データが取得された。なお、深度と水温は、深度・水温ロガー検証と同様にセンサ不良で検証できなかった。

データロガーを装着したシロザケが放流から回収に至るまでに、大まかに3つのイベント(1.放流直前のタイムマーク(図 2-4-5 右下)、2.放流後の海中での遊泳、3.海中での鉛直移動)を経験すると考えられる。3軸加速度値の検証では、これら3つのイベントを加速度値から捉えることができるか否かを評価した。なお本検証では、3軸全ての加速度を静的加速度(重力1G)で正規化した値を使用した。

①タイムマーク(時間標識)中の3軸加速度

加速度ロガーを用いた研究では、いつから加速度記録を開始したのかを加速度データに記録するため、魚類が経験しないと考えられる姿勢を経験させた後(図 2-4-6 a)

に供試魚の放流を行う。このように、加速度に記録された目印を「タイムマーク」という。このタイムマーク時の加速度は、理論的にはシロザケの動きが含まれないため、重力のみの加速度（変化があれば 1G 分のみの変化）が記録される。このため、タイムマーク中は X 加速度が 0G（変化なし）、Y 加速度が 1G から 0G へ、Z 加速度は 0G から 1G が記録される（図 2-4-6 b）。

フィールド検証により得られた加速度データから、タイムマーク中は X 加速度が約 0G（変化なし）、Y 加速度が約 1G から約 0G へ、Z 加速度は約 0G から約 1G への変化が記録されていた（図 2-4-6 c）。理論値と異なり、タイムマーク中は僅かなぶれが生じるためにサケに装着した加速度ロガーのデータは理論値と完全に等しい値にはならないが、ほぼ等しい値が得られた。このことから、本事業で開発した 3 軸加速度ロガーは、タイムマーク時の加速度を捉えていたと考えられた。

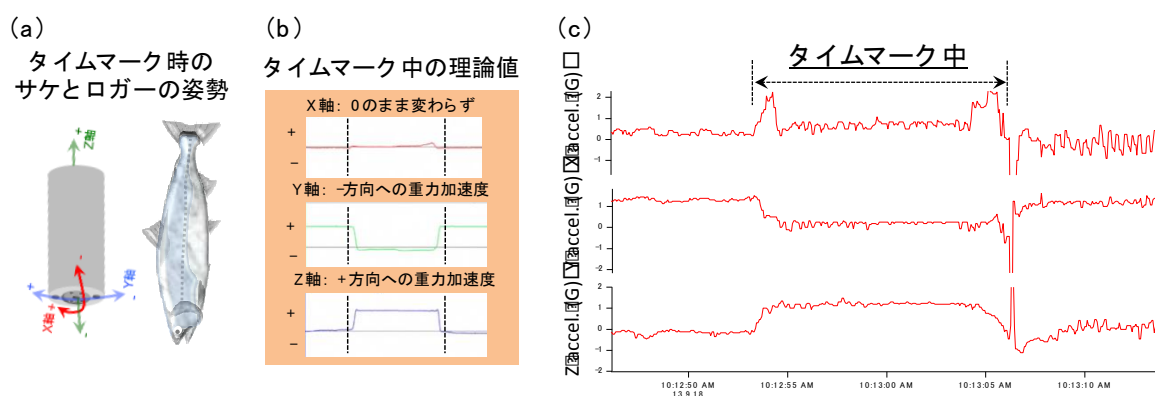


図 2-4-6 タイムマーク(時間標識)中の 3 軸加速度。(a)タイムマーク中のシロザケとロガーの姿勢、(b)タイムマーク中に記録されるであろう 3 軸加速度の理論値、(c)本検証で得られた 3 軸加速度

②シロザケの遊泳行動中の 3 軸加速度

多くの魚類は、遊泳を行うにあたって尾鰭の運動によって主たる推進力を得る。シロザケにおいても尾鰭運動によって遊泳が行われる（図 2-4-7 a）。このため、X 加速度は 0G を中心として±方向への運動加速度が、Y 加速度が約 1G（変化なし）、Z 加速度は約 0G（変化なし）が記録されることが考えられる（図 2-4-7 b）。

フィールド検証により得られた加速度データから、遊泳行動時は、X 加速度が約 0G を中心として±方向への運動加速度が、Y 加速度が約 1G（変化なし）、Z 加速度は約 0G（変化なし）が記録されており（図 2-4-7 c）、その値はほぼ理論値と同じだった。また、シロザケの尾鰭運動の振幅は、既往の知見(Tanaka et al. 2001)では 0.5 秒周期 (2Hz) であることが知られている。本検証から得られた X 加速度の振動周期を調べるために連続ウェーブレット変換により波形の周期性を定量化したところ、その振動周期は 0.35 - 0.5 秒周期 (2-2.85Hz) であることが示された。このことから、本事業で開発し

た 3 軸加速度ロガーは、シロザケの遊泳行動時の加速度を捉えていたと考えられた。

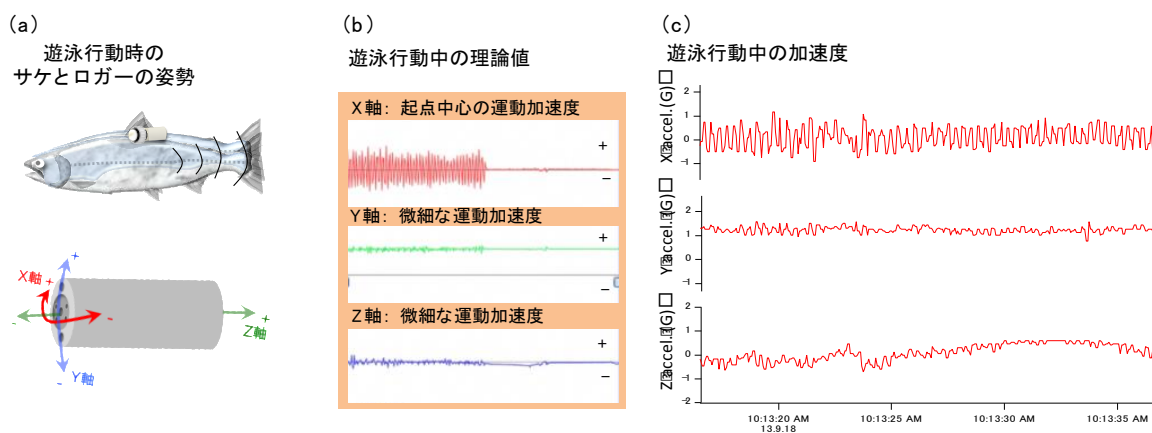


図 2-4-7 ロザケの遊泳行動時の 3 軸加速度。(a)遊泳行動時のシロザケとロガーの姿勢、(b)遊泳行動時に記録されるであろう 3 軸加速度の理論値、(c)本検証で得られた 3 軸加速度

③シロザケの鉛直行動中の 3 軸加速度

索餌回遊から日本沿岸に回帰したシロザケは、母川の臭いを嗅ぐために表層付近を遊泳しつつも、表層の高水温帯を避けて底層の冷水帯へ移動することが知られている。この表層と底層への鉛直的な移動行動を定量化した Tanaka et al. (2001)では、この鉛直移動を行う際のシロザケの体軸角度は 40°程度であることが示されている。

本検証によって得られた加速度データには、上記の鉛直移動と思われる加速度データが含まれていた。本項では、開発中の加速度ロガーがシロザケの鉛直移動を捉えられたかを検証した。まず、シロザケが体軸角度を 40°傾けたとき (図 2-4-8 a)、X 加速度が約 0G (変化なし)、Y 加速度が約-0.3G 分の変化、Z 加速度は約 0.8G が記録されると考えられる(図 2-4-7 b)。

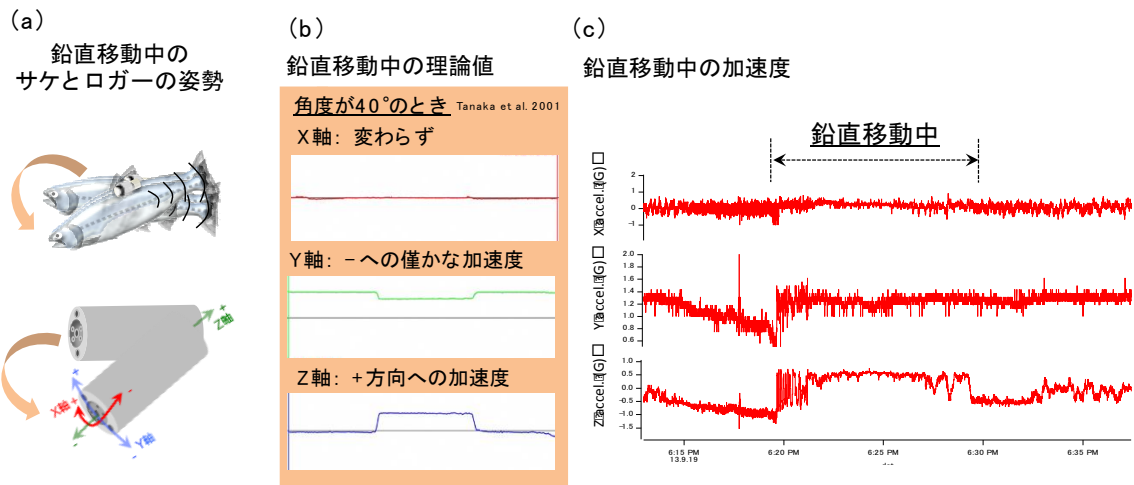


図 2-4-8 シロザケの鉛直行動時の 3 軸加速度。(a) 鉛直行動時のシロザケとロガーの姿勢、(b) 鉛直行動時に記録されるであろう 3 軸加速度の理論値、(c) 本検証で得られた 3 軸加速度

フィールド検証により得られた加速度データから、遊泳行動時は、X 加速度が約 0G、Y 加速度が約 1.2G から約 0.6G まで下がった後に約 1.2G に変化し、Z 加速度は約-0.5G から 0.5G への変化が記録されていた(図 2-4-8 c)。この値は、X は極めて理論通りの値が得られ、Z 加速度においても理論値に近い値が得られた。一方、Y 加速度では、予想したよりも一方向への加速度が得られなかった。この原因として、①センサの不調と②シロザケの鉛直移動行動が予想していたものとは異なる、ことが考えられる。しかしながら、本事業で開発した加速度ロガーの加速度データより、シロザケの経験したタイムマークや遊泳行動を再現することができたため、①センサの不調が起こったとは考えにくい。このため、当初考えていた②シロザケの鉛直移動行動が予想していたものとは異なると考えられた。

本事業で開発していた加速度ロガーには、深度・水温センサが搭載されていたが、両センサの不良により、データを取得することができなかった。今度、本項目のシロザケの鉛直移動と思われる加速度データについては、同時に深度データを記録することで、その行動の実態を捉えることが可能となると考えられる。

(4) 本事業ロガーの総合的な検証(シロザケ検証 課題1)に対応)

平成 25 年度はロガー筐体及びセンサの検証だけでなく、平成 24 年度には検証できなかったソフトウェア関連、①検証場所(現地)におけるロガー動作設定ソフトの検証、②ロガー回収後のデータ吸い出しとデータの可視化の検証を含める予定であった。しかし、上記 1 のロガー動作設定ソフト及びデータの可視化ソフトの開発の遅れから、総合的な検証は行えなかった。

2-4-3 同期機能検証

(1) 目的：データ同期機能を搭載したロガーの魚類への装着と検証

平成 25 年度末において完成が予定されているデータ同期機能を検証するにあたり、室内大規模水槽内においてサメやエイなどの大型魚類を用いた検証を行う。これは、データ同期通信を搭載した試作機が平成 25 年度の冬期に完成予定であるが、この時期に比較的大型かつ回収率の高い生物を野外において確保することが困難であるためである。

(2) 課題

1) データ同期機能の検証

ロガー装着対象種として、国内の水族館等に飼育されている大型の硬骨魚類またはサメ等を想定している。また、室内水槽で超音波同期通信を行うにあたり、超音波の反響が予想される。このため、超音波が反響しにくいとされるコンクリート壁などの水槽を用いること等を前提として踏まえた上で、外部評価委員の方々の意見をあおぎつつ実験計画を構築していく。このように実験環境を吟味するにあたって、平成 25 年夏期に国内の水族館等の実験予定地へ下見に行く予定である。同期通信の成功の是非については、複数ロガー間において一定数の水温データの同期が完了した場合に、成功と判断する（データ解析）。

2) 実施日等の予定

本項はサブテーマ 3)と連動しており、その開発及び試作に応じて、検証を行っていく予定である。実験環境の下見として、7月から8月に国内の水族館等の実験予定地へ、データ同期機能を搭載したロガーの検証は平成 26 年 2 月に行う予定である。

(3) 平成 25 年夏期に国内の水族館等の実験予定地へ下見

平成 25 年 7 月 15 日から 25 日にかけて、データ同期機能を搭載したロガー（以下、超音波同期通信デバイス）の検証候補地である大阪海遊館以布利センター（高知県土佐清水市）を訪問・協力の打診を行い、快諾を得た（同期機能検証 課題 1）及び 2)に対応）。

(4) データ同期機能の検証

平成 26 年 2 月下旬に超音波同期通信デバイスが 4 機試作された。これら試作機を用いて、2 月 24 日から 3 月 2 日にかけて、大阪海遊館以布利センターの水槽設備を利用したデータ同期機能の検証を行った（同期機能検証 課題 1）及び 2)に対応）。

検証開始前の具体的な準備として、以布利センター内で飼育されているサメの一種であるエイラブカを用いた。このサメは成長した個体で全長約 1m ほどの大きさがあり、直径 22mm、長さ 160mm と比較的大型となる超音波同期通信デバイスの装着に十分に耐えうる大きさの魚類である。

本検証では、下記 2 種類の検証を行い、データ同期機能を検証した。

1) 常時データを同期し続ける状況の検証

2つのデバイス間で、常にデータを同期し続ける状況での検証を行うため、比較的小型の水槽内で、デバイスを装着した供試魚 4 個体を用いた同期通信実験を行った。検証は 2 月 27 日に行った。検証には、直径 3m 程度の円形水槽(水量：5t)を用い、供試魚はエイラブカ 4 個体を使用した。

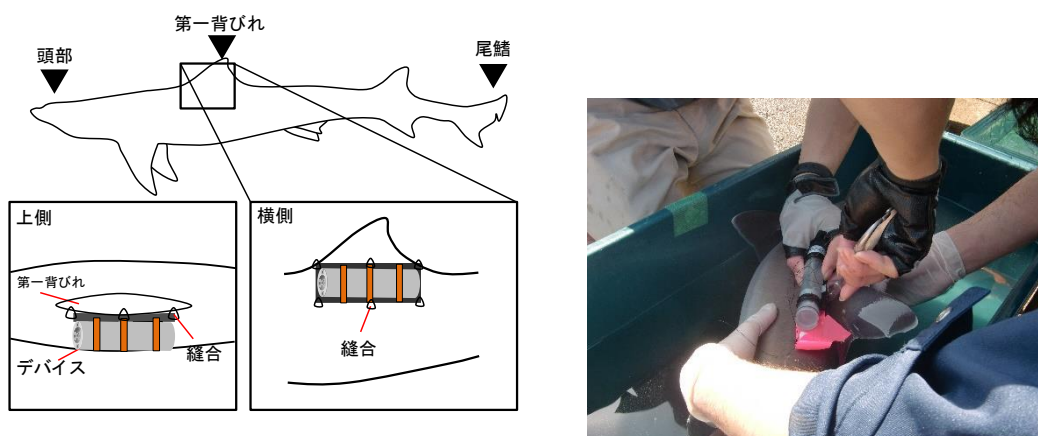


図 2-4-9 デバイスの固定位置(左)と、装着の様子(右)

デバイスは、エイラブカの第一背鰭基上部に 6 点の縫合によって固定した(図 2-4-9)。デバイスは、あらかじめゴム素材の台座と連結しておき、そのゴム土台とエイラブカの外皮を外科用縫合針(ナイロン糸を予定)により縫合した。また、縫合前に、土台とエイラブカ外皮の間に摩擦の少ない材質(ビニールを予定)を挟むことで、エイラブカ外皮への擦り傷などの損傷を防ぐことを試みた。加えて、縫合の前にジフェノキシエタノールを用いて両供試魚に麻酔を施し、デバイス装着の際のハンドリングの影響を最小限に抑えた。

デバイスを装着した後、円形水槽内に 4 個体のエイラブカを放流し(図 2-4-10)、個体はデバイスの記録確認用に回収した。残りの 2 個体は 24 時間後に回収した。最初に回収されたデバイス 2 台には、他デバイスの水温データが記録されており、超音波同期通信の実用性が証明された。結果の詳細は、サブテーマ 3) に譲ることとしたい。

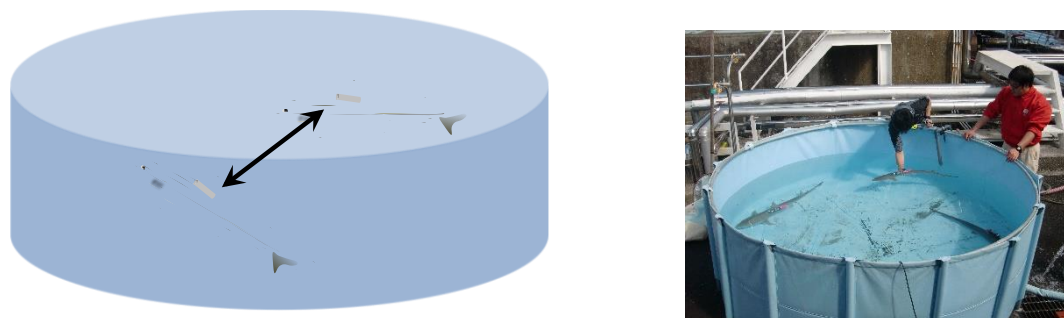


図 2-4-10 常に受信し続ける状態での検証の概要(左)と、実際の検証の様子(右)

次に、検証開始から 24 時間後に、残った 2 個体からデバイスを回収した。こちらも、先に回収した 2 つのデバイスと同様、他のデバイスのデータを保持していたため、音波同期通信デバイスの開発は成功したと考えられる。しかしながら、常に他のデバイスのデータを受信し続ける状態でありながら、同期されやすいデバイスとされにくいデバイスが認められた。

2) とくどきデータを同期し続ける状況の検証

2 つのデバイス間で、時々データを同期する状況での検証を行うため、比較的大型の水槽内で、デバイスを装着した供試魚 4 個体を用いた同期通信実験を行った(図 2-4-11)。検証は 2 月 28 日の午前中より開始した。検証場所として大阪海遊館 以布利センター第二水槽を用い、供試魚はエイラクブカ 4 個体を用いた。

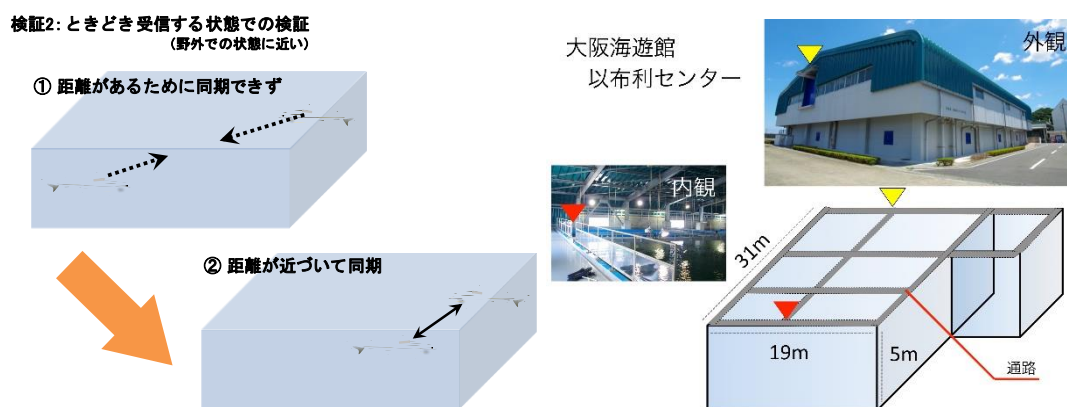


図 2-4-11 検証② とくどきデータを同期し続ける状況(右)と検証場所(左)

デバイスの装着は、1)の検証実験と同じ手順で行った。デバイスの装着後、エイラクブカ 4 個体を第 2 水槽内に放流し(図 2-4-12)、24 時間後に検証を終了した。

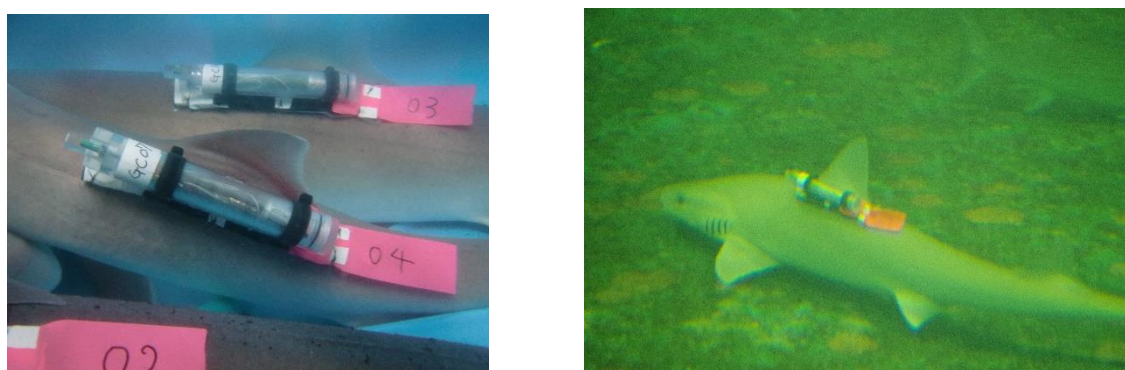


図 2-4-12 装着されたデバイス(左)と、第二水槽で泳ぐエイラクブカ(右)

この 2)の検証では、複数のデバイス間で水温データ同期が十分に行えていた。これから結果の詳細な報告は、2-3 に譲ることとしたい。

最終章 全体総括

(1) 複数年の研究開発成果

- 1) 漸深層で使用可能なセラミック製 DT 型データロガーを作成することができた。性質は以下である。

素材	サイズ	重量	測定データ	耐圧	電池寿命	サンプリング
セラミック	22×30mm	32g 18g (水中)	温度 圧力	1000m	7年	1分～5分

- 2) 軽量化及び低コスト化を実現した樹脂埋め DT 型データロガーを作成することができた。性質は以下である。ただし、初年度試作機で使用した安価な圧力センサの耐性は未検証であり、今後の課題である。2線式通信は目下開発中である。

素材	サイズ	重量	測定データ	耐圧	電池寿命	サンプリング	データ通信
樹脂埋め	18×30mm	25g 9g (水中)	温度 圧力	1000m (未検証)	7年	1分～5分	2線式

- 3) 加速度搭載型 (DTA) データロガーを作成することができた。
- 4) 取得したデータの可視化ツールの開発を行った。具体的には、データロガーから PC にデータを転送するミドルウェアならびに、複数種類の物理データを 2D グラフ及び 3D グラフに描画する可視化ツールを開発した。さらに、統計処理 (移動平均・フーリエ変換) の結果表示機能、地図データと連携した移動軌跡表示機能などを実装した。
- 5) 超音波を用いた個体間のデータ同期通信 (アドホック通信) のシステムを開発してデータロガーに実装し、生きている魚を用いた検証により同期通信に成功することができた。
- 6) フィールド検証を通じて、主に 3 項目(①ロガー筐体の耐圧性、②ロガーの実用性 (シロザケ検証)、③超音波同期通信)について検証を行ってきた。本開発品がユーザーのニーズを満たすものか否かについて議論する。

①ロガー筐体の耐圧性

事業 2 年目にセラミック筐体の耐圧性を検証し、野外において深度 300m、室内系において深度 500m の圧力に耐えうる筐体を作成された。また、事業 3 年目においては樹脂性の筐体を用い、深度 1,000m の水圧に耐えうる筐体の作成に至った。データロガーを用いる研究において、その多くが深度 500m 以浅に生息する魚類を対象としている。このことから、本事業で開発した 2 種類のロガーは、ユーザーニーズを満たすものと考えられる。

②ロガーの実用性

知床でのシロザケを用いたフィールド検証において、ロガーの実用性を調査した。事業 2 年目までに、サケ放流後に再回収された 10 個の内、1 個のデータロガーから既存のロガーと同等の深度・水温データが得られた。一方、事業 3 年目に行った同様のフィールド検証では、深度・水温センサの不調で、再回収された 10 個の内、既存品と同等の水準の深度・水温データが得られたものはなかった。このことから、本事業で開発中の深度・水温ロガーはユーザニーズを満たす水準に達しておらず、今後も継続的な開発が必要である。一方、同検証で用いた加速度ロガーは、理論的に考えられる加速度データを記録しており、実用に耐えうるものと判断された。

現在市販され、かつ十分な耐圧深度をもつ加速度ロガーの平均価格は 20 万円以上と高価なものとなっている。本事業で開発された加速度ロガーが（例えば 5 万円を下回るような）安価な価格で販売されれば、これまで価格で敬遠していたユーザが購入しやすい環境が生まれ、新たな市場の開発に繋がると考えられる。今後の製品化に期待したい。

③超音波同期通信

もっとも技術的ハードルが高いと予想されていた超音波同期通信では、本事業 3 年目の大型水槽実験において、当初の予定であった「複数デバイス間での水温データ同期」に成功した。この技術は、同機能を有するデバイスや、既存の超音波受信機を用いることで、ロガーそのものを回収しなければならないバイオロギング手法を根本的に変える可能性を持つ技術である。今後はデータの受信頻度の向上やデバイスの小型化が求められるが、現状でも十分に先進的かつ実用的であり、十分にユーザニーズを満たすものと考えられる。今後の製品化に期待したい。

(2) 研究開発後の課題・事業化展開

- 1) データ通信のための 2 線式通信は目下開発中であり、初年度に使用した安価な圧力センサの耐性・新たに選定した温度センサの精度は未検証である。これらの開発と検証は平成 26 年 4 月中に完了する予定である。
- 2) 同期通信システムについては性能をより高めるための研究開発を継続する予定である。
- 3) 次年度に、同期通信機能を実装したデータロガーの 10 個以上の販売が確定している。
- 4) 平成 25 年度戦略的創造研究推進事業 (CREST) でバイオロギング研究開発に関するプロジェクト (5 カ年) が始動したことにより、低コスト型データロガーの 1,000 個以上の発注が予定されている。