

# 無線信号処理研究室と水中音響通信

立命館大学 理工学部電子情報工学科  
教授 久保 博嗣



## 1. はじめに（企業から大学へ）：

私が26年間勤務した三菱電機を退職し、立命館大学に着任してからもう7年になります。着任当時の記憶はもう定かではありませんが、「大学で水中音響通信の研究を立ち上げるぞ！」と強く思っていたことはよく覚えています。本稿では、なぜ水中音響通信を研究テーマに選んだかではなく、その選択でどのような研究室ができたかを紹介したいと思います。具体的には、無線信号処理研究室のこれまでの研究成果を、水中音響通信に関するできごとを交えながら記載します。なお、紙面の制約上、敬称は省略いたします。

## 1. 音響通信研究の立上げ：

私が2012年4月に三菱電機から立命館大学に着任すると、その環境変化に驚くことばかりでした。そして、自分が工夫した研究テーマを自由に立案できる勤務環境は久しぶりで新鮮でした。無線信号処理研究室は、そのような変化の中で産声をあげました。

2012年12月には、3回生が1期生として仮配属されました。また、三菱電機への就職が決まっている他研究室の修士2回生の学生が、研究室の立上げに協力してくれました。しかし、2012年度は、慣れない講義の準備と研究室の備品購入などで、あっという間に過ぎてしまいました。

2013年度に入ると、ようやく水中音響通信の研究に着手できました。研究テーマの立上げには予算が必要ですが、企業と大学の運営予算は大きく異なり、企業で使っていた立上げ手法をそのまま適用できませんでした。そこで、まず、スピーカーとPCMレコーダーを数万円で購入し、パソコン(PC)

を活用して、音響通信の実現性を検討し始めました。しかし、実験経験の浅い4回生学生と教育経験の浅い教員とでは、企業のようにスムーズに検討は進みませんでした。

それでも、2013年の夏休み頃には、PCMレコーダーで計測したデータをPCで解析することで、音波によりデジタル信号が送受信できることを確認できました。この実験で取得できた信号は、図1の「コンスタレーション」と呼ばれるものです。これが、無線信号処理研究室の最初の音響通信の研究成果となりました。

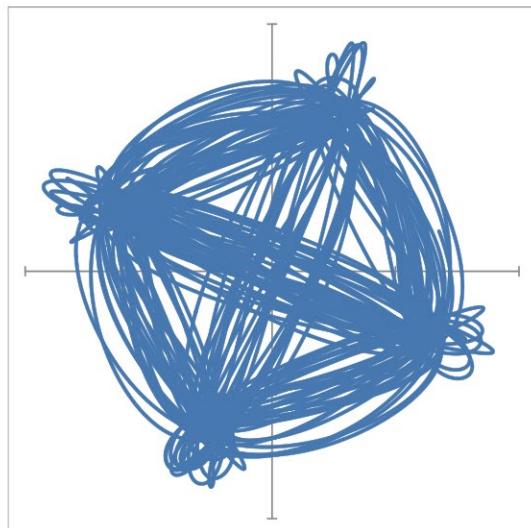


図1：初めてのコンスタレーション

## 3. 琵琶湖浅瀬環境での水中音響通信実験：

陸上では、実験によって音響通信の実現性を確認できました。しかし、水中音響通信の実験を行う行えれば良いか、暗中模索の状況が続きました。この局面を開いたのは、OKIシーテックとの出

会いでした。JAMSTECの越智寛グループリーダー（当時）からのアドバイスもあり、2013年の秋にOKIシーテック本社に伺うことになりました。なお、OKIシーテックの所在地の西伊豆の三津は、私のツーリングやドライブの定番コースであり、OKIシーテックとのご縁を感じたことを記憶しています。OKIシーテックでは、水中音響通信の実験装置を詳しくご説明頂きました。研究を進めるには、シミュレーションのみでなく実験が必須であることは、企業時代からの鉄則です。このOKIシーテック訪問にて、無線信号処理研究室の水中音響通信実験が大きく一步前進しました。

無線信号処理研究室での水中音響通信の実験系をより具体化するため、OKIシーテックのご厚意にて、無響水槽で実験する機会を得ました。2014年の夏にOKIシーテックにて、無響水槽に反射板を次第に沈めていくと、反射波が時間的に変動するという現象を、学生と一緒に見ることができました。この経験をもとに、無線信号処理研究室では水中音響通信の実験を、図2の簡易なオフラインモデルで実施することになりました。この構成は、現在でも無線信号処理研究室の水中音響通信の実験系の基本構成となっています。

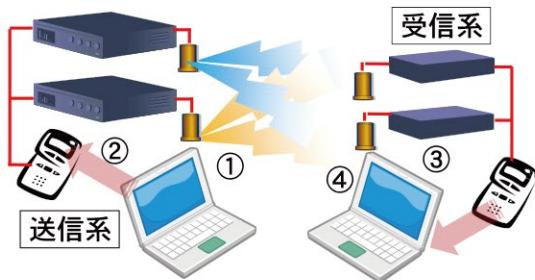


図2：水中音響通信の実験系

数回に渡る準備実験の後、琵琶湖博物館駐車場横の浅瀬にて、本格的な水中音響通信実験に挑戦しました。2015年の夏に、1期生と2期生が水中音響通信の実験評価を実施し、通信性能の取得に成功しました。図3は、実験を成功させた後の1期生と2期生です。



図3：琵琶湖浅瀬での通信実験成功後に

琵琶湖浅瀬環境にて水中音響通信実験を実施することで、付随的な成果も出てきました。2016年夏にリニューアルを予定していた滋賀県立琵琶湖博物館に、水中音響通信のために開発した受信技術を提供することになりました。本成果に関しては、TVや新聞などのメディアからの取材や、立命館大学広報の「+Rな人」掲載<sup>[1]</sup>の機会を得ました。図4は、琵琶湖博物館リニューアル内覧会で撮影した記念写真です。



図4：琵琶湖博物館リニューアル内覧会にて

#### 4. 水中音響通信研究の深化と「壁」との遭遇：

2015年夏の琵琶湖浅瀬での水中音響通信実験成功を受け、無線信号処理研究室の学会発表も活発化しました。3期生を中心に次々と研究成果を学会発表していきました。特に、2016年秋には米国モントレーで開催された国際会議に3期生5名が発表し、その結果に対して海外からも少なからず

反響がありました。図5は、モントレーでの国際会議発表時の3期生です。



図5：モントレーでの国際会議にて

しかし、このあたりで、理論検討結果と実際の実験結果に差異が出るという「壁」にぶち当りました。この状況を打破すべく、何度も実験を繰り返しましたが、すぐにはこの「壁」を突き崩すことはできませんでした。大きな「壁」にぶち当たると、初心に帰るのが基本です。そこで、水中音響通信の環境を詳細に把握するため、2014年の夏と同様、OKIシーテックでの無響水槽実験を再開しました。その結果、水中音響通信の実環境実験結果は、無響水槽実験結果と近く、これまで大前提としてきた移動体通信特有のフェージング環境のシミュレーション結果とは異なることがわかりました。しかし、その理由を解明できない状況が続きました。

## 5. 海洋バージでの長距離通信実験成功：

2018年になると、状況に変化が出始めました。一つ目はNTTとの共同実験の開始、もう一つはJAMSTECの志村拓也グループリーダーとの技術交流です。前者にてOKIシーテックの海洋バージでの試験という機会を得ることができ、後者にてこれまで電波による移動体通信中心で検討していた伝搬路モデルを、水中音響通信固有の伝搬路モデルに変更するヒントを得ることができました。

海洋バージでの試験に関しては、2018年の秋に

NTTと共同実験を実施し、4期生と5期生が作成した無線伝送方式にて、海洋バージ・桟橋間（約370m）の長距離通信に成功しました。図6は、長距離試験を成功させた時の4期生と5期生です。本成果に関しては、立命館大学広報の「+Rな人」にも掲載<sup>[2]</sup>されました。



図6：初めての海洋バージ実験にて

水中音響伝搬路に関しては、無響水槽での移動環境を模擬可能なシミュレータを作成しました。これは、水中音響通信環境を、「スペース」なバスがそれぞれドップラーシフトを有する静的伝搬路であると仮定したことでの実現できました。図7に、実験結果とチャネルシミュレータでの伝搬環境の模擬結果を示します。図より2つの傾向が一致すること、実験結果では避けられない振幅の時間変動をシミュレータでは回避できることが確認できます。

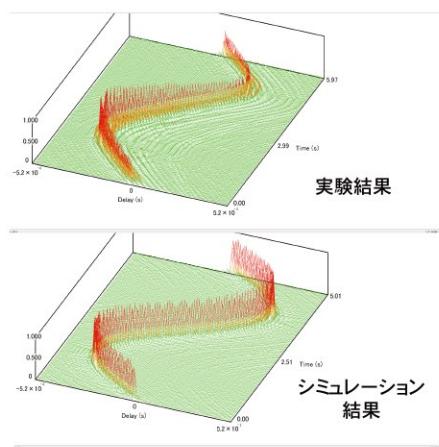


図7：無響水槽を模擬した結果

## 6. 水中音響通信に関する研究成果の紹介：



図8：無線通信実用化の手順

無線通信方式の研究開発は、図8のように、

- (1) 実際の伝搬環境の調査
- (2) 伝搬環境に適した通信方式の設計
- (3) 想定環境で設計した通信方式性能の評価

というステップを踏む必要があります。一般に携帯電話などの無線通信においては、(1)の結果は公開されており、研究者は(2)と(3)を計算機シミュレーションにて評価できます。しかし、水中音響通信に関しては、(1)の結果が公開されておらず、(1)、(2)、(3)を研究者がすべて実施する必要があります。

無線信号処理研究室は、上記対応のため、図2の水中音響通信評価装置を活用し、実伝搬環境を調査するチャネルサウンダ機能、独自の通信方式とソフトウェアモードムによる実伝搬環境性能計測機能を開発しました。これらの詳細は文献<sup>[3]</sup>に記載されています。

## 7. 水中音響通信研究の今後の目標：

無線信号処理研究室の水中音響通信研究のゴールは、3~5ノットの移動速度で海洋通信試験を成功させることです。そのためには、理論面をもう一步進めること、移動環境での海洋実験を実施することが必要条件となります。この作業は、6期生以降に託すことになります。図9は、マイフィールドであるキャンパス内の実験水槽での6期生です。



図9：今後の研究を託す6期生

## 8. 無線信号処理研究室の理念：

無線信号処理研究室の理念は、「研究成果で社会の安全・安心・快適に貢献する」です。しかし、いくら良い理念でも、実現するための仕組みがないと、「絵に描いた餅」となってしまいます。そこで、無線信号処理研究室では、図10のように理論・モノ作り・フィールド評価を3連携させて、上記理念を達成することを目指しています。

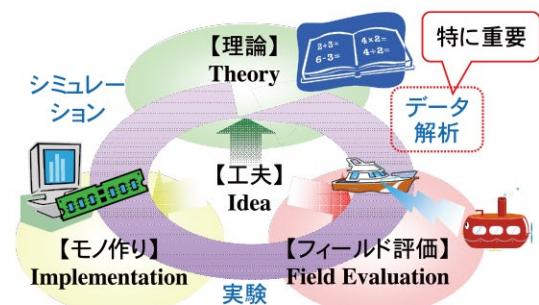


図10：無線信号処理研究室の進め方

学生には、この3連携の中で、特にフィールド評価が重要であると伝えています。無線信号処理研究室の学生は、フィールド評価を経験することで、事前の綿密な準備、現場での状況判断と迅速な対応、事後の丁寧な解析の必要性を体感してくれているようです。加えて、フィールド評価を楽しむことを大切にし、仮に不思議な結果が出ればそれは「理論」を深化させる絶好の機会であると喜びましょうとも伝えています。

## 9. まとめ：

最後に、無線信号処理研究室にとって、海が一番重要なフィールドです。この海でのフィールド評価の機会を与えて下さったOKIシーテックの皆様には大変感謝しております。加えて、無線信号処理研究室の水中音響通信の研究に関しては、科研費の他、JAMSTEC、JR東日本、NTT、滋賀県立琵琶湖博物館、日立国際電気、水資源機構琵琶湖開発総合管理所、三菱電機（五十音順で一般的な略称で記載）にご支援を頂きました。皆様への感謝とともに筆をおきたいと思います。

### 参考文献

[1] 「五感で感じる博物館」への挑戦、+Rな人、No.816, 2016.07.12.

[http://www.ritsumei.ac.jp/features/r\\_na\\_hito/entry/?post=33](http://www.ritsumei.ac.jp/features/r_na_hito/entry/?post=33)

[2] 水中音響通信実験で長距離・大容量音響通信実験に成功！、

+Rな人、No.949, 2018.12.25.

[http://www.ritsumei.ac.jp/features/r\\_na\\_hito/entry/?post=166](http://www.ritsumei.ac.jp/features/r_na_hito/entry/?post=166)

[3] 久保博嗣、“厳しい2重選択性伝搬路に適した無線伝送方式”、

信学技報、vol.CQ 2018-48, pp. 13-18, Aug. 2018.