

河床環境のオンライン・リアルタイム計測

On-line and real-time monitoring of river bed environment

名古屋大学大学院工学研究科 准教授 椿 涼太

(研究計画ないし研究手法の概略)

【研究計画】

自然河川の流路形状は砂や礫といった河床材料で規定さる。魚類は採餌や産卵を河床上で行う。河床は付着藻類や沈水植物・抽水植物の生育基盤でもある。したがって、項目① 河床形状の変化や河床材料の移動、項目② 河床付近での温度や栄養塩や酸素などの濃度、項目③ 河床付近の流速や河床内部の伏流水の流動状況 といった河床環境を直接計測することは、河川環境の研究推進や工学的管理を行う上で有益である。一方で、河床環境計測は実務のルーチンワークとしてはほとんど行われておらず、研究や調査目的で限定的な実施されている例がほとんどである。河川環境計測の実施が限られている要因として、困難① 計測機器を河床に固定したり、採水機を河岸に設置して、これらをメンテナンスする必要があること、困難② 計測機器の回収を行ってデータを取り出したり、採水したサンプルを回収して室内分析を行う必要があり、手間・コストがかかることがあげられる。河床環境は、場所のわずかな違いや時間の変化により桁が変わるほど変化することも少なくない。したがって、河床環境の計測データの信頼性や有効性を確保する上で、困難③ 観測点密度の向上、観測期間長期化と欠測の解消が要求される。また、困難④ 洪水中に計測機器を河床近傍で移動させることは極めて困難である。洪水時も含めて1年を通して河床環境を計測するためには、複数の計測機器を河床に配置するネットワーク型の観測を採用せざるを得ない。

上記の課題を踏まえ、本研究では、河床環境計測の連続化・低コスト化を目的として、水中データ通信によるモニタリングの非接触ネットワーク化を実現することを目指す。水中は、空中に比べて通信のための信号の減衰が著しく、特殊な通信技術が要求されるフィールドである。河床環境計測の非接触計測が実用化されていないことも、上記の困難を引き起こす背景となっている。本研究では、水中信号手段として超音波を利用し、機器としてダイビング用水中トランシーバーを転用することで、限られた期間・予算で河床環境計測の連続化・低コスト化する技術を確認し、実務への早期展開を目指す。

【研究手法】

1. ダイビング用水中トランシーバーを用いたデジタルデータの水中通信に必要となる変復調方式に関する調査と実装

0および1の値をもつbit形式のデジタルデータをアナログ音声情報に変換（変調）する方式として代表的なものに、ASK（amplitude-shift keying）方式（振幅偏移変調）とFSK（frequency shift keying）方式（周波数偏移変調）がある。これらの方法で用いる際には使用する周波数や1bitに対応する時間間隔を最適なものに設定する必要がある。変復調方式に関する調査については、ASK,FSK方式で設定を変えた音声信号をあらかじめ作成し、これをICレコーダーに記録・再生させて送受信試験を行った。

実験装置は、河床に設置する送信側装置と、水面付近に設置する受信側装置の2種類とした。送信

側装置の外観と内部をそれぞれ写真-1, 写真-2に示す. 市販の樹脂製の密閉容器内部に, 音声データを発信するためのICレコーダーと音量を調整するスピーカーを配置した. 容器外部の蓋部分に水中トランシーバーを固定した. 本実験で使用した水中トランシーバーは骨伝道方式のため, 振動を感知しやすいように容器内部スピーカーの上端部分がトランシーバーの感知部直下の蓋部分に触れるようにした.



写真-1 送信側装置外観

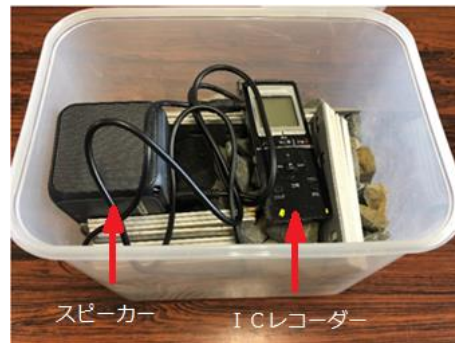


写真-2 送信側装置内部

受信側装置の外観を写真-3に示す. 受信側装置は河川内部に固定し, 水中トランシーバーのアンテナ部を水没させる必要があり, ステンレス製の棒を支柱としそこにICレコーダーとトランシーバーを固定する形とした. ICレコーダーには風によるノイズを低減するため, 防風カバーをかぶせた. そして, 写真-3の黄色の線より下部を水中に, 上部を空气中に触れるように支柱を河床に埋没させた. また実験時には送信側装置の超音波送信アンテナと受信側装置の超音波受信アンテナが向かい合うように設置した.



写真-3 受信側装置外観

2. デジタルデータの水中共通信の通信速度と転送速度に関する室内・現地実験

愛知県・岐阜県を流れる庄内川の河口から16.9km上流地点で行った. ここは愛知県名古屋市西区である. この地点の平均河床勾配は1/1800程度, 横断川幅は約60mであり, 実験日の流速は平均0.45m/s, 実験装置を設置する場所の水深は0.35mであった. 送信側装置を設置する場所を固定し,

受信側装置の設置場所を変化させることでトランシーバー間距離を30m, 50m, 75m, 100mの4種類に変化させた。

本実験を行った場所の付近には、車の往来が激しい幹線道路があったので車両の通行音が大きく、また実験装置と水流の干渉音や風の影響等でICレコーダーに録音する際にノイズが入る。そこで録音された音声信号を復調する前にノイズ除去を行う。ASK方式の場合、使用されている周波数が一種類のみなので、その周波数に応じてバンドパスフィルターをかけた。FSK方式の場合、二種類の周波数が存在するため、低周波数のハイパスフィルターと高周波数のローパスフィルターを使用した。FSK 1-2kHzの場合を例にあげると、999Hzのハイパスフィルターと2001Hzのローパスフィルターを使用した。

3. 水温計測結果の水中通信に関する室内・現地試験

送信側装置にシングルボードコンピュータであるRaspberry Pi 3（以下ではラズベリーパイと呼称）を配置して、ラズベリーパイに接続した温度センサーによって温度を計測し、対応する音声をスピーカーから再生する。音声は送信用トランシーバーで感知、超音波に変換、水中を輸送される。そして受信用トランシーバーが輸送された超音波を感知、音声に変換し再生する。この時再生された音声を聞き取ることで、河川内水温をリアルタイムモニタリングする。更にモニタリングされた温度と、実際的水温を比較し装置の性能を検証する。また、計測中に水温を変化させた際のモニタリング結果も検証するため、上記手順を水槽でも行った。

送信側装置の密閉容器内部を写真-4に示す。変復調方式の検討に用いた送信側装置内からICレコーダーを取り去り、ラズベリーパイとその電源を設置した。ここで気圧・気温・高度センサーであるBMP180をラズベリーパイと接続し、装置壁面からの温度をセンサーに効率よく伝えるように断熱材で壁面以外の接点を覆っている。

温度センサーをラズベリーパイと接続し、読み取った気温を英語で読み上げるプログラムを作成し、スピーカーから再生した。ここで温度を読み取るインターバルは30秒とし、100回の計測を行った。そのため約3000秒間の水温変化を把握できるリアルタイムモニタリングが可能となる。読み取った気温はラズベリーパイ内部に記録されるため、送信され、聞き取った温度と記録された温度を比較することで、データが正しく伝送されているか判断した。

実際的水温と比較するためにOnset社の水中用温度計測データロガー「UA-002-64」を用いて計測した。水温ロガーは送信側装置の側面に気温センサーと対になるように設置した。



写真-4 送信側温度計測装置の内部

(実験調査によって得られた新しい知見)

1. ダイビング用水中トランシーバーを用いたデジタルデータの水中通信に必要な変復調方式に関する調査と実装

既製品を組み合わせた実験装置により、水中データ通信実験及び水温計測実験が可能な装置を作成することができた。送信側の装置の単価は5万円程度である。また、装置の大きさは幅0.16m×奥行き0.23m×高さ0.23m程度であるがより小型化する余地はある。

2. デジタルデータの水中通信の通信速度と転送速度に関する室内・現地実験

2. 1. 通信可能距離

庄内川の河口から16.9km上流地点で、伝送距離を30m, 50m, 75m, 100mと変化させて実験を行った。伝送速度は5種類、それぞれの速度に対して周波数パターンを6種類に変化させ、計30種類の音声ファイルを用意した。音声ファイルを2回ずつ再生したので、一地点で合計60回音声ファイルを再生した。

受信用トランシーバーで受信できた回数と距離の関係を表-1に示す。

表-1 距離ごとの受信成功回数

距離 (m)	30	50	75	100
受信回数/送信回数 (回)	60/60	60/60	60/60	8/60

距離75m以下では受信は完全に成功していた。しかし距離100mの場合、送信側で音声を再生しても受信用トランシーバーが反応しないことが多く、また受信に成功しても再生途中で通信が途絶えてしまうことが多々あった。結果として、平水時に水深0.35m、流速0.45m/sで流下方向へ向けて通信を行う場合、最大通信可能距離は75m以上100m未満であると言える。

2. 2. 通信可能距離

本実験の全データを平均した結果では、FSK方式で1kHzと3kHzを利用する組み合わせが最も高い一致率（正しく復調されたデータ数/全送信データ数）を示した。ASK方式での試験結果では1kHzと3kHzが通信に適しており、ASK方式とFSK方式の比較ではFSK方式が適していた。また本実験で行った条件の中で最も厳しいとされる最大の伝送距離 $d=75$ (m) で最大の伝送速度 $v=200$ (bit/秒) の場合でも最も高い一致率を示した。したがって本実験での条件の範囲では、FSK 1-3kHzが最も安定してデータ送受信が可能なデータ通信方針であったと結論付けられる。

3. 水温計測結果の水中通信に関する室内・現地試験

ラズベリーパイ内部に記録された温度と、空気中で受信側トランシーバーから再生されたモニタリング温度を比較し、正しく伝送された回数を実験場所それぞれについてまとめた。その結果、庄内川での実験と室内での水槽を用いた実験のいずれにおいても、水中データ通信が確実に行われる条件下では100回試験を行って100回とも正しく伝達されることが確認できた。

実験装置によって得られたリアルタイムモニタリング結果が正しい水温であるか比較するため、データロガーに記録された実際の水温との関係を河川、水槽のそれぞれの実験についてまとめた。図-1に河川の結果を、図-2に水槽の結果を示す。

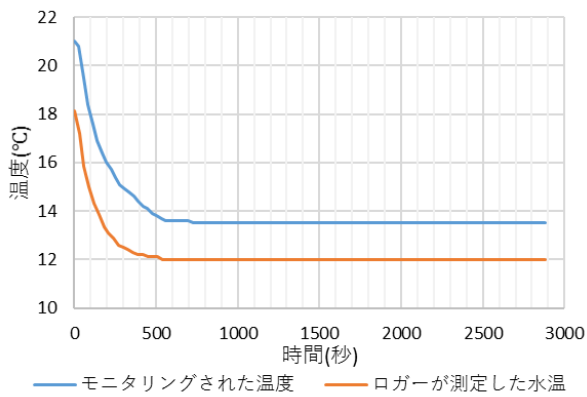


図-1 庄内川でのモニタリング結果

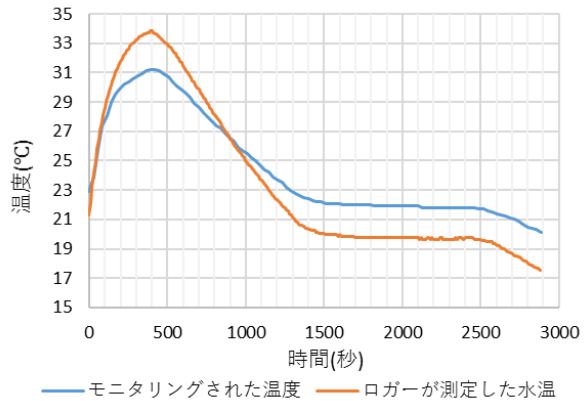


図-2 水槽でのモニタリング結果

庄内川の実際の水温は12℃であるが、実験開始直前までロガーとモニタリング装置は空気中に置かれていた。図-1から、ロガーによる測定水温和モニタリング装置による測定温度ともに、測定を開始してから正しい測定温度が得られるまでに600秒程度必要であることがわかる。モニタリング装置では装置内気温を計測しているため水温変化が反映されることに遅れがでている。

図-2に示す水槽でもモニタリング実験では、測定開始時には水槽内の水温和は34℃程度であった。水槽の実験では400秒経過した時点から900秒間水温を急激に減少させ、その後1000秒間温度を変化させず、最後の700秒間水温を緩やかに減少させた。図-2からわかるように、水温を急激に低下させた場合と緩やかに低下させた場合の両方でロガーによる測定温度とモニタリング温度の低下を始める時間は同じであった。結果、水温変化の反映速度にロガーとモニタリング装置に差はほぼないと言える。図-1,2にみられるロガーで測定された水温和モニタリングされた温度の差については、別途確認実験を行ったところ、計測に用いた温度センサー（BMP180）のバイアス誤差であることが確認できた。したがって事前にキャリブレーションを行って補正することでより適切な温度（水温）のモニタリングが可能である。

（発表論文）

- 1) 椿 涼太：河川環境の接触・非接触モニタリング，陸水学会東海支部会第20回研究発表会，2018.2，長野県木曾郡。
- 2) Tsubaki, R. and Miyamoto, M.: Measurement of pressure fluctuation on bed cobbles during small floods, Proceedings of 12th International Symposium on Ecohydraulics, submitted.