

本格的な実用期を迎えた電波流速計 『固定電波流速計 & RYUKAN』

宮村恵里也¹・中島洋一¹・吉村淳也¹
Eriya MIYAMURA, Youichi NAKAJIMA and Atsuya YOSHIMURA

¹賛助会員 横河電子機器(株) (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-23-13)

WJ7661 type RYUKAN is a compact, lightweight, and mobile microwave Doppler-type non-contact current meter driven by the built-in batteries.
Flow velocity can be measured easily and remotely without touching flowing water, just by installing the main unit to the tripod and radiating radio waves to the measuring point.
The use of microwaves enables stable measurements insusceptible to weather conditions such as temperatures, wind, rain, and fog, as well as visibility hindrance, supporting a safer and more reliable river flow measurement.

Key Words : RYUKAN, ADCP

1. はじめに

今年の『河川砂防技術基準(調査編)』の改訂で新たに非接触型流速計測法の項目が追加され、標準手法として電波流速計の事例を中心として適用手法が記述された。

今後の高水流量観測は、日本で育まれた電波技術を用いた自動観測により、安全で経済的かつリアルタイムに状況把握する高度化の時代を迎えた。

河川の流量観測は、治水計画や洪水状況の把握など、河川の適正な管理に欠かせない重要な業務である。しかし、現在行われている観測手法については、確実性や観測する際の安全性において課題が指摘されている。

横河電子機器株式会社は、1986年にドップラー効果を使った橋梁固定式の電波流速計の開発し、非接触方式の流速測定の新分野で経験と実績を積んできた。

旧土木研究所(現国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所)、財団法人河川情報センターとの共同研究で誕生した固定型電波流速計が流量観測用として新潟県を流れる魚野川に設置されてから約20年が経過している。この間、検出機器においては信号処理のデジタル化、流速信号抽出技術の改良、流量演算システム開発などの技術的進歩により流速計としての信頼性を向上させる一方、実河川流観への適用については官民共同の計測法研究の実施により実用面での検証が大幅に進んだ。2012年3月現在で納品しているのは、固定型電波流速計が約60ヶ所、ポータブル電波流速計

RYUKANは100台を超え、多くの適応事例からいよいよ本格的な実用期を迎えた。

2. 流量観測の手法と問題点

河川計画に欠かせない河川流量は河川の断面積と流速から算出されている。河川の流速は、低水時には可搬式流速計を水中に入れて計測できるが、洪水時には流速が早く、また多量の流下物があるため計測器を入れることが事実上できない。そこで、棒浮子を投げ入れて浮子が一定区間を流下する時間を計測して流速を算出する、いわゆる浮子法が標準的な観測手法として用いられている(図1)。しかし浮子法は

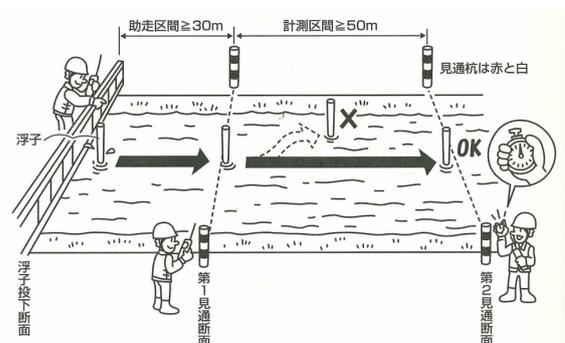


図1. 浮子流観
「絵で見る水文観測」から引用した(例)

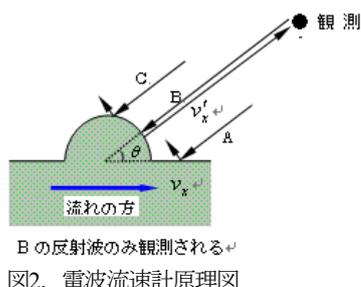
①人手による観測であることから流出の早い観測地点では観測者の到着が遅れ、洪水の立ち上がりやピーク観

測に間に合わない場合がある。

- ②連続的な観測ができないのでピーク流量が把握できないことがある。
- ③浮子が予定した測線から外れる、橋脚後流の影響を受けるなど測定精度が不正確な面がある。
- ④測定区間の平均流速計測であり、瞬時値が計測できない。
- ⑤観測には3人～5人程度の経験豊富な観測者の出動を必要とするので今後人材的、経済的困難も予測される。などの問題点も指摘されている。

3. 電波流速計の特長

電波式流速計はマイクロ波のドップラー効果を利用した非接触型の流速計で、河川の表面に一定周波数のマイクロ波を放射すると、その反射波の周波数は表面流速によるドップラーシフトを受ける。この周波数シフトを検出し河川の表面流速を計測するものである(図2、3)。



非接触測定であるため固定電波流速計の場合以下のように浮子法の問題点をカバーできる特長がある。

- ①低水域から洪水までの広い流速範囲一台の流速計で連続的に観測できる。
- ②特に洪水の立ち上がり、ピーク流速を逃すことなく正確に測定できる。
- ③区間の平均流速ではなく、測定ポイントの瞬時流速を測定できる。
- ④橋脚や測線変化の影響を受けず高精度測定が可能である。



図3. 固定電波流速計設置写真

- ⑤人手を必要としないので、悪天候下でも安全に自動観測ができる。

また流下距離の取れない短区間や湾曲部、植生のため浮子の投下できない高水敷部など浮子法では測定困難な流域での流量観測も可能である。

4. 独立行政法人土木研究所との共同研究(固定型電波流速計)

1) 研究の背景

1999年度から3年間にわたり土木研究所を基幹研究機関としてドップラー式流速計および画像処理式流速計を対象とした非接触型流速計の研究が行われた。近年の局地的異常気象の頻発傾向にともない、中小河川も含めて洪水災害も多発してきている。対策として合理的な治水計画の策定、よりの確な洪水予測、迅速な情報公開などが求められる中、流量観測の高度化が重要な課題となってきた。特に洪水時におけるタイムリーで高精度な流量観測の実施が急務となってきたことから、現行の浮子法に代わるものとして、洪水時の流速を自動計測可能な非接触型流速計測法の実用化研究を行うものです。当社もドップラー式流速計に属する電波流速計のメーカーとして、共同研究プロジェクトに参画した。

2) 実施内容と成果

研究は土木研究所の実験施設および実河川の実験フィールドを使用して行われ、電波流速計に関しては以下のような成果が得られた。

- ①実験水路でのトレーサ実験により表面流速の測定精度が検証された。
 - ②風洞実験により風の影響を確認し、定量的な補正実験式を確立した。
 - ③実河川(魚野川)での実験で表面流速と鉛直方向流速分布の関係を解明し、表面流速を平均流速に変換する更正係数を明らかにしました。
- そして全体的な成果として、電波流速計は
- ・浮子法と良好な相関を有している
 - ・浮子流観を代替できる測定精度を有している
 - ・洪水ハイドログラフを自動観測することが可能である
- ことが確認された。

3) フォローアップ研究

共同研究の完了後も本共同研究は財団法人土木研究センターに引き継がれ、2002年度から2007年度にかけて研究成果の検証を中心とする、フォローアップ研究が行われた。

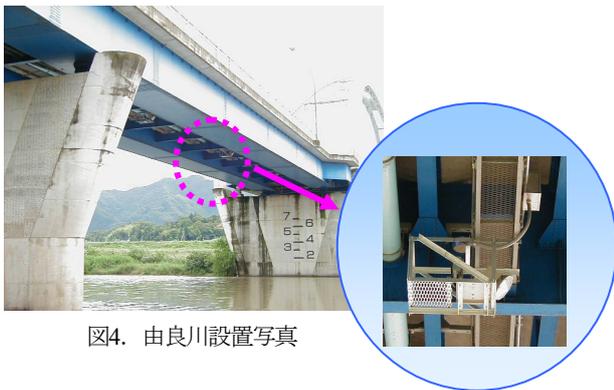


図4. 由良川設置写真

電波流速計については利根川上流（栗橋）、由良川（音無橋）を実験フィールドとして実施された（図4）。

特に由良川においては2006年7月に台風23号の大洪水を観測する機会があり、図5に示すように出水の完全なハイドログラフを記録することができた。

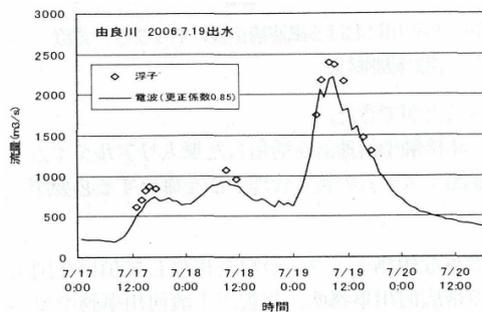


図5. 23号台風ハイドログラフ（由良川）

また同時に浮子流量観測を実施し、電波流速計（校正係数0.85）と浮子流量観測が高い相関関係にあることを確認することができた（図6）。

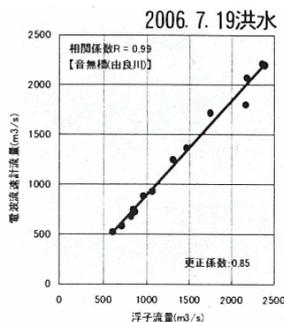


図6. 浮子との相関図（由良川）

このように共同研究の成果が実河川で検証できたことを受けて、電波流速計の設置基準、データ整理方法、データ確認を含む保守点検などについての運用マニュアル（案）をとりまとめ、フォローアップ研究を完了した。共同研究、フォローアップ研究の成果は文献2、3に詳述されているので参照願います。

4) 固定型電波流速計のまとめ

電波流速計が河川の流量観測用として、いよいよ本格

的な実用の時代に入った。当社の電波流速計を用いた流量観測システム（図7）はすでに全国の主要な流量観測所（約60ヶ所）で導入している。

また河川流観のほかにも砂防ダムにおける土石流の監視や流下速度の観測などに多く採用されている。今後運用マニュアルの制式化により一層の普及が進み、河川の流量観測の高度化や砂防分野の観測に貢献できるよう、メーカーとして一層の努力をしていきたいと考えている。

緊急時の流量観測対応や新規観測ポイントの調査、またこれから観測データの充実が望まれる中小河川の流量観測、砂防分野への適応など、幅広い用途にお役に立てることを願っている。

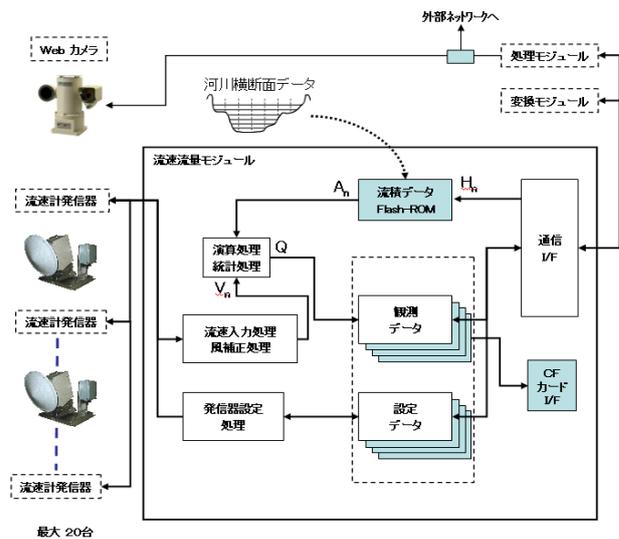


図7. 流量観測システム構成図

5. 『RYUKAN』の実績

1) 開発の経緯

RYUKANは、我が社が25年間培った固定式電波流速計の技術と経験をつぎ込み世界で初めて実用化に成功したポータブルタイプの非接触型流速計である。RYUKANは、固定式電波流速計の信頼性と長時間記録や連続測定などの特性をそのままに小型・軽量化に取り組み一人で持ち運べる形状を実現した。RYUKANの組み立てには、専門的な知識や経験を必要とせず、内蔵バッテリー方式と内蔵メモリーの採用によって電源のない山奥や、橋梁の上でも観測機単体で観測から表示、記録までを行う事が出来る。

流量観測の高度化が推進されてきている昨今、いよいよ研究分野で活躍している方式を広く活用してもらえよう、手頃なポータブル型の電波流速計 RYUKANを2008年11月に販売開始した。そして、改めて電波流速計の有効性を見る為、暴風雨時の“雨空展示会（弊社の独自名称）”を企画し結果をまとめた。



図8. RYUKAN本体と付属品

2) 『RYUKAN』の実観測 “雨空展示会”

2009年10月8日、日本に上陸した台風18号を、全国15箇所（宮崎県、福岡県、高知県、広島県、岡山県、三重県、神奈川県（3箇所）、群馬県（2箇所）、茨城県、秋田県、北海道（2箇所））で待ち受けた。

台風18号は、我々を恐れたのか、和歌山県より上陸し、近畿地方から北陸地方へ、更に東北地方へと包囲網を避けるかの様な進路をとった。その内5箇所が高水をキャッチし、従来の流量観測業務と並行してポータブル電波流速計RYUKANを使った展示会兼流量観測が行われた。

展示会は、大きく3つの特徴的な使い方で行われた。

- ① 定点連続観測。6測線分RYUKANを固定（簡易的に固定）し、連続観測する方法。
- ② 定点連続+移動間欠観測。RYUKAN 1台を低水路部にあたる測線に固定し、もう1台を三脚で立てながら浮子投下測線に合わせて観測する方法。
- ③ 今までに浮子観測（高水流観）のできない箇所（3箇所）に RYUKAN を設置し、三脚に立てて 3 測線分観測する方法。

今回は、関東地方整備局管内 下館河川事務所の黒子水位観測所で行った観測結果のまとめを紹介する。

3) 雨空展示会での浮子法との比較観測

黒子水位・流量観測所は、利根川支川小貝川の1種の水位・流量観測点で浮子流観と共にRYUKANを用いて比較観測した。

10月8日11:00から20:00までのRYUKAN（表面流速）のデータで、更正係数（0.85）を掛け算出した表である。一番上の曲線が水位のデータとなっている。水位データ下方の曲線は、測線12と13の流速データとなっており、流速データのグラフ内の点は浮子のデータとなっている。水位データの曲線とも綺麗に合った曲線となっている。

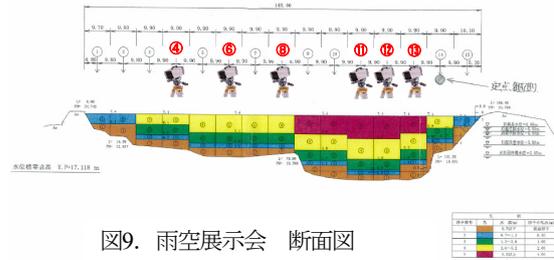


図9. 雨空展示会 断面図

RYUKANは、刻々と変化する河川流速を連続かつ詳細に捉え、測定データの妥当性を認識でき、浮子観測との傾向も見られ、良好な結果が得られた。

また、RYUKANは自動計測が可能であることから観測員を最小限に抑えることができ、消耗品も少ないことから、省人型・省コストの流量観測が実現できる。

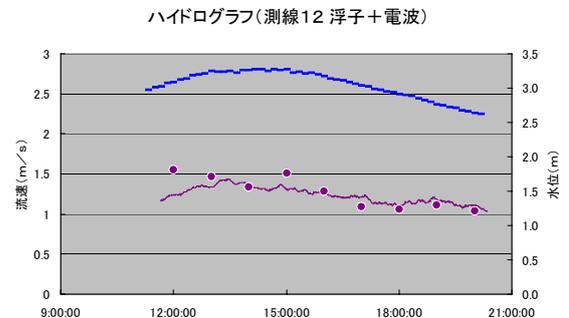


図10. RYUKANデータ（測線12）

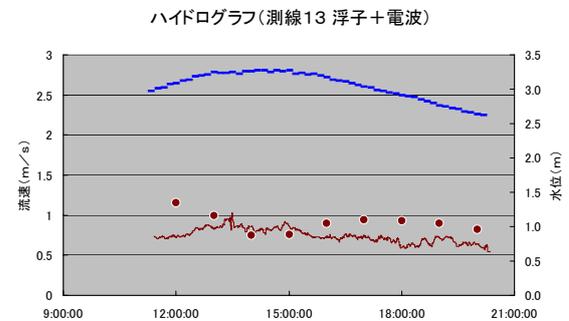


図11. RYUKANデータ（測線13）

さらに、複数台を同時に使用することで、水位上昇の大きい時間帯でも同時性の高い観測が可能であることから、更なる観測データの品質向上にも貢献できることを示せた。

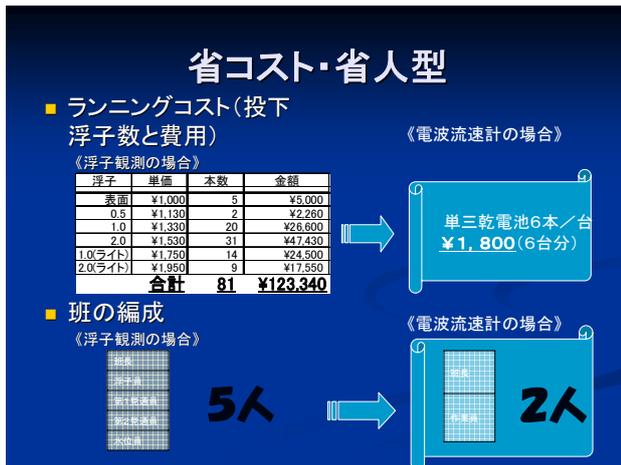


図12. コスト面での比較

4) 主な流速計の比較表

最後に主な流速計の比較表を作成してみた。RYUKANは基本的に高水流観用として開発したが、仕様上、電波の反射が得られれば0.5m/sから計測できるので、低水時からRYUKANを用いて観測される事が多く見受けられる。水面上に波が立っていれば計測できるので、特に問題は無い。これを踏まえ、この比較表には、他に高水用の流速計が無いので、浮子・RYUKAN・ADCP・回転式流速計・電磁流速計とで比較した。

全体的なメリット・デメリット、費用面、データの安定性などを考慮すると、気になるのはイニシャルコストだけだと思われる。とはいえ、トータルコストや機器仕様等の全体的に評価すると、RYUKANで計測するのが一番皆さんのお役に立てると考える。

今後事業を進めて行く上で、活用できる機械ができたと思自負している。

5. まとめ

電波流速計が国の定める標準手法として『河川砂防技術基準(調査編)』(第2章第4節:参照)に記載されたことは、25年以上取り組んできた我々として感慨無量であり、山口高志先生、土木研究所の深見上席研究員、萬矢研究員をはじめ電波流速計を題材とした研究に取り組んでくださった多くの研究者の方にこの場を借りてお礼を申し上げたい。

2008年11月にRYUKANを販売開始してから全国約200もの河川系の事務所へ伺いPRをした。約3年間で100台以上も活用される事ができた。そして、河川情報センターが開催している「河川情報取扱技術研修」でもRYUKANが新たな流速観測の手法の一つとして紹介されており、それ以外にも国土交通省をはじめ、多くの観測機関や海外の研究機関などでも活用されている。

今後は、高水流観の精度を上げるためにも、ADCPとのコラボレーションを取り、ADCPで流速分布実測値に

よる更正係数を再設定した上、RYUKANで表面流速を計測する。このような組合せ観測すべき観測点が全国に多数あると思われる、ADCP共々RYUKANや固定電波流速計が活用される事を期待する。

高水時での流量観測では、観測員の安全が第一である。危険を感じ作業員が撤収しても計測し続け、しかも安定したデータで、今までに計測できなかったような流速データでも計測できる流速計として、RYUKANは更なる飛躍を続けていく。国土交通省を始め、様々な研究機関からも期待されており、その期待に応えるべく、今後も日々努力していく。



■参考文献

- 文献1. 国土交通省中部地方整備局河川部監修、社団法人中部建設協会：絵でみる水文観測
- 文献2. 国土交通省河川局監修、独立行政法人土木研究所編著：水文観測(平成14年度版)社団法人全日本建設技術協会、2002
- 文献3. 独立行政法人土木研究所他：共同研究「非接触型流量計測法の開発」共同研究報告書、土木研究所共同研究報告書、No.291、2003
- 文献4. 深見他：ドップラー式非接触型流速計を用いた洪水流量の連続観測手法の現地検証～浮子測法との比較～河川技術論文集、第14巻、2008年6月
- 文献5. 弊社の季刊誌(WEATHAC VOL.14) 2008年
- 文献6. 国土交通省水管理・国土保全局監修、社団法人日本河川協会：河川砂防技術基準(調査編) 2012年

(2012. 8. 31受付)

主な流速計の種類と観測手法の比較

種類	浮子法	電波式流速計	A D C P	回転式流速計	電磁式流速計	
						
主な使用目的と機関	河川流量調査 (国土交通省)	発電水力流量調査 河川流量調査 (経済産業省) (国土交通省)	発電水力流量調査 河川流量調査 (経済産業省) (国土交通省)	発電水力流量調査 (経済産業省)	発電水力流量調査 河川流量調査 (経済産業省) (国土交通省)	
測定範囲	0.5m/s～	0.5m/s～20.0m/s	±20m/s	0.03m/s～3.5m/s	0.5m/s～4.0m/s	
精度		±(2%+0.05m/s)	±0.25%または±2.5mm/s @1200kHz	0.1m/s未満 誤差2.5%以下 0.1m/s以上 誤差1.5%以下	0～100cm(±2cm/s) 100～200cm(±4cm/s) 200～400cm(±8cm/s)	
測定原理	最も単純な流速測定方法であり、距離と時間の関係から、速度を算定する。計測時の水深に応じて、表面、30cm、50cm、1m、2m、4mの吃水長の浮子を使い分ける。	流水の水面に電波を照射し、ドップラー効果を利用して表面流速を求めめる装置である。	音波発信面から音波パルスを送り、水中の散乱体(プランクトンやちりなどの浮遊懸濁物)に向けて反射し、その反射パルス(エコー)の周波数変化(ドップラーシフト)を流速に変換することにより、流速を計測する。	プロペラの回転数から流速値を推算する。回転数と流速値に異なるため、各測器に対応した検定表を用いる。	電磁流速計は電磁誘導の法則により、電導体である水が磁界を横切って流れる時に発生する起電力を測定することにより、流速を計測する。	
特徴	分類		非接触型	接触型	接触型	
	主用途	中流速～高流速用	中流速～高流速用	微流速～高流速用	微流速～低流速用	低流速～中流速用
	メリット	・伝統的な手法で現在観測手法の一つとして主に用いられている。	・瞬時の流速を連続して計れる。 ・夜間でも測定可能 ・移動部分がないため故障が少ない。 ・暴風時でも故障が少ない。 ・簡易操作のため熟練は不要。	・流速適用範囲が広い。 ・移動部分がないため故障が少ない。 ・3次元の流向流層が計測できる。 ・1台で水中を多層計測できる。 ・ボトムトラッキング機能を組み込むことにより移動計測も可能。	・0.03m/sからの微流速を測定可能	・瞬時の流速を連続して計れる。 ・移動部分がないため故障が少ない。
デメリット	・河川に投下したままなので、環境問題の一因となる。(夜間のライト部) ・観測時の多くの人手が必要 ・水位がHigh Water Levelを越える際は危険が生じるので計測しない。 ・熟練が必要。	・水面に波が無いと測定不可能。 ・暴風時、橋梁に固定させない場合は三脚が動かぬように押さえる必要がある。	・気泡が大量に生じるところでは計測できない。 ・高濃度時に計測レンジが減少する。 ・熟練または販売店のサポートが必要。 ・高価	・計測時間が掛かる。 ・プロペラ軸方向の流速しか計れない。 ・高水時は危険なため計測不可能。 ・移動部のメンテナンスが困難 ・熟練が必要。	・高水時は危険なため計測不可能。 ・熟練が必要。	
主な機能	一体型	—	○	○	×	
	表示機能	—	○	×(PC接続で○)	○	
	演算機能	—	○	○	○	
	記録機能	—	○(USB本体記録)	○(PCMCIAメモリーカード)	×(表示直読)	○(本体記録)
	電源	不要	乾電池(単三電池×6本)	12VDCバッテリー×2個	乾電池(単三電池×4本)	充電式リチウム電池
観測時必要人数	5人～	2人 ※1	2人 ※1	4人～	4人～	
初回購入費	¥0	¥950,000	¥2,300,000	¥428,000	¥850,000	
維持費 ※3	校正費	¥0	¥0	¥0	¥350,000	¥750,000
	成績書取得	¥0	¥175,000	¥150,000	¥165,000	¥165,000
消耗品費 ※2	¥5,400,000	¥45,000	¥45,000	¥12,500	¥5,000	
人件費 ※4	¥4,700,000	¥1,800,000	¥1,800,000	¥3,100,000	¥3,100,000	
合計 ※5	¥10,100,000	¥2,970,000	¥4,895,000	¥4,055,500	¥4,870,000	
総合評価 ※6	○	◎	○	×	×	

- ※1 浮子流観と併用する場合は1人
- ※2 オーバーホール・検定費として5年分の概算費
- ※3 主に電池および浮子の購入として5年分の概算費
- ※4 “観測時必要人数”を目安として1観測当たり24時間で年3回と仮定し5年分の概算費
(浮子観測：測量技師・測量技師補・測量助手・普通作業員(2人) 計5人)
(電波流速計：測量助手・普通作業員 計2人)
- ※5 1観測当たり24時間で年3回と仮定し5年分としての浮子の概算費
- ※6 高水速観用としての総合評価