

河川音響トモグラフィ法による 流速・流量のリアルタイム 自動観測システムの構築



HIROSHIMA UNIVERSITY

広島大学 大学院 工学研究科
川西 澄

2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

1

研究課題の背景と目的

- 防災情報・河川環境の観点から、河川流量観測は非常に重要。
- 夜間の観測、急激な水位上昇、安全確保等の問題で人力では洪水流量を観測できない場合がある。
- 少子高齢化による労働力不足が進む中で、河川流量の自動観測技術の確立は喫緊の課題。
- 広島大学で開発した、河川音響トモグラフィシステム(FATS)を用いて河川流量のリアルタイム自動観測を実現し、省人力化・コスト縮減をはかる。
- 江の川(広島県三次市)でリアルタイム自動観測システムを構築・実地試験を実施、本自動観測システムの有効性を確認する。

2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

2

従来の河川流量観測法とその問題点

1. 水位流量曲線法 (HQ法) : 労力のかかる多数の流観を実施する必要があり、流量の確定には時間を要する。夜間の出水時など危険をともなう場合がある。感潮域や背水域、緩勾配河川には不適。 **人力**
2. ADCP計測法: スポット観測に限定され、長期連続観測、洪水時の観測は困難。ADCPの操作に習熟した調査員が必要。 **人力**
3. H-ADCP計測法: 塩水遡上時には音波の屈折、洪水時には浮遊土砂が障害となる。こう正係数が必要。広幅河川への適用は困難。
4. 超音波伝播時間差法: 直達音線のみを利用しているため、こう正係数が必要。洪水時には浮遊土砂や水中雑音のため、塩水遡上時には音波の屈折のために、欠測となる場合がある。装置が大型で高価。
5. 電波流速計・カメラ画像解析: 水面流速しか得られないため、こう正係数が必要(複雑な流速分布では精度が出ない)。流速が小さい場合、計測が困難。画像解析の一部は **人力**

流速測定の基本原則: 超音波伝播時間差法

上流 → 下流 への伝搬時間:

$$t_1 = \frac{L}{c_m + u_m} \quad (1)$$

下流 → 上流 への伝搬時間:

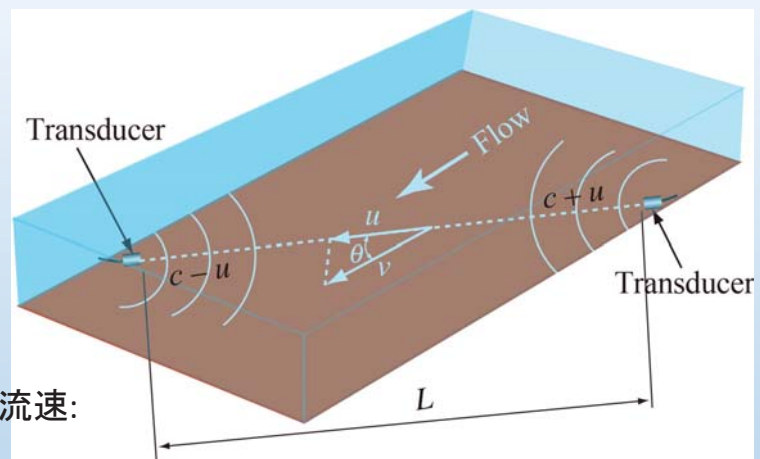
$$t_2 = \frac{L}{c_m - u_m} \quad (2)$$

音線に沿った平均音速と平均流速:

$$c_m = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \approx \frac{L}{t_m} \quad (3)$$

$$u_m = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \approx \frac{L}{2} \frac{\Delta t}{t_m^2} = \frac{c_m^2}{2L} \Delta t \quad (4)$$

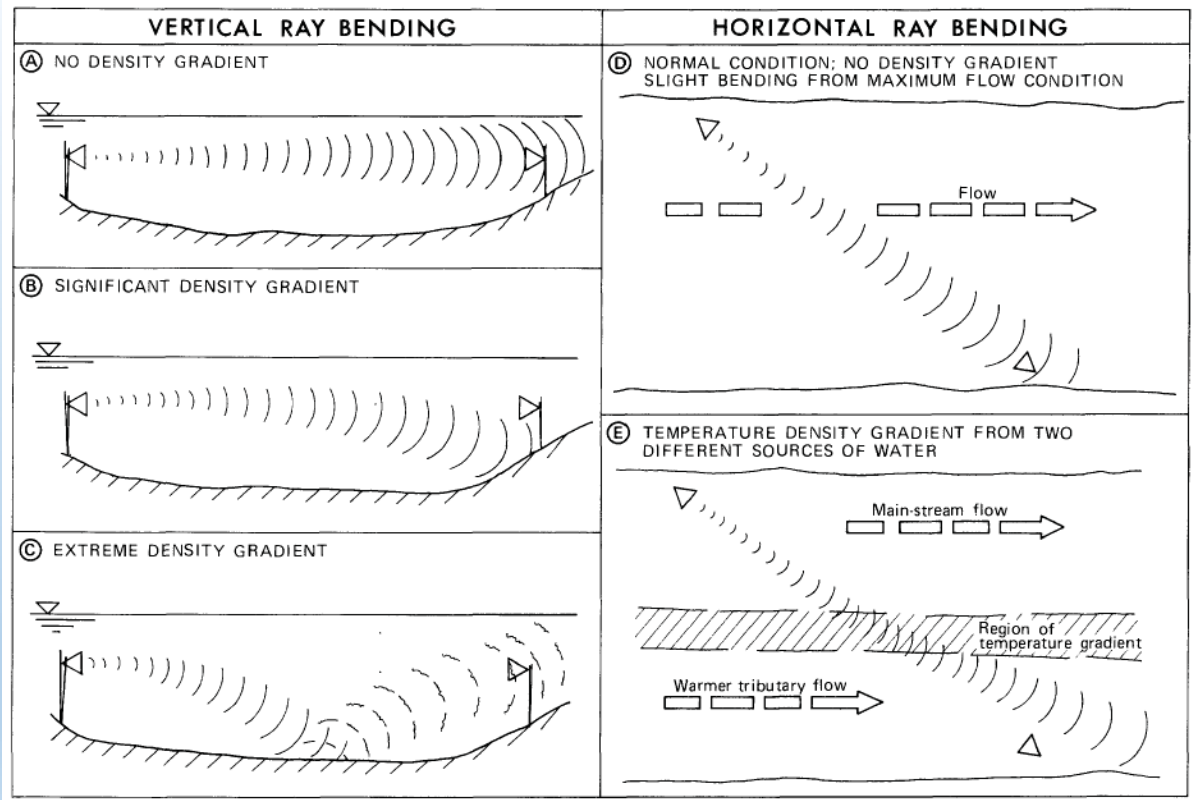
ここで、 $t_m = (t_1 + t_2) / 2$, $\Delta t = t_2 - t_1$



u : 音線に沿った流速成分
 v : 主流方向の流速成分

$$v_m = u_m / \cos \theta \quad (5)$$

超音波流速計(AVM)の音波の屈折による受信障害 from a report of USGS

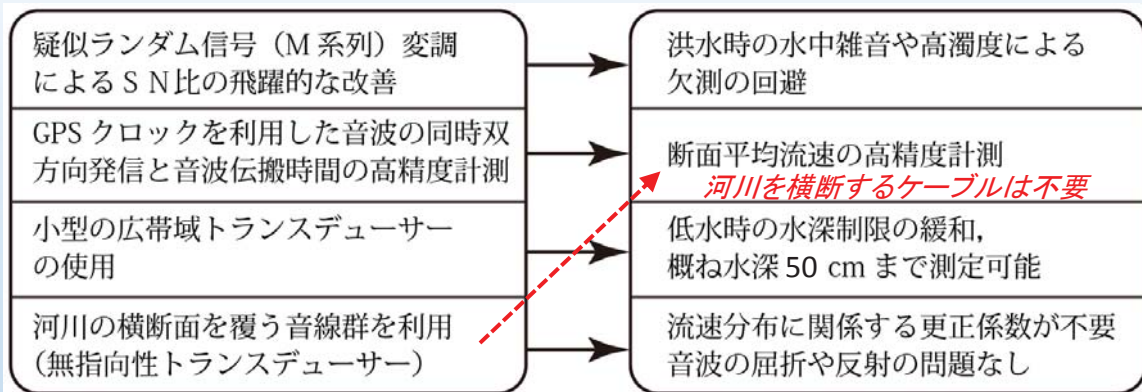


2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

5

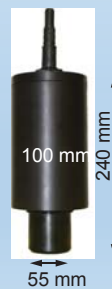
河川音響トモグラフィシステム (FATS) のブレークスルー



電源: 12~18 vDC, 5 W
本体重量: 3 kg



30 kHz-Transducer Unit



10~50 kHzまで開発済み

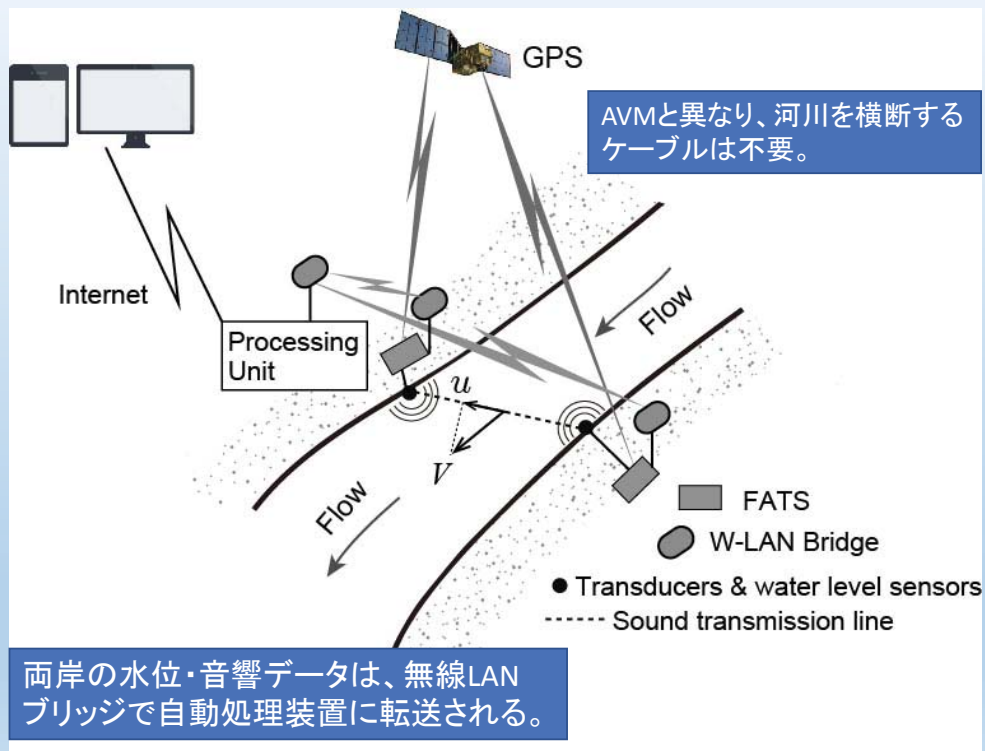
適用音線長
50 kHz 150 m~500 m
30 kHz 200 m~1 km
10 kHz 500 m~10 km

2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

6

FATS によるリアルタイム流量の自動観測概要

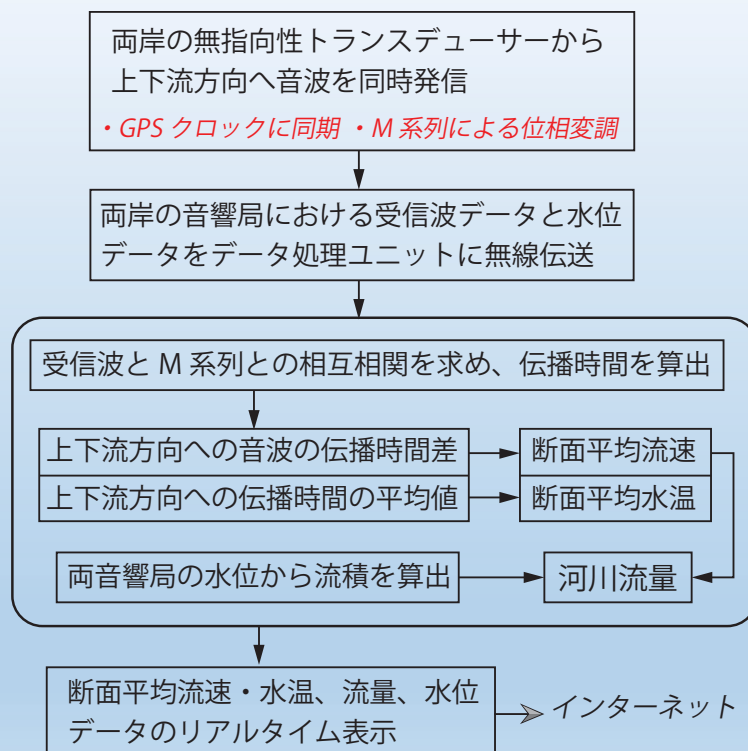


2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

7

FATS のリアルタイム自動観測の流れ

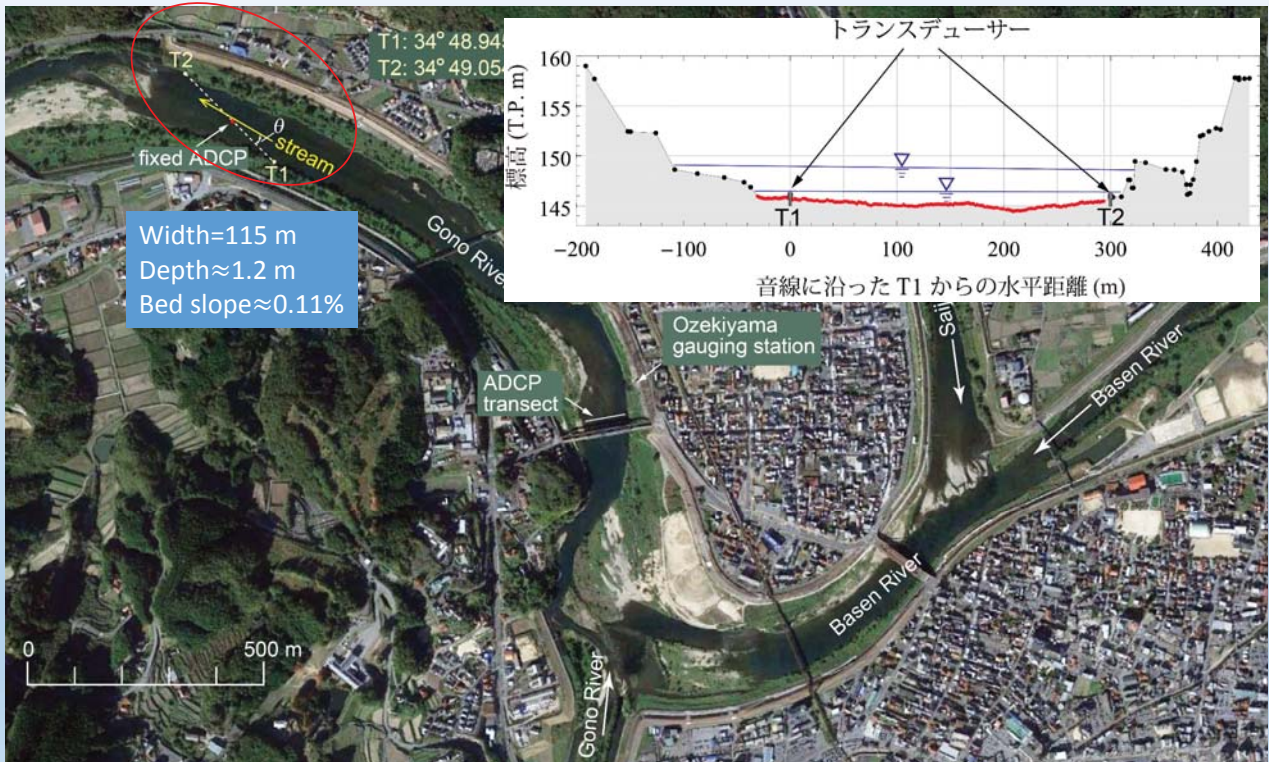


2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

8

観測地点



2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

9



2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

10

受信波・水位データを下流右岸の処理装置に送信

無線LANアンテナ

FATS本体の遮熱
キャビネット

上流左岸側

2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

11

受信波・水位データを処理装置に送信

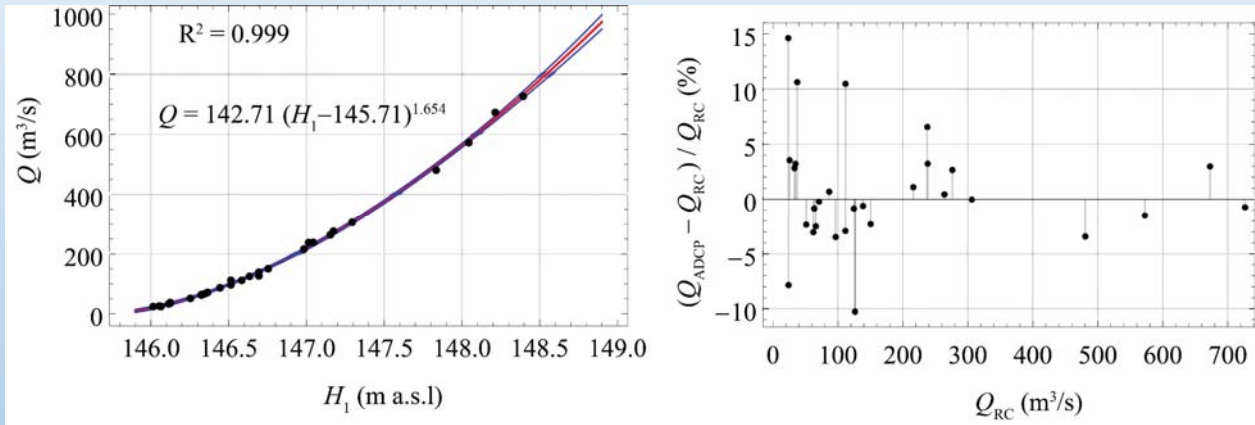
無線LANアンテナ

FATS本体の遮熱
キャビネット

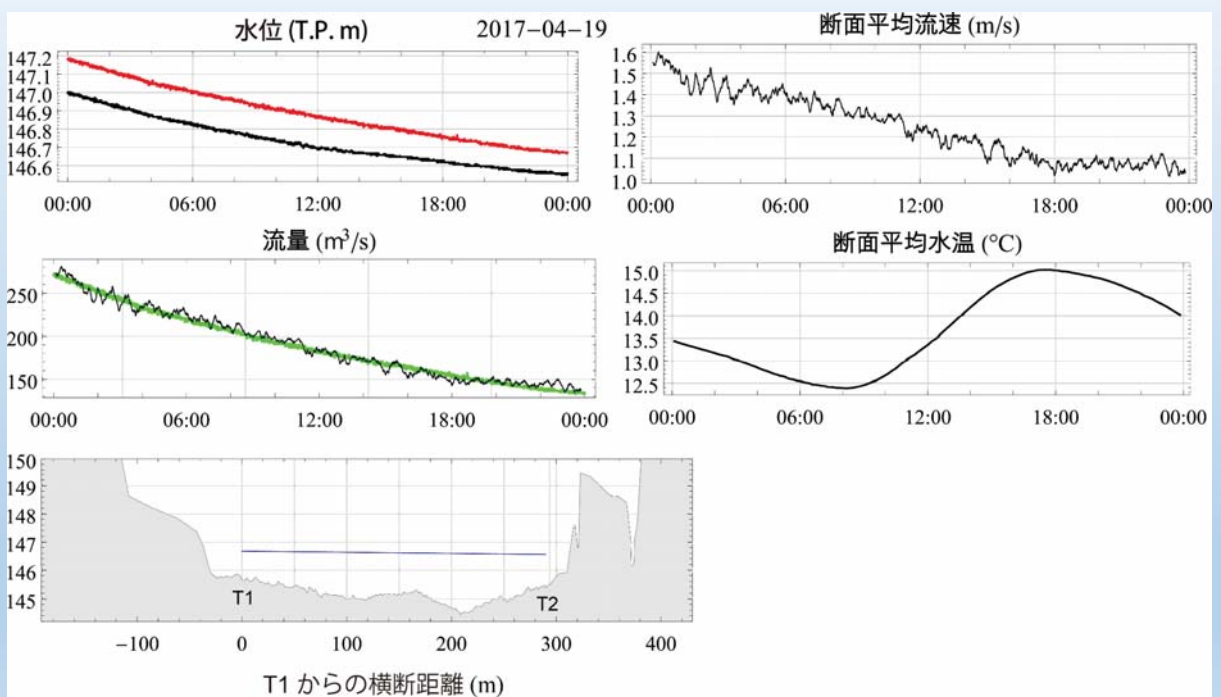
下流右岸側



超音波ドップラー流速分布計 (ADCP) による観測流量から 求めた水位流量曲線 (RC) と相対誤差



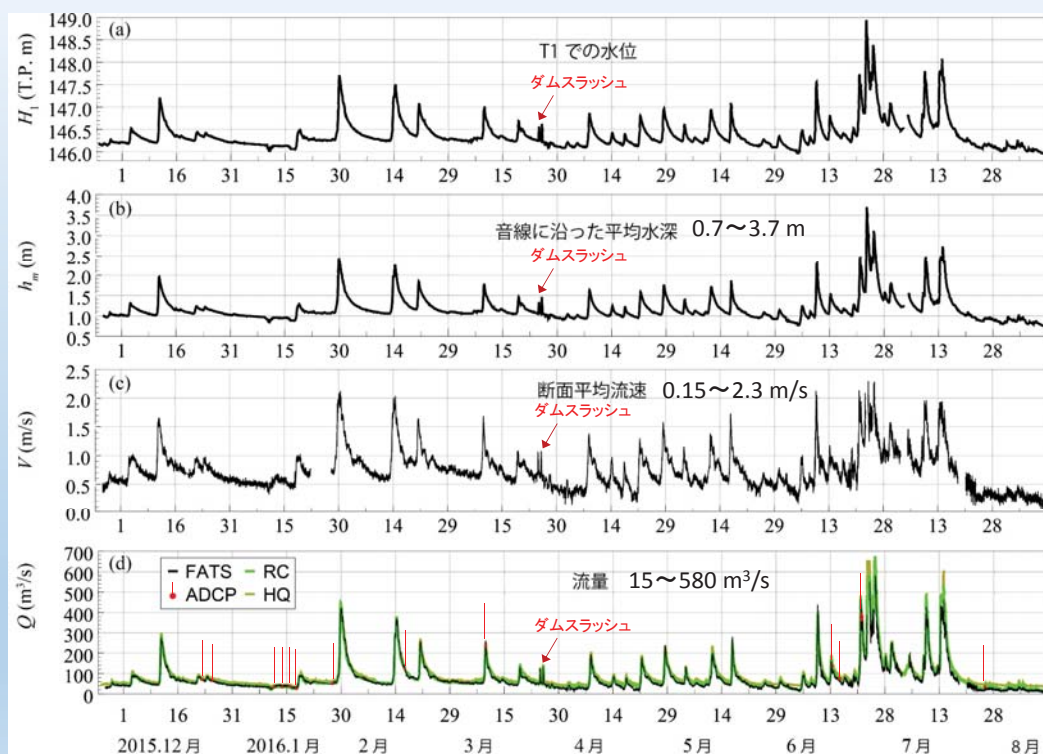
観測データのリアルタイム表示 (1日分)



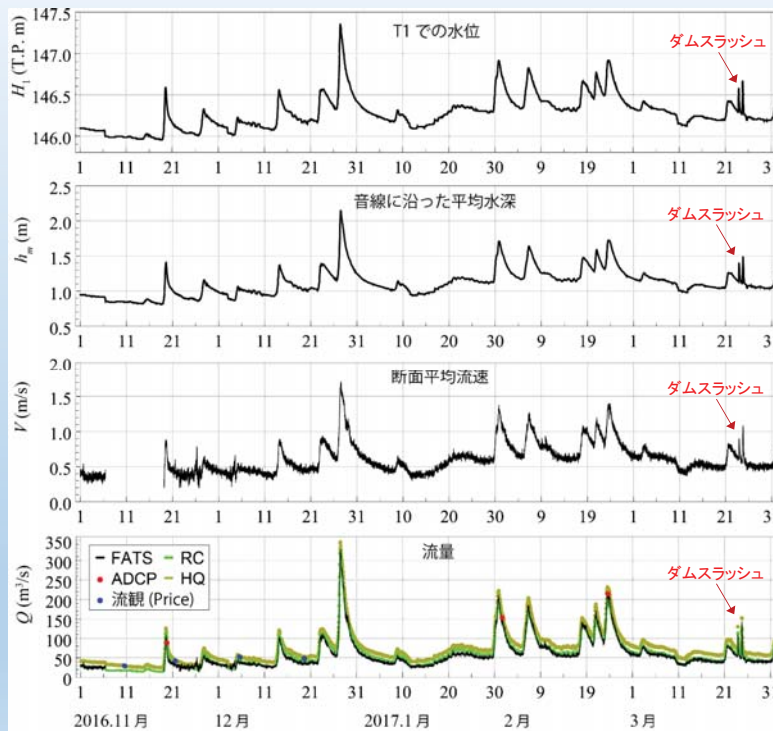
数値データの出力例

Date	Time	WL ₁ (m)	WL ₂ (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	T (°C)
2017/4/19	0:05	147.17	147.01	1.56	273.81	13.43
2017/4/19	0:10	147.17	147	1.54	270.36	13.42
2017/4/19	0:15	147.17	146.99	1.56	273.66	13.4
2017/4/19	0:20	147.17	146.99	1.59	279.85	13.39
2017/4/19	0:25	147.17	146.99	1.57	275.75	13.38
2017/4/19	0:30	147.17	146.99	1.58	276.33	13.37
2017/4/19	0:35	147.16	146.99	1.54	269.34	13.36
2017/4/19	0:40	147.16	146.98	1.57	273.16	13.34
2017/4/19	0:45	147.15	146.98	1.56	271.33	13.34
2017/4/19	0:50	147.16	146.97	1.55	270.42	13.32
2017/4/19	0:55	147.15	146.98	1.53	265.86	13.31
2017/4/19	1:00	147.15	146.97	1.53	265.33	13.3
2017/4/19	1:05	147.15	146.96	1.52	262.53	13.29
2017/4/19	1:10	147.14	146.97	1.51	261.04	13.28
2017/4/19	1:15	147.14	146.96	1.51	261.11	13.27
2017/4/19	1:20	147.14	146.96	1.48	254.44	13.26
2017/4/19	1:25	147.13	146.95	1.45	250.04	13.25
2017/4/19	1:30	147.14	146.96	1.45	249.11	13.23
2017/4/19	1:35	147.13	146.96	1.49	256.29	13.23

連続観測結果1 (2015.11~2016.8; 258日間)



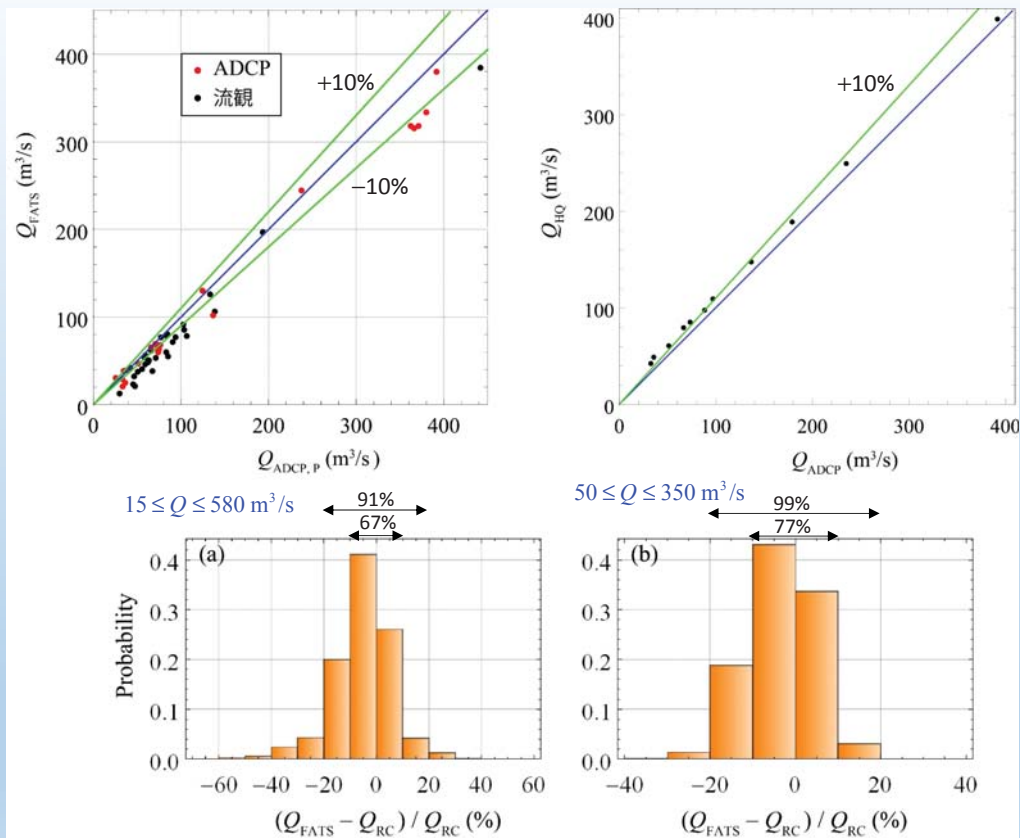
連続観測結果2 (2016.11~2017.3)



2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

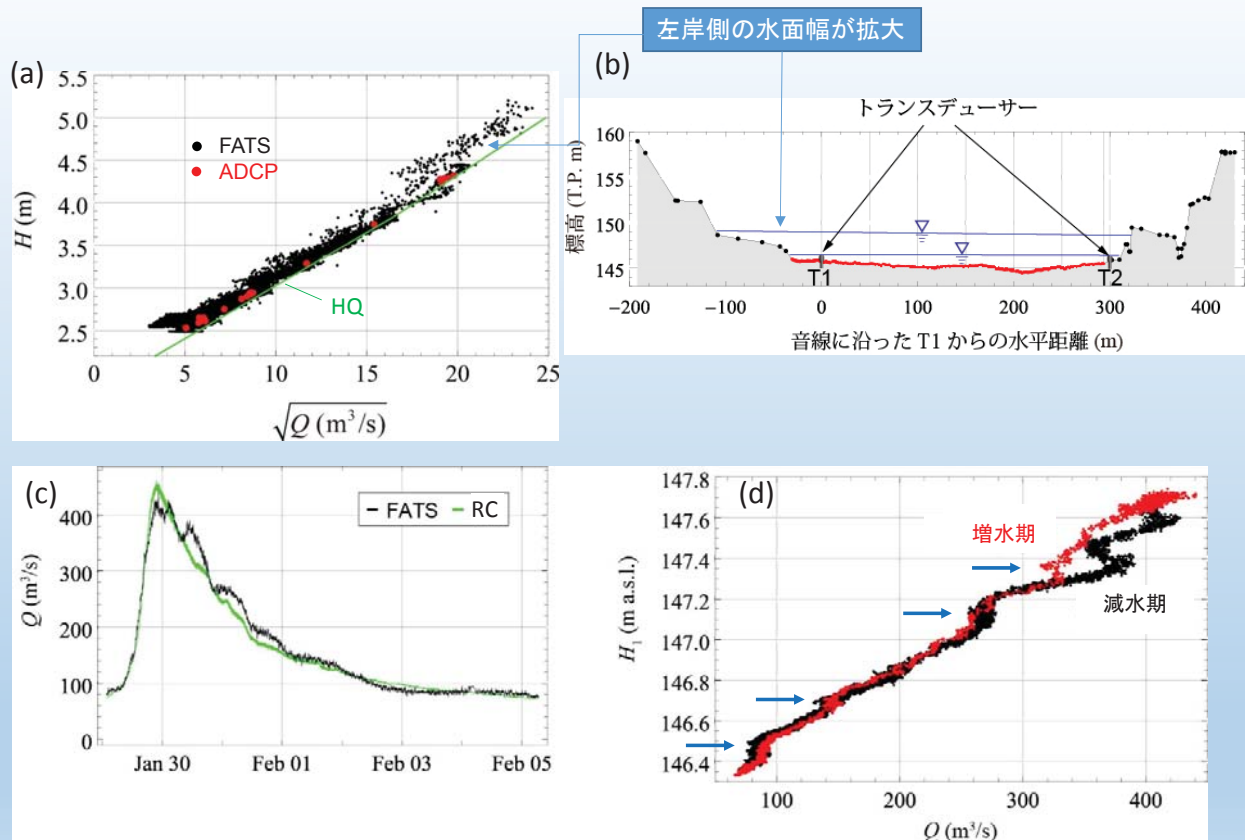
17



2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

18



2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

19

まとめ

- 開発に成功した河川音響トモグラフィシステム(FATS)に、無線伝送、インターネット接続機能を加えて、**流速・流量のリアルタイム自動観測システムを構築した。**
- 浅い礫床河川である江の川(広島県三次市)で長期連続観測を実施し、本自動観測システムの有効性を実証した。これまでの実証試験から、本観測システムを用いて、**継続的に河川流量を自動連続観測**できる可能性が高まった。
- 本自動観測システムは、従来の方法では観測できない流量の短時間変動をとらえていた。流量は水位とともになめらかに変化するとは限らないので、特定の水位でHQ流量の精度が悪化する可能性がある。
- 今後は多くの河川で観測事例を増やし、本自動観測システムの**実用化・製品化につなげたい。**

2017/5/24

河川情報センター 平成27年度研究助成成果
報告会

20

本技術に関する知的財産権

- 特許第5555904号
- 発明の名称：音響トモグラフィー計測システム及び音響トモグラフィー計測方法
- 出願番号：特願2010-244673
- 登録日：2014年6月13日
- 出願人：広島大学
- 発明者：川西 澄

関連発表論文リスト (2014–2017)

- Kawanisi, K., Al Sawaf, M.B., Kagami, J., Danial, M.M., Okuda, S. (2017). “A novel hydro-acoustic system for automated streamflow acquisition with high temporal resolution.” paper presented at HydroSenSoft2017, IAHR, Madrid, Spain, 25-31.
- Al Sawaf, M.B., Kawanisi, K. (2017), “A mountainous river flow fluctuation analysis using shallow-water acoustic tomography system.” Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), 73(4),19-24.
- Kawanisi, K., Zhu, X.-H., Fan, X., and Nistor, I. (2017). “Monitoring tidal bores using acoustic tomography system.” J. Coast. Res., 33(1), 96-104, doi:10.2112/JCOASTRES-D-15-00172.1.
- Kawanisi, K., Bahrainimotlagh, M., AlSawaf, M. B., and Razaz, M. (2016). “High-frequency streamflow acquisition and bed level/flow angle estimates in a mountainous river using shallow-water acoustic tomography.” Hydrol. Process., 30(13), 2247–2254, doi:10.1002/hyp.10796.
- Bahrainimotlagh, M., Kawanisi, K., Danial, M. M., AlSawaf, M. B., and Kagami, J. (2016). “Application of shallow-water acoustic tomography to measure flow direction and river discharge.” Flow Measurement and Instrumentation, 51, 30-39, doi:10.1016/j.flowmeasinst.2016.08.010.
- Al Sawaf, M. B., Kagami, J., Bahrainimotlagh, M., and Kawanisi, K. (2016). “Gauging river discharge with acoustic tomography system.” paper presented at 20th IAHR-APD, Colombo, Sri Lanka, 2016/8/29 (8/28-31).
- Razaz, M., Kawanisi, K., Kaneko, A., and Nistor, I. (2015). “Application of acoustic tomography to reconstruct the horizontal flow velocity field in a shallow river.” Water Resour. Res., 51(12), 9665-9678, doi:10.1002/2015WR017102.
- Kawanisi, K., Razaz, M., and BahrainiMotlagh, M. (2015). “Monitoring flow rate and salinity intrusion in a tidal floodway using fluvial acoustic tomography.” paper presented at The 36th IAHR World Congress, IAHR, The Hague, the Netherlands, 2015/7/2 (6/28-7/3).
- 川西澄, Zhu, X.-H., 久徳大貴, 石川和彦, 池田優雄, 宮本則幸 (2014). “河川音響トモグラフィーによる銭塘江のタイダルボア観測.” 土木学会論文集B1(水工学), 70, I_601-I_606.
- Kawanisi, K., and Razaz, M. (2014). “Acoustic investigations of unsteady salinity intrusion in a diversion channel.” paper presented at UA2014, pp. 101-108, Rhodes, Greece.