



Velocity dipを表現できる新しい鉛直流速分布モデルの提案

PROPOSAL OF A NEW VERTICAL VELOCITY DISTRIBUTION MODEL CAPABLE OF REPRESENTING VELOCITY DIP

井上 敬太(中央大学大学院)・手計 太一(中央大学)

1. はじめに

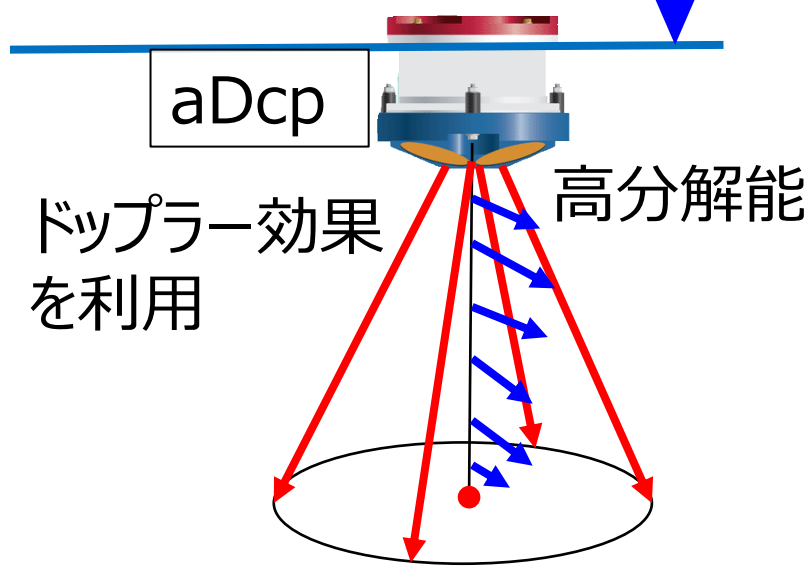
■ aDcp観測

トランスデューサー（超音波送受波器）から4つの超音波を放射し、水中懸濁物質からの反射波の位相差を検出して流向、**流速**を観測

平成24年aDcp(acoustic Doppler current profiler)などの活用方法が河川砂防技術基準に明文化
→利活用が全国に広がっている

利点

- 鉛直の**流速**データを観測可能
- 移動観測により綿密な断面の流速データを観測
- 精度の高い**流量**を算出可能



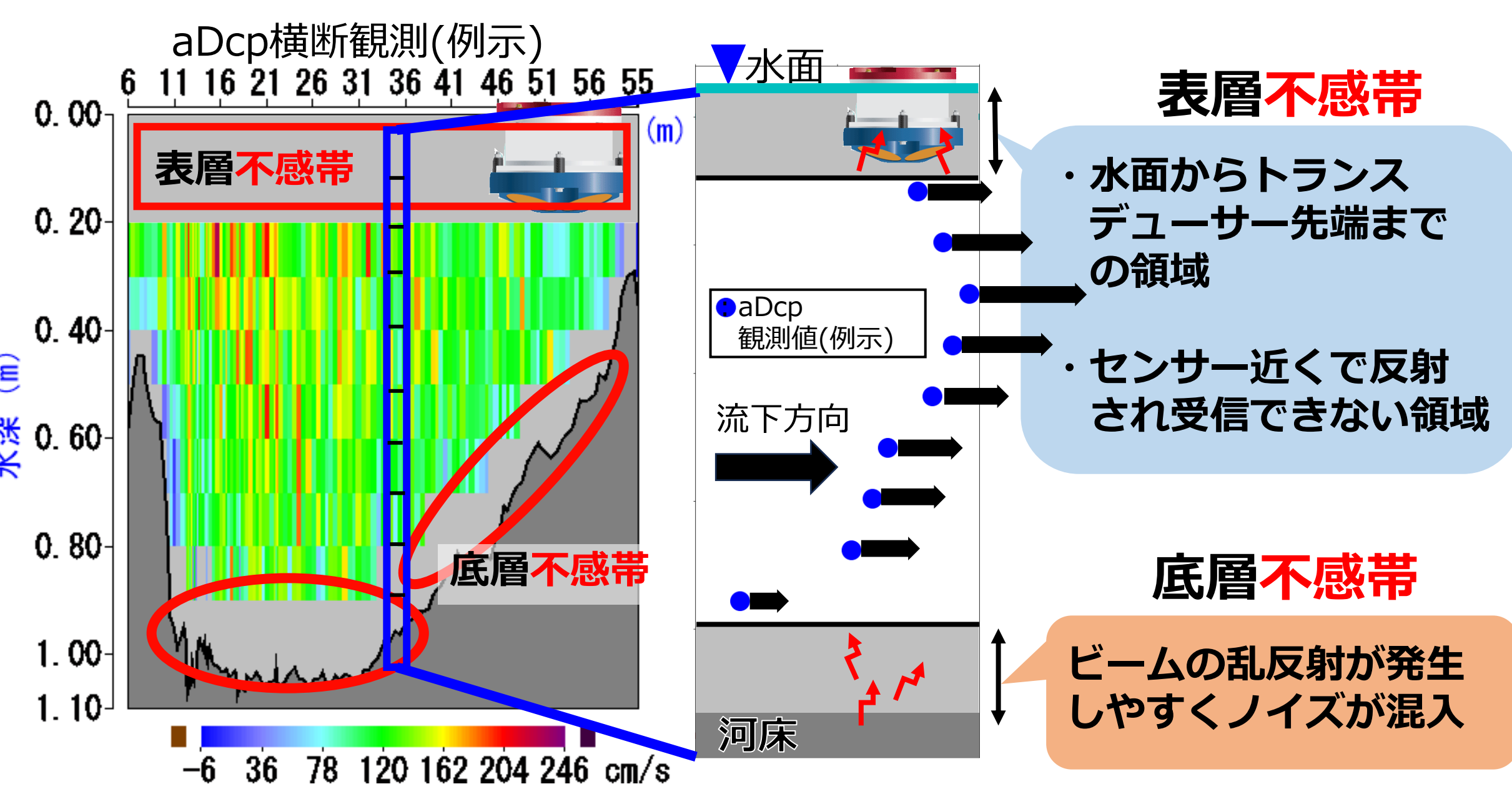
(出典：橋/ハイドロシステム開発を改変)

→: 4つのビームで検出された成分から算出される流向、流速

課題点

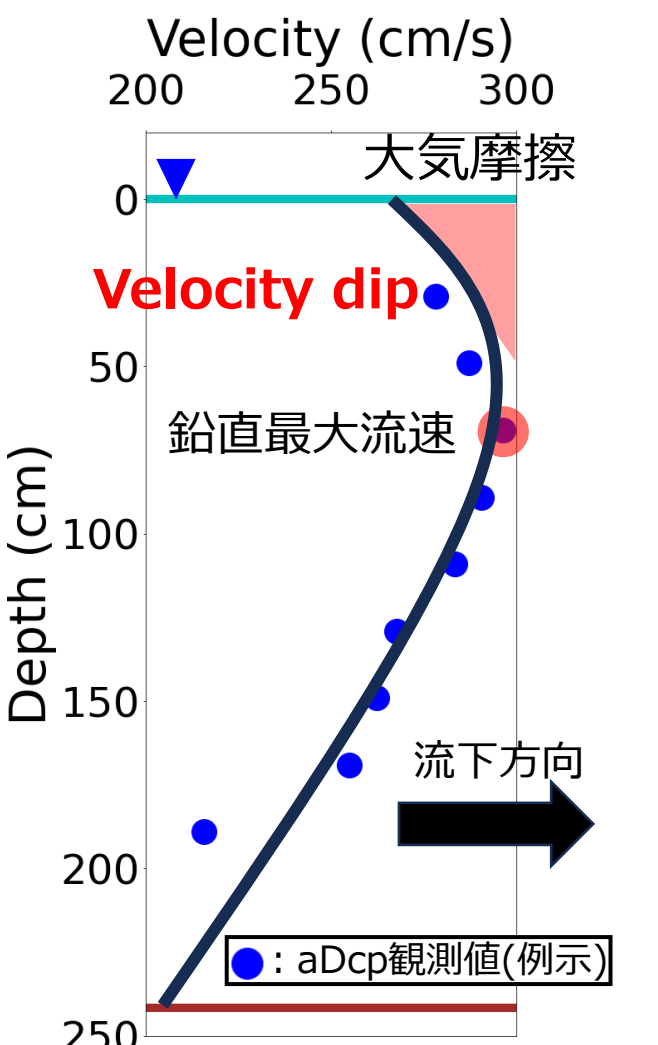
- 不感帯**が生じる

■ 不感帯



■ Velocity dip

Velocity dipとは
大気摩擦により最大流速が水面下で発生する現象



■ 従来の鉛直流速分布推定法

乱流対数則 $u(y) = u_* \left\{ \frac{1}{k} \ln \frac{y}{y_0} + A \right\}$

水面に向かい単調増加
最大流速は**水面**で発生

二次関数法 $u(z) = az^2 + bz + c$

Velocity dipを再現
河床の流速条件の違いを柔軟に反映

Power法 $u(z) = az^b$

最大流速は**水面**で発生

MEM $u(y) = \frac{u_{max}}{M} F\left(M, \frac{h}{H}, \frac{y}{H}\right)$

Velocity dipを再現

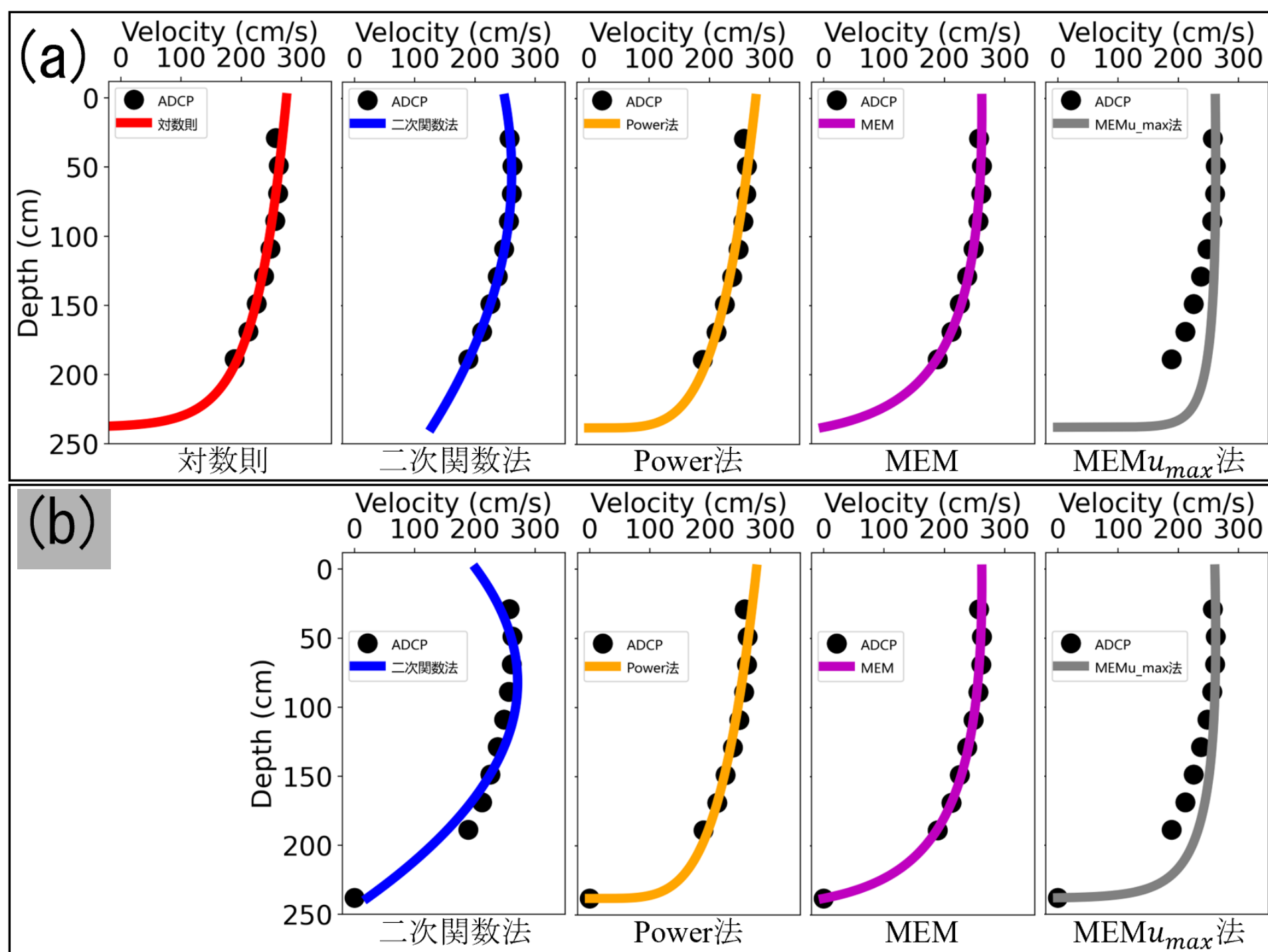
MEM u_{max} 法 $u(y) = \frac{u_{max}}{M} F\left(M, \frac{h}{H}, \frac{y}{H}\right)$

Velocity dipを再現

※MEM u_{max} 法は観測値に基づき直接設定しており、パラメータの最適化は実施していない

- それぞれの手法で一長一短がある
- Velocity dip**を十分に再現できない

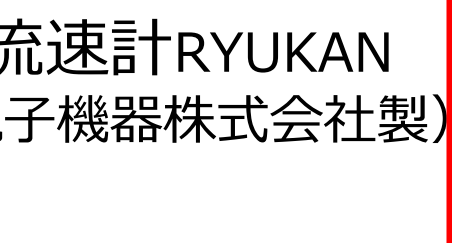
ADCP観測値(例示)と、最適化を行った従来法4手法および観測値を与えたMEM u_{max} 法で推定した鉛直流速分布の比較
(上段a)河床に流速値を与えない場合、(下段b)河床に流速0 m/sを与えた場合)



目的 Velocity dipを表現可能な新たな鉛直流速分布モデルを提案すること

2. 使用データ

ADCP(WhADCP1200kHz, TELEDYNE RD INSTRUMENTS製) 電波式流速計RYUKAN (横河電子機器株式会社製)



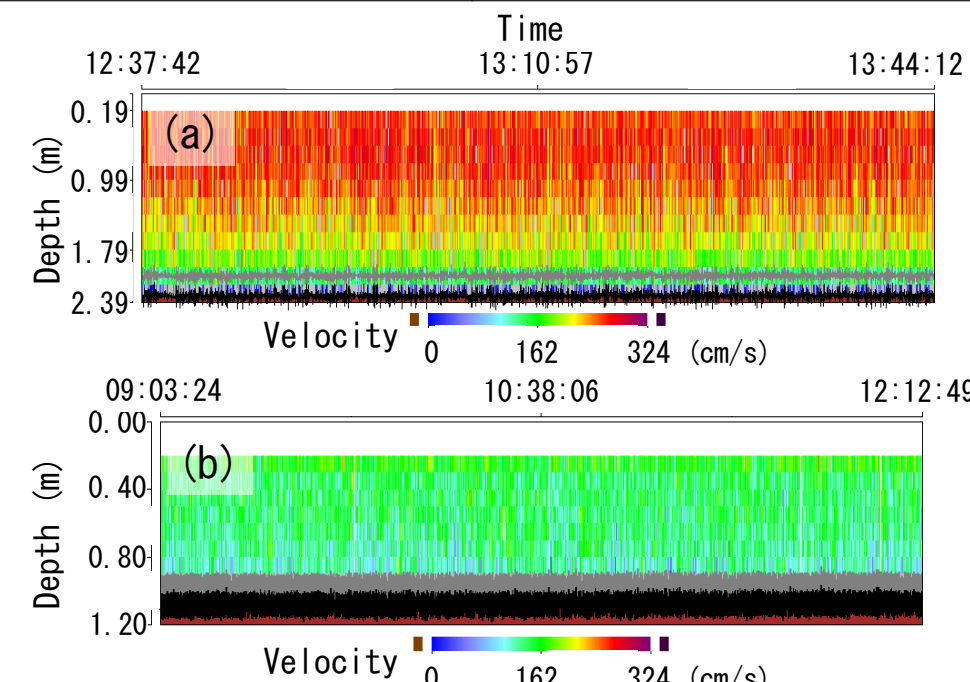
ADCPの観測設定コマンド	
計測モード	利根川, 魚野川
Mode 12 Sub-Pings	12
計測層厚	0.2 m
計測層数	3
アンサンブルタイム	1.58 sec
ウォーターピング数	50
ボトムトラック数	3
ボトムピング数	3
固定観測における流速誤差の標準偏差	8.51 cm/s
計測コーディネーション	アースコーディネート

■ **利根川**
観測地点：八斗島 坂東大橋
観測日：2022/8/6

- ADCPの観測値 **2,508アンサンブル**データ ($\Delta t=1.58$ 秒)
- 電波式流速計の観測値 **2,508個**のデータ ($\Delta t=2.0$ 秒)

■ **魚野川**
観測地点：根小屋橋
観測日：2024/8/27

- ADCPの観測値 **7,723アンサンブル**データ ($\Delta t=1.58$ 秒)
- 電波式流速計の観測値 **7,723個**のデータ ($\Delta t=1.0$ 秒)

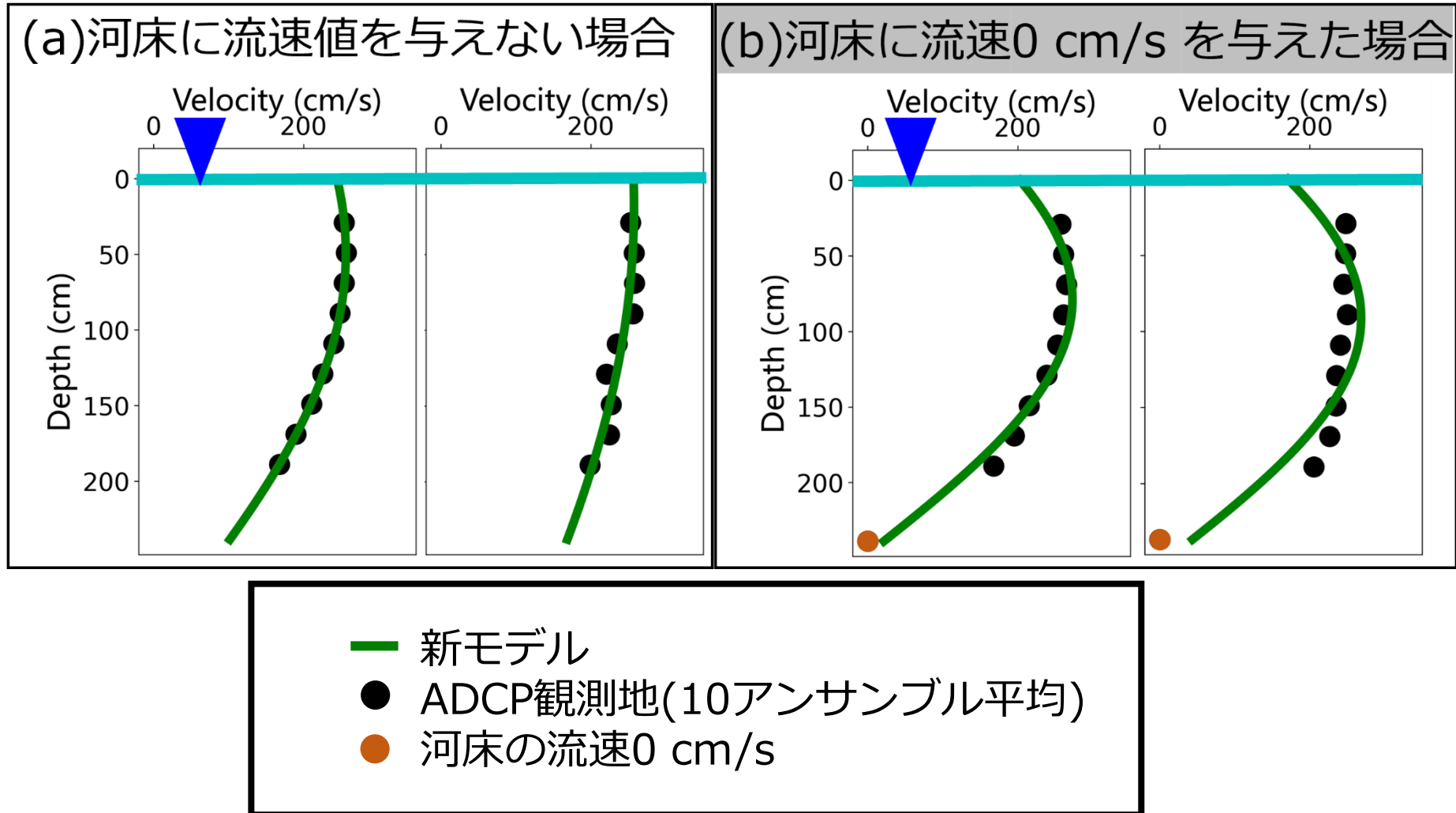


(a)利根川の坂東大橋地点、(b)魚野川の根小屋橋地点においてADCPで観測した鉛直流速分布の時系列

3.新しい鉛直流速分布モデル

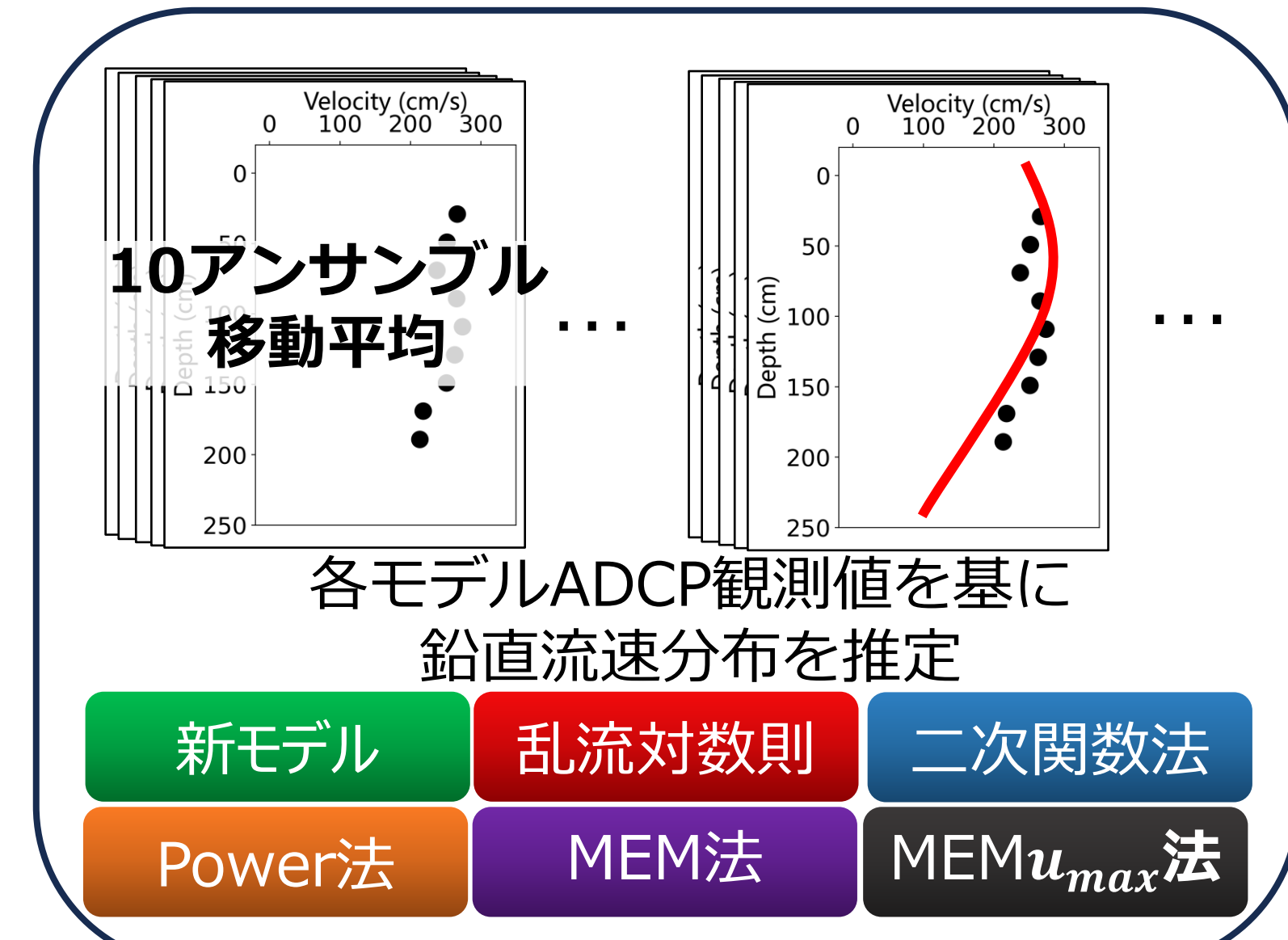
新モデル $v = a \sin(bz + c)$

新モデルを用いた鉛直流速分布、各2ケース



- どちらの場合も**Velocity dip**を再現
- 河床に流速0 cm/sを与えた場合、河床の流速0 cm/sに引っ張られることで曲率が大

4. 解析手法

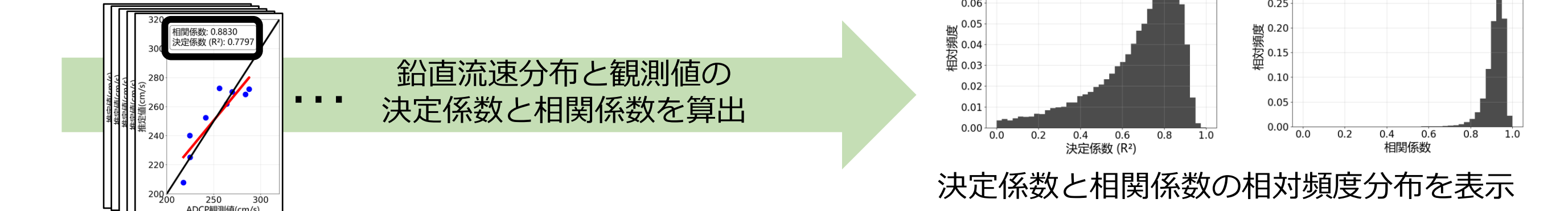


各モデルADCP観測値を基に鉛直流速分布を推定

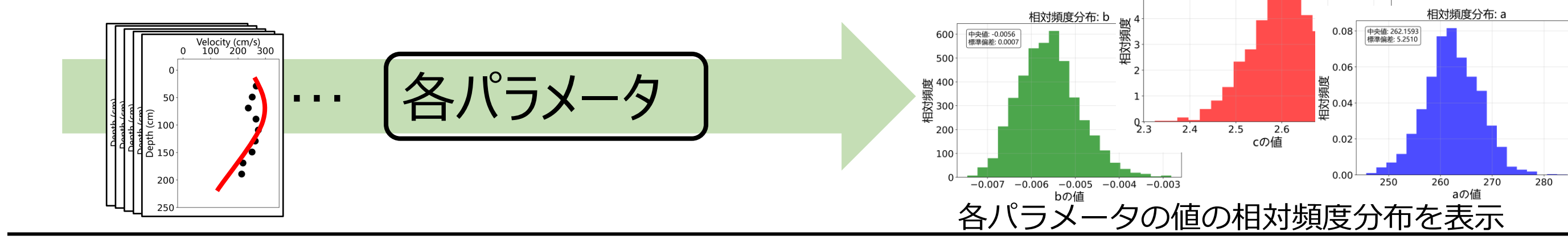
新モデル Power法 乱流対数則 MEM法 二次関数法 MEM u_{max} 法

※(a)河床に流速値を与えない場合、(b)河床に流速0 cm/sを与えた場合の2通りを検討

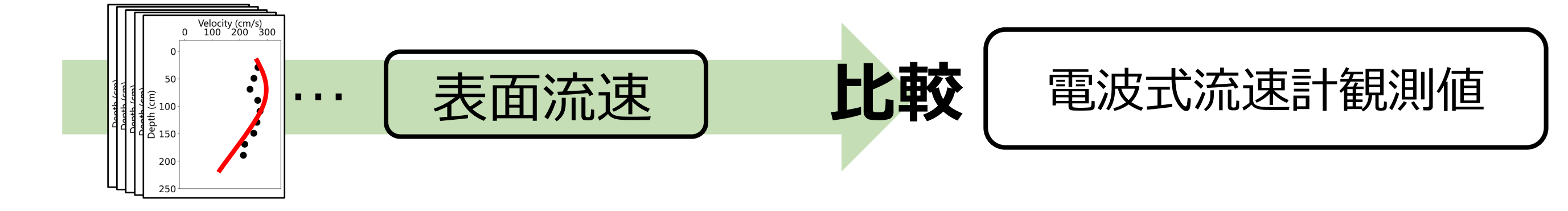
・決定係数と相関係数の比較



・各パラメータの比較



・各手法表面流速の比較



5. 結果

■ ADCP観測値の再現性とパラメータの不確実性の評価

手法	決定係数		相関係数		Velocity dipの再現	パラメータの評価			
	中央値	標準偏差	中央値	標準偏差		パラメータ	中央値	標準偏差	
(a) ADCP観測データの再現性	対数則法	0.94	0.04	0.97	0.02	×	u_*	20.48	2.78
							y_0	33.17	23.76
							a	0.00	0.00
							b	1.44	0.27
							c	128.17	17.34
	2次関数法	0.98	0.01	0.99	0.01	○	a	84.96	14.26
							b	0.22	0.03
							M	2.32	0.69
							h	231.06	34.72
							u_{mean}	238.95	5.48
(b) ADCP観測データに河床に0 cm/sを与えた場合の再現性	Power法	0.92	0.04	0.96	0.02	×	u_{max}	263.95	5.62
							H	238.20	1.00
							M	10.60	1.81
							h	49.00	15.18
							a	262.16	5.25
	MEM	0.97	0.02	0.99	0.01	○	b	-0.01	0.00
							c	2.61	0.07
	MEM u_{max} 法	-0.44	0.15	0.98	0.02	○	a	-0.01	0.00
							b	3.20	0.13
							c	22.09	3.03
(c) 新モデル	2次関数法	0.98	0.02	0.99	0.01	○	a	84.96	14.26
							b	0.22	0.03
							M	2.32	0.69
							h	231.06	34.72
							u_{mean}	238.95	5.48
	Power法	0.92	0.04	0.96	0.02	×	u_{max}	263.95	5.62
							H	238.20	1.00
							M	10.60	1.81
							h	49.00	15.18
							a	262.16	5.25

：決定係数、相関係数
それぞれ中央値上位3つ

■ 利根川

(a)河床に流速値を与えない場合

新モデル
決定係数の中央値が一番**大**
相関係数は上位2つ内

(b)河床に流速値を与える場合

MEM
決定係数と相関係数どちらも中央値が一番**大**

パラメータの評価

- MEM**のhはばらつきがあり不確実性
が大きい
- そのほかのモデルは比較的ばらつきは小さい

■ 魚野川

(a)河床に流速値を与えない場合

対数則
決定係数の中央値が一番**大**
相関係数は上位2つ内
新モデル含め、他手法も0.8を超える
程度の再現性

(b)河床に流速値を与える場合

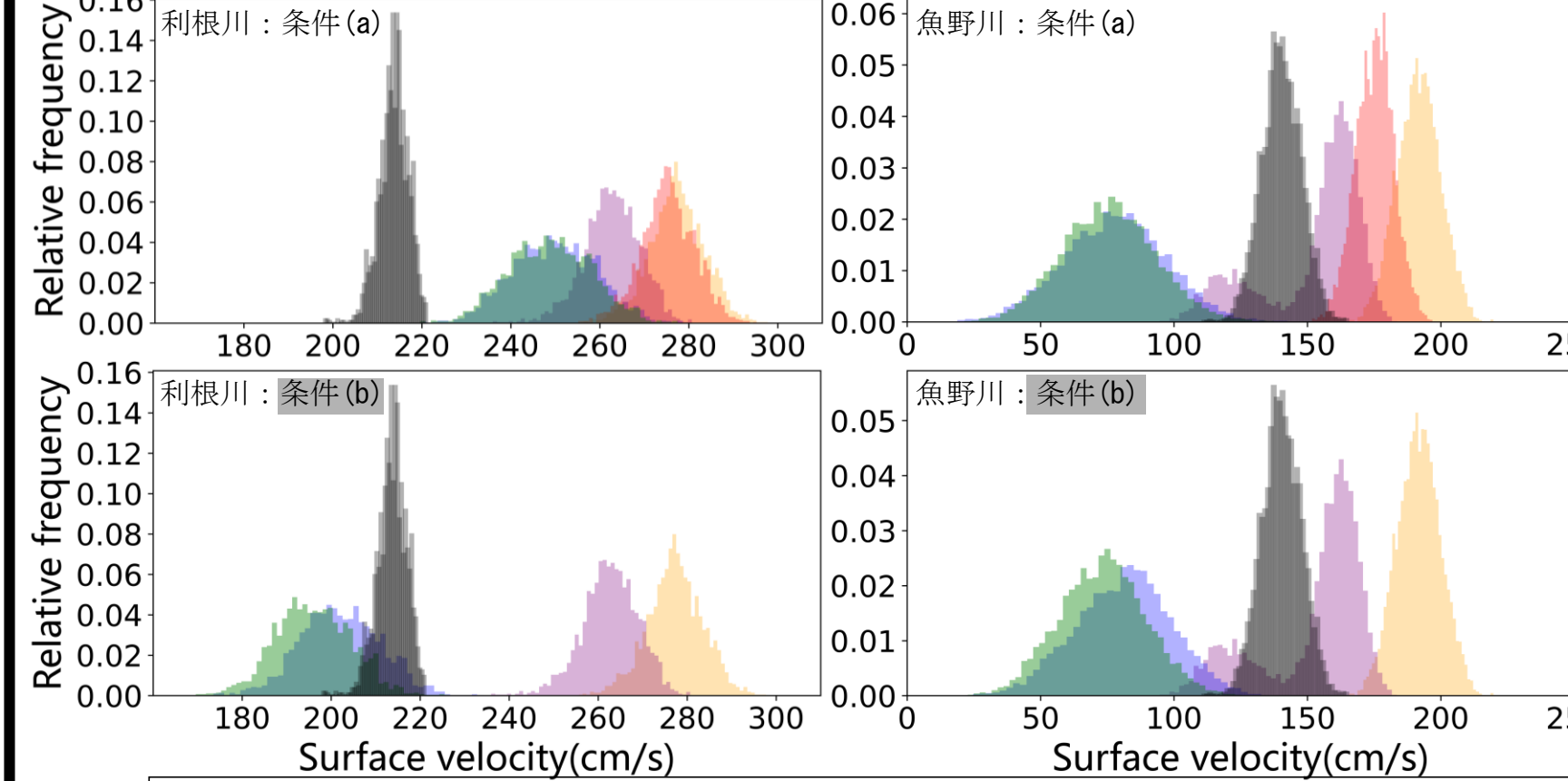
新モデル含めすべての手法で相関係数、決定係数が0.8を超える

パラメータの評価

- 外れ値は特になく比較的ばらつきは小さい

■ 表面流速の再現性の評価

利根川および魚野川の電波式流速計の観測値と推定した表面流速の相対頻度分布
(a)河床に流速値を与えない場合、(b)河床に流速0 cm/sを与えた場合)



		利根川 (cm/s)				
観測値		対数則法	二次関数法	power法	MEM	新モデル
中央値	a	275.3	249.8	277.3	262.9	248.7
	b	201.8	277.3	262.9	195.8	
標準偏差	a	6.0	9.4	6.2	6.3	9.3
	b	9.0	6.2	6.3	8.5	

		魚野川 (cm/s)				
観測値		対数則法	二次関数法	power法	MEM	新モデル
中央値	a	175.5	78.1	191.8	159.3	75.6
	b	82.1	191.8	159.3	73.6	
標準偏差	a	7.1	19.4	8.1	18.9	17.6
	b	17.9	8.1	18.9	16.1	

- **利根川**
 - ・**二次関数法**(b)観測値の中央値に**最も近い値**
 - ・次いで**新モデル**(b),(a)が観測値の中央値に近い

- **魚野川**
 - ・**MEM**(a),(b)の推定値が観測値に**最も近い値**
 - ・**対数則**も観測値と35.3 cm/sの差で比較的良好な再現性
 - ・**新モデル**と**二次関数法**はいずれも過小評価が顕著

Velocity dipの影響が小さい魚野川では適用に慎重な検討が必要

6. まとめ

- 新モデルは異なる流況条件においても安定した適用が可能であり、鉛直流速分布モデルとしての汎用性を有することが示唆された。
- 一方、推定された鉛直流速分布から導出した表面流速と、電波式流速計による観測値との比較においては、利根川では新モデルおよび二次関数法が観測値に近い分布を示したが、魚野川では新モデルが観測値を過小に評価し、表面流速の再現性に課題が認められた。

以上より、本研究で提案した新しい鉛直流速分布モデルはVelocity dipを含む鉛直流速構造の再現に優れ、特にADCPデータに対して高い再現性を有していると評価できる。