

リモートセンシングを活用した 水域における透明度分布の 高頻度測定手法の開発

研究代表者

福島武彦(筑波大学)

研究分担者

松下文経(筑波大学)

非常勤研究員

吉村和也(筑波大学)

研究成果(2009-2011年度)

1. 衛星による水質解析手法

Matsushita et al. (2009) J. Remote Sensing Soc. Japan

Yang, et al. (2010) IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters

Yang, et al. (2011a) Remote Sensing of Environment

Yang, et al. (2011b) IEEE Transactions of Geoscience and Remote

Terrel et al. (submitting)

2. 透明度モデル

Terrel et al. Limnology (in press)

3. 大気補正方法

Zhu et al. (2012) Int. J. Remote Sensing

4. 水中粒子特性

Oyama et al. (2010) Int. J. Remote Sensing

Yoshimura et al. a Hydrobiologia (in press)

Yoshimura et al. b Hydrobiologia (submitting)

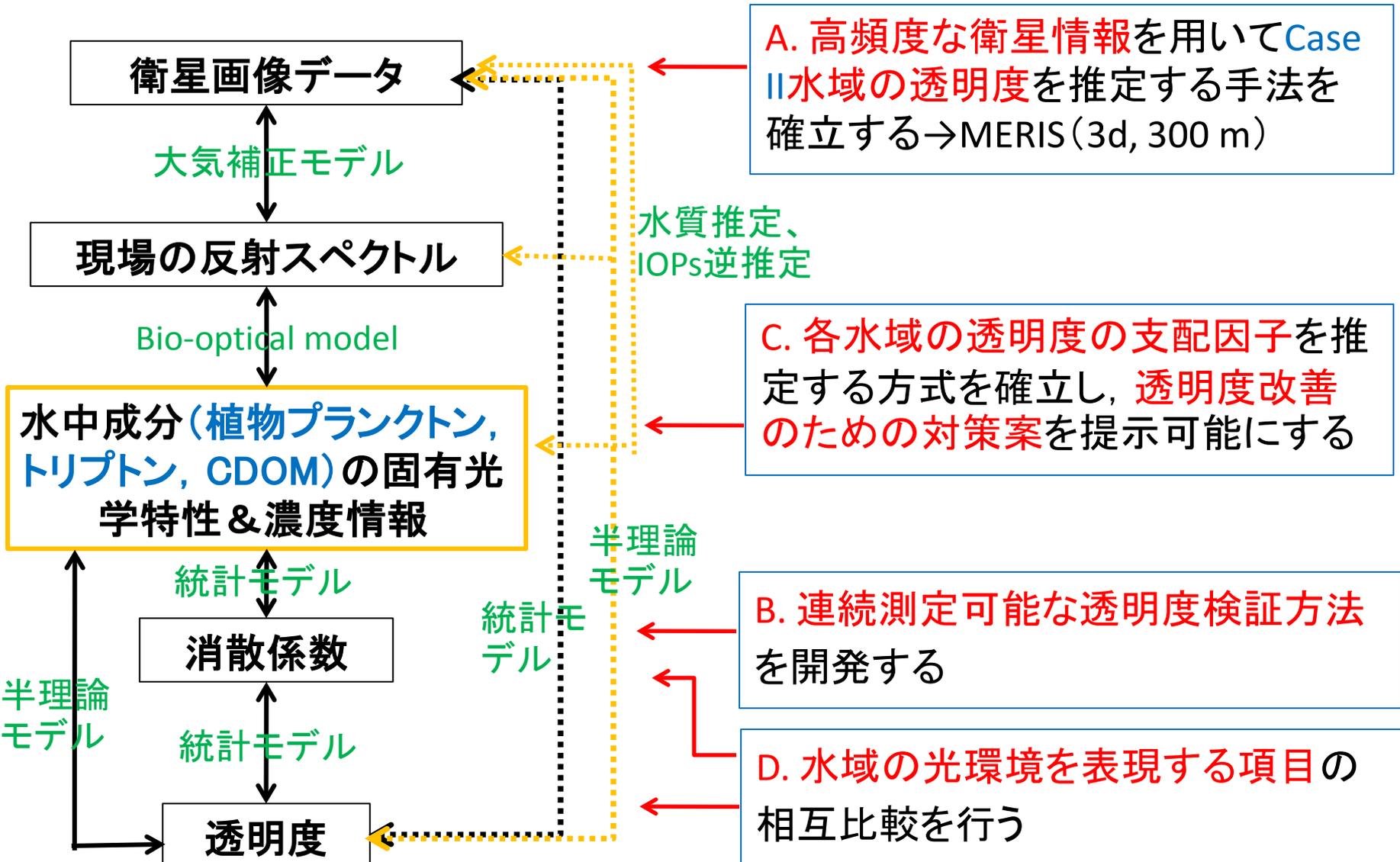
Yoshimura et al. c Limnology (submitting)

5. 総説

福島・松下(2009)遺伝

福島・松下(2011)水環境学会誌

全体の流れと目的・達成目標



A. リモセンによる透明度推定アルゴリズム

A-1 (1) 衛星反射率 → 水質成分予測

For turbid waters

- **SAMO-LUT** (Semi-analytical Model-Optimizing and Look-Up-Table) (Yang et al. 2011a) : SIOPs情報必要
- **RMIM** (Relaxed Matrix Inversion Method) (Yang et al. 2011b) : 現地観測データ必要

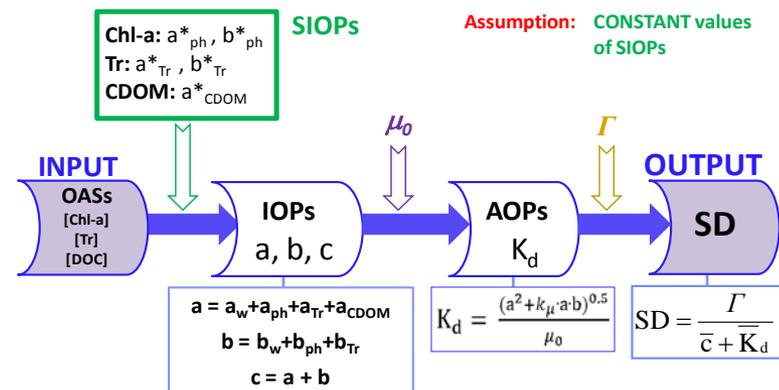
(2) 水質成分から透明度予測 (Meylin et al. in press)

統計モデル

$$SD^{-1} = a_1 \cdot [Chla] + a_2 \cdot [Tr] + a_3 \cdot [DOC] + b_1$$

長期データが必要

- **Semi-analytical model**
SIOPs情報が必要



A-2. 衛星画像反射率→各成分情報→透明度

Meylin et al. (submitting)

◆ Chl-a 推定モデル (二波長指標):

For turbid waters $Chla = p \times [R_{rs}(B_9) / R_{rs}(B_7)] + q$

For clear waters $Chla = p \times [R_{rs}(B_5) / R_{rs}(B_3)] + q$

◆ トリプトン推定モデル:

For turbid waters $Tr = m \times R_{rs}(B_9) + n$

For clear waters $Tr = m \times R_{rs}(B_5) + n$

◆ CDOM推定モデル:

For turbid waters $a_{CDOM}(440) = a \times [R_{rs}(B_7) / R_{rs}(B_5)] + b$

For clear waters $a_{CDOM}(440) = a \times [R_{rs}(B_1) / R_{rs}(B_2)] + b$

$B_1, B_2, B_3, B_5, B_7,$ and B_9 はそれぞれMERISバンド 1 (412 nm), 2 (443 nm), 3 (490 nm), 5 (560 nm), 7 (665 nm) and 9 (705 nm)

A-2. つづき

- 低濁度水域における透明度の推定モデル：

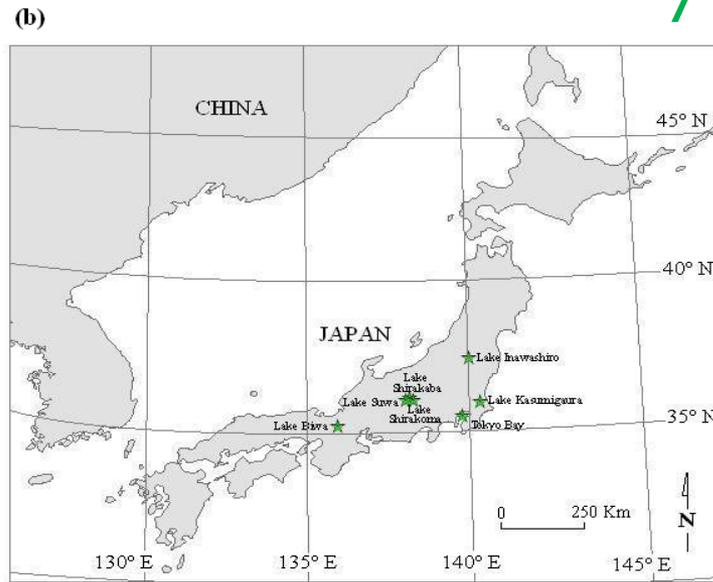
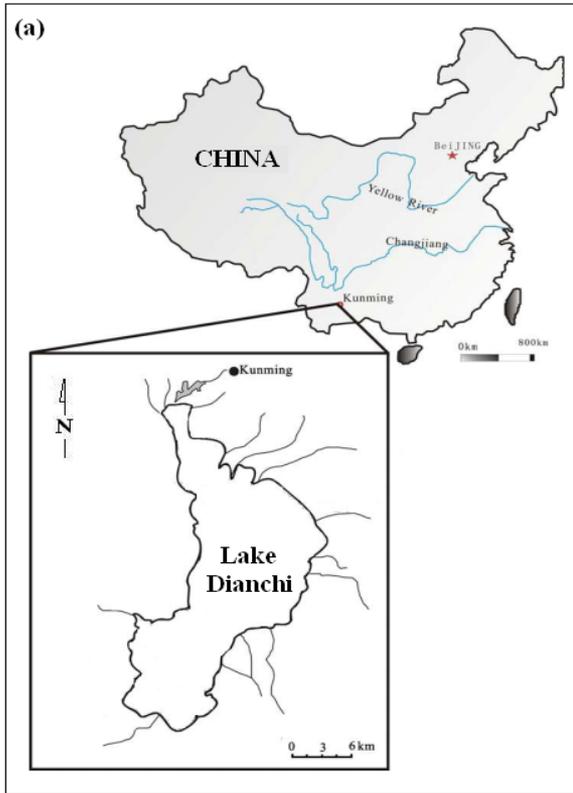
$$SD^{-1} = a_1 \cdot \frac{B5}{B3} + a_2 \cdot B5 + a_3 \cdot \frac{B1}{B2} + b_1$$

- 高濁度水域における透明度の推定モデル：

$$SD^{-1} = a_1 \cdot \frac{B9}{B7} + a_2 \cdot B9 + a_3 \cdot \frac{B7}{B5} + b_1$$

- 二つの工夫点：① 2つの水域に分けること、
② 濃度の代わりにリモセン指標直接使用

研究対象水域

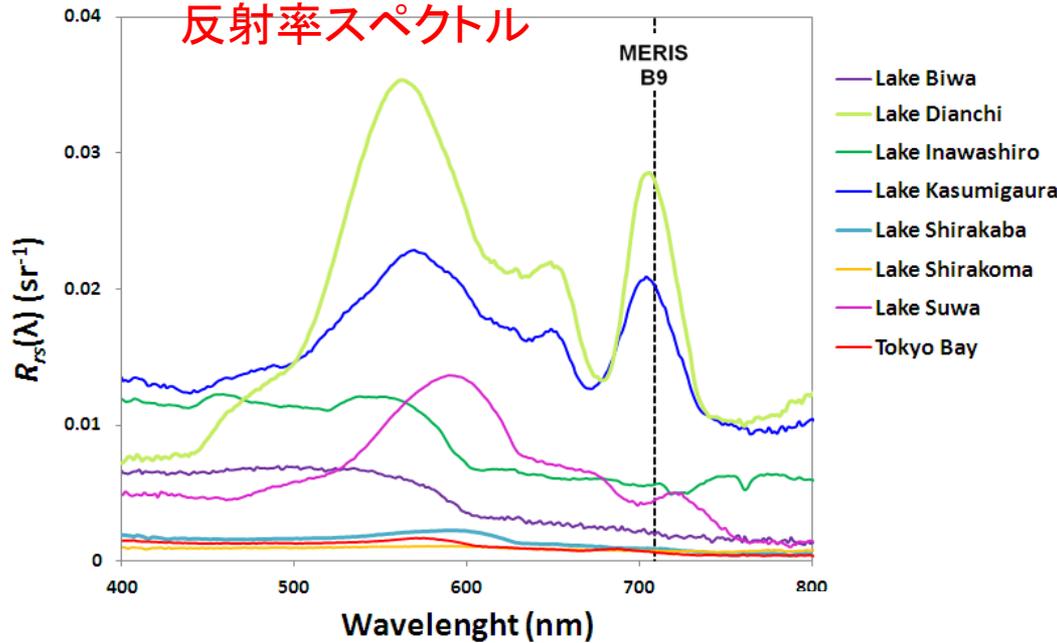


7つの湖+東京湾

Waterbody	Description	Surface area (km ²)	Residence time (year)	Mean depth (m)	Max depth (m)	Secchi depth range (m)	OASs concentration range		
							Chl-a (g l ⁻¹)	Tr (mg l ⁻¹)	DOC (mg l ⁻¹)
Lake Biwa	Mesotrophic	616	5.5	45.5	104	[2.3-10.7]	[0.61-7.03]	[0.18-2.63]	[1.16-1.55]
Lake Dianchi	Eutrophic	300	6.5	4.3	11.3	[0.34-0.4]	[55.6-96.2]	[22.2-29.3]	[0.96-7.04] ³
Lake Inawashiro	Oligotrophic	104	5.4	37	94.6	[9.3-10]	[0.61-0.73]	[0.80-0.90]	[0.65-0.73]
Lake Kasumigaura	Eutrophic	171	0.60	4.0	7.0	[0.4-0.8]	[36.6-91.7]	[10.8-29.78]	[1.82-4.39]
Lake Shirakaba ¹	Eutrophic	0.35	0.23	2.7	9.0	3.5	2.34	2.40	1.29
Lake Shirakoma ¹	Oligo-dystrophic	0.11	0.26	4.2	8.6	4.5	1.09	0.90	2.87
Lake Suwa	Eutrophic	13.3	0.11	4.7	7.2	[1.6-1.9]	[9.8-11.4]	[2.88-4.08]	[1.12-1.38]
Tokyo Bay ²	Eutrophic	960	0.08	15	50	[1.9-5.5]	[2.85-32.02]	[1.47-4.10]	[1.65-3.00]

水域区分：高濁度と低濁度

反射率スペクトル

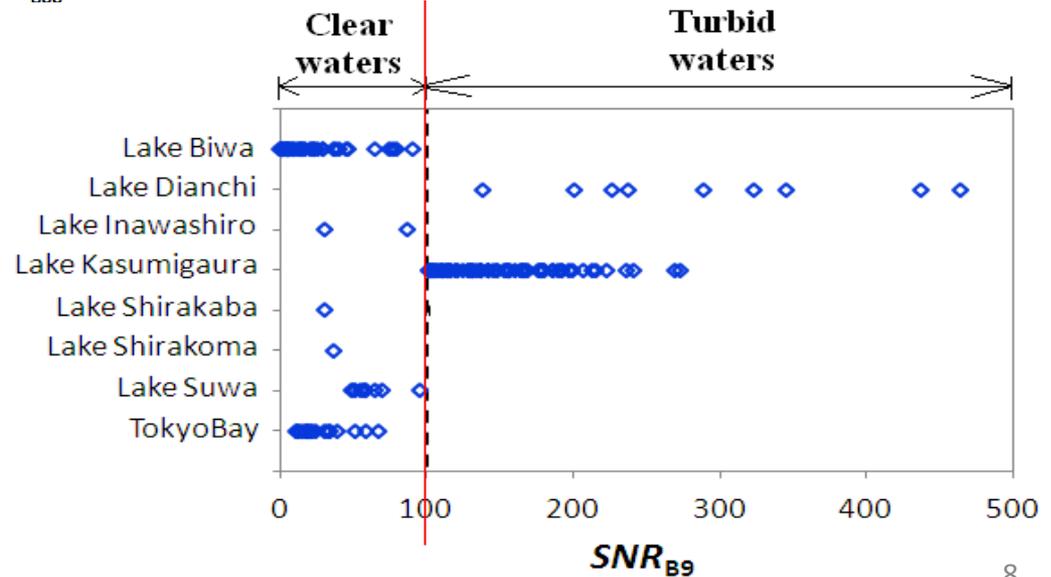


$$\text{SNR}_{\text{B9}} = R / N \geq 100: \text{Turbid}$$

$$\text{SNR}_{\text{B9}} = R / N < 100: \text{Clear}$$

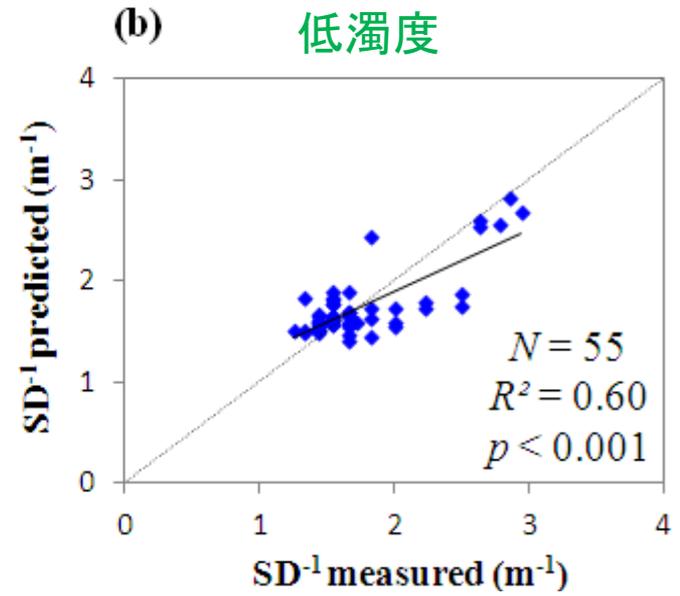
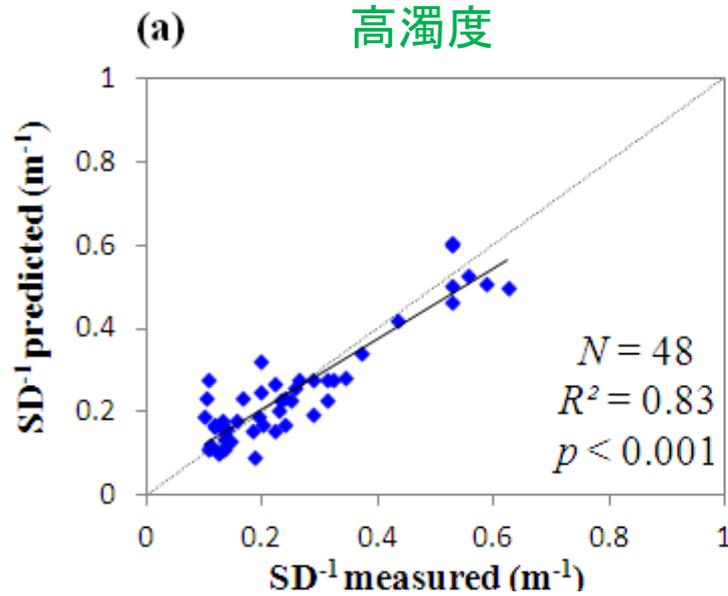
R: water-leaving radiance

N: noise equivalent radiance

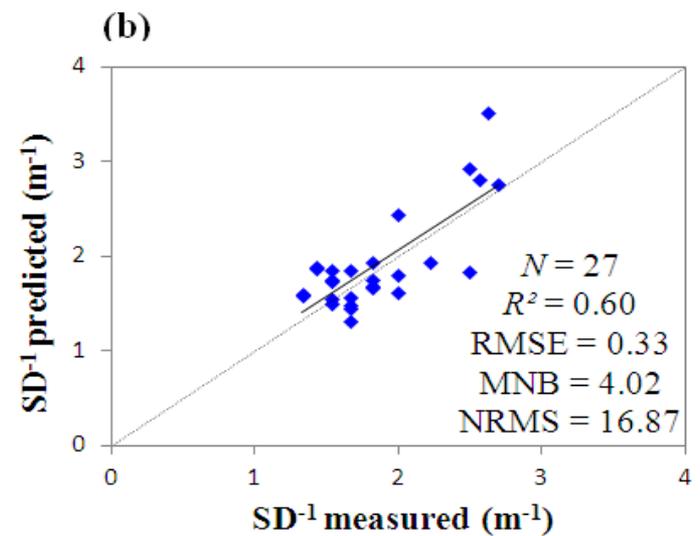
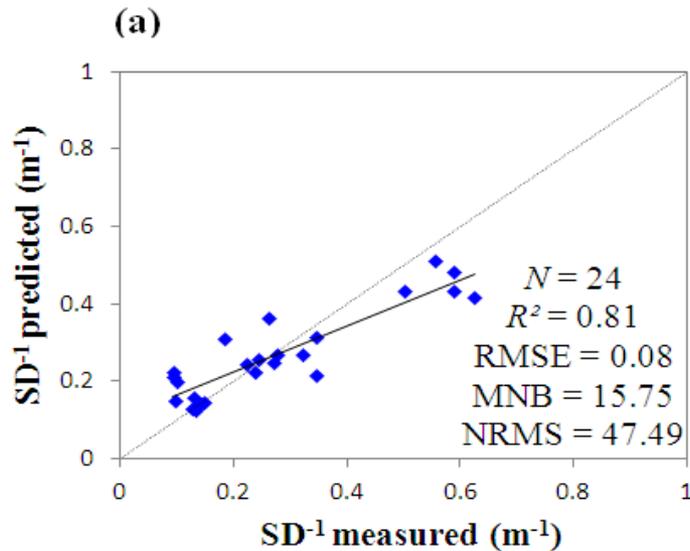


Calibration and validation

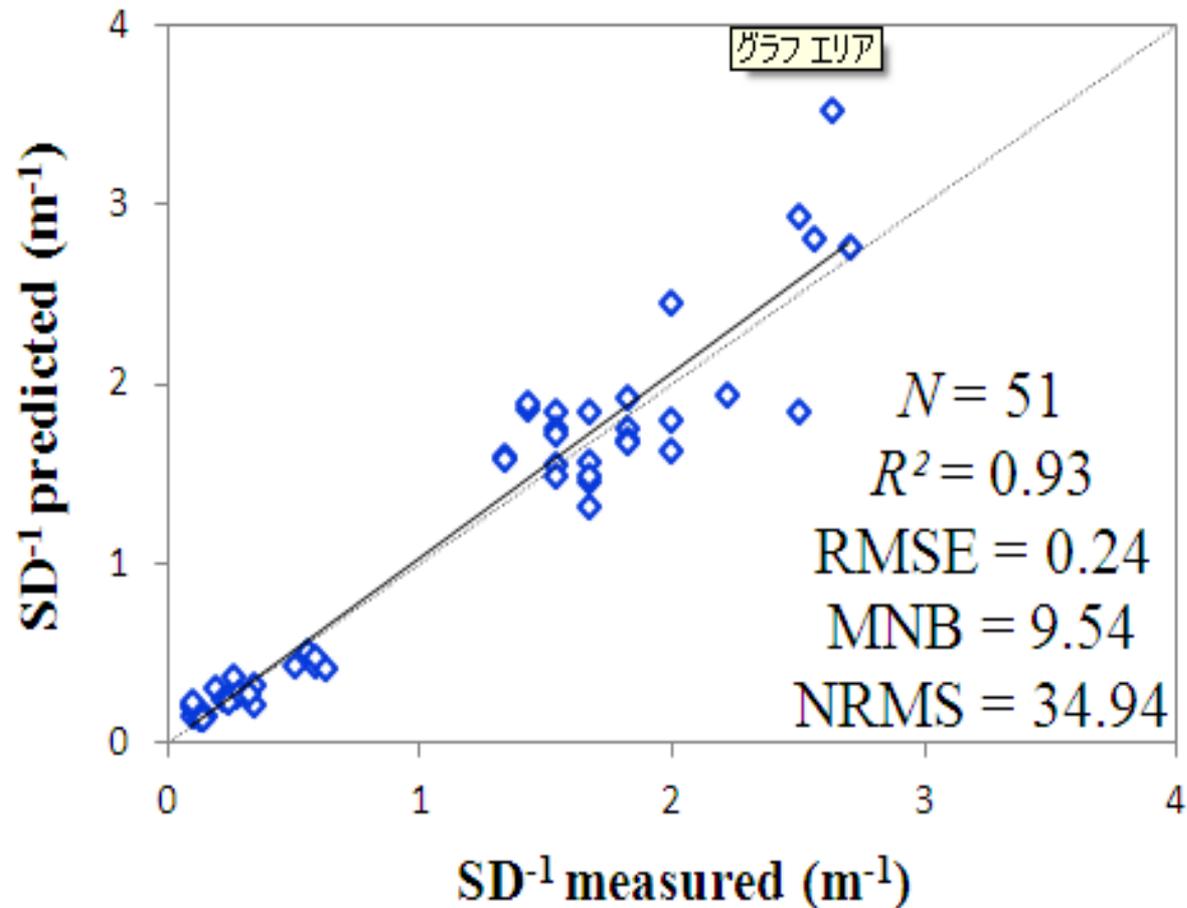
Calibration



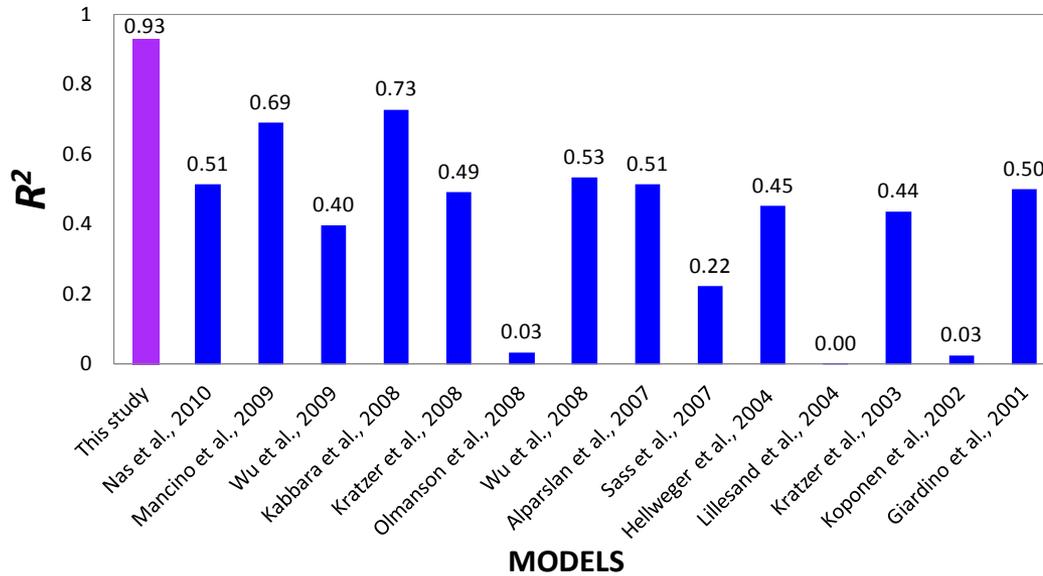
Validation



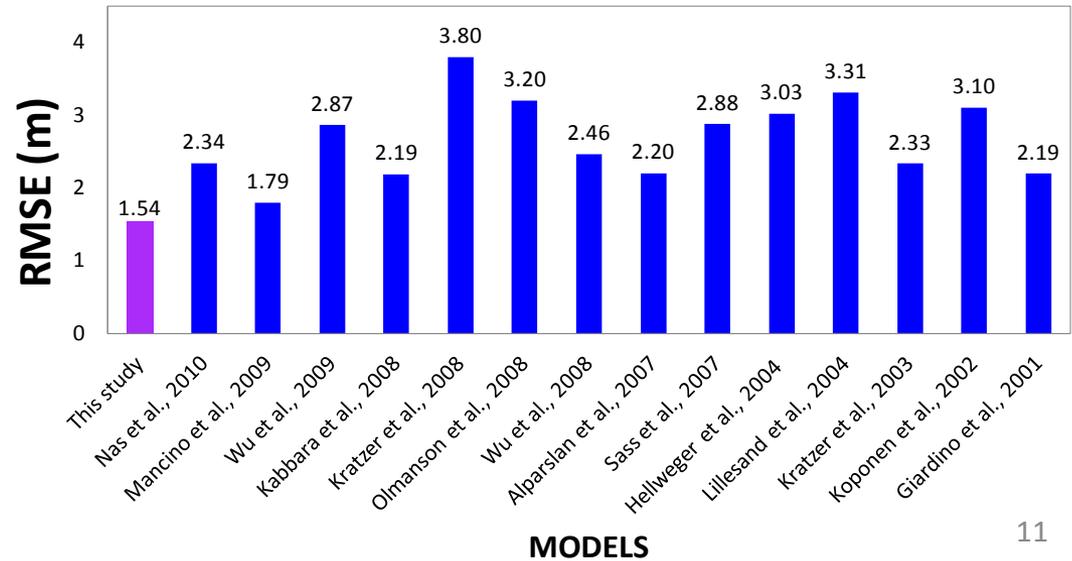
全領域での適合度



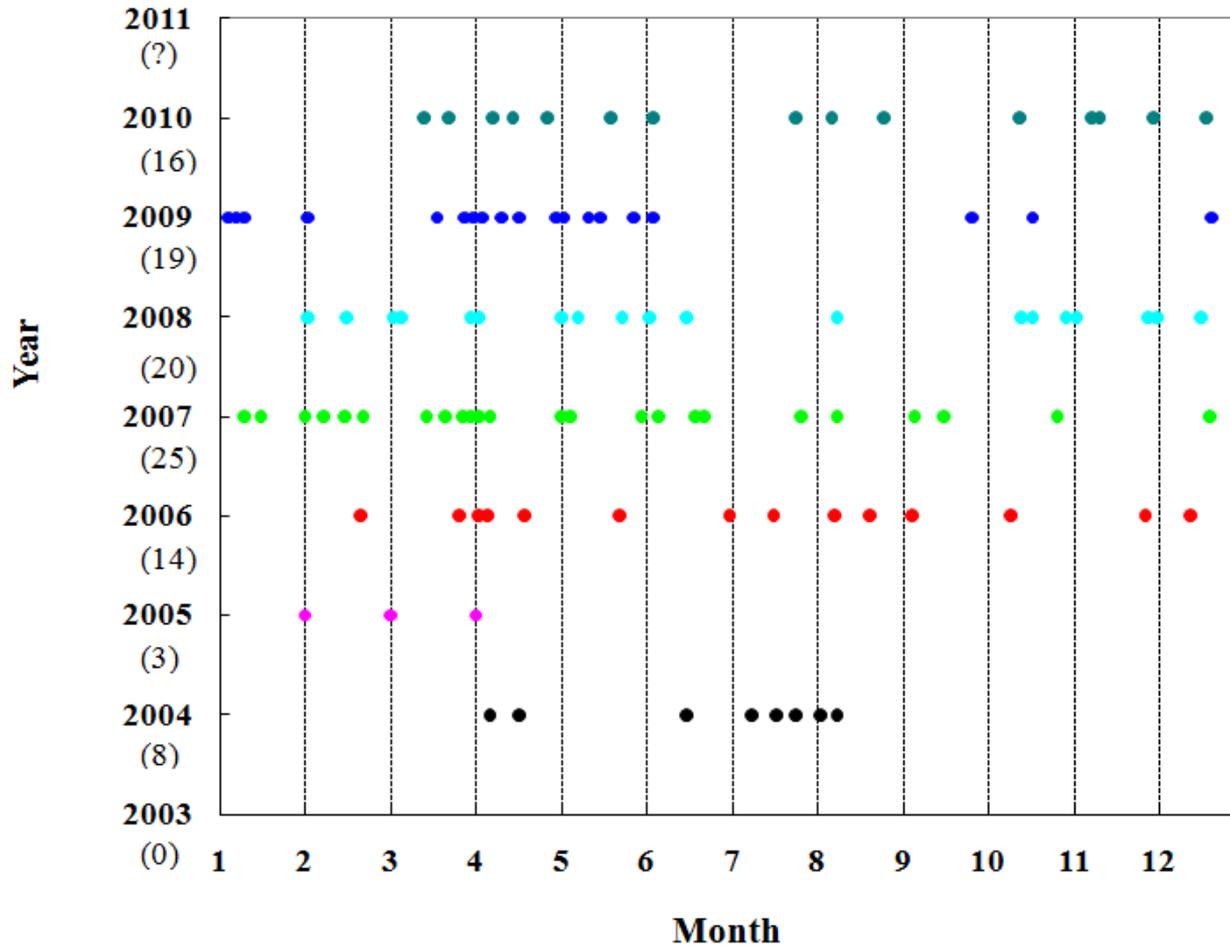
従来のアプローチとの比較



誤差は最小！

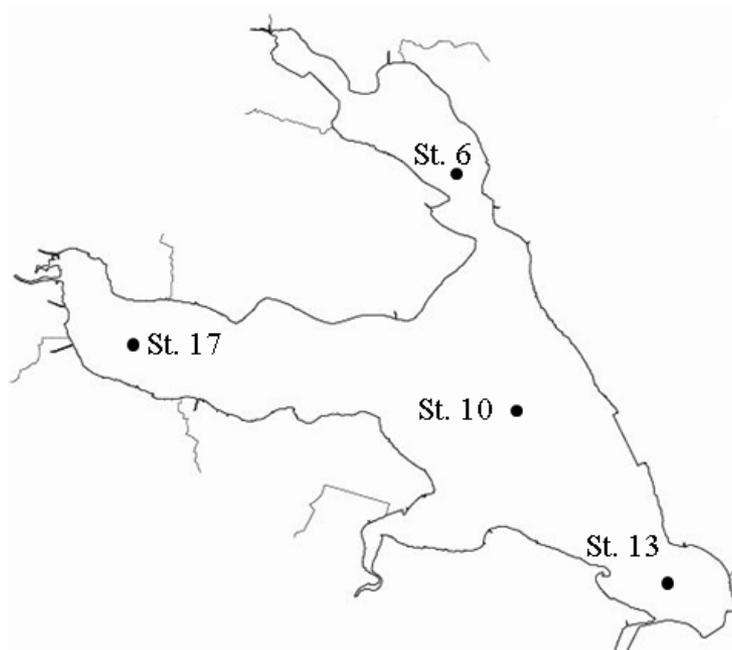


霞ヶ浦における収集したMERIS画像

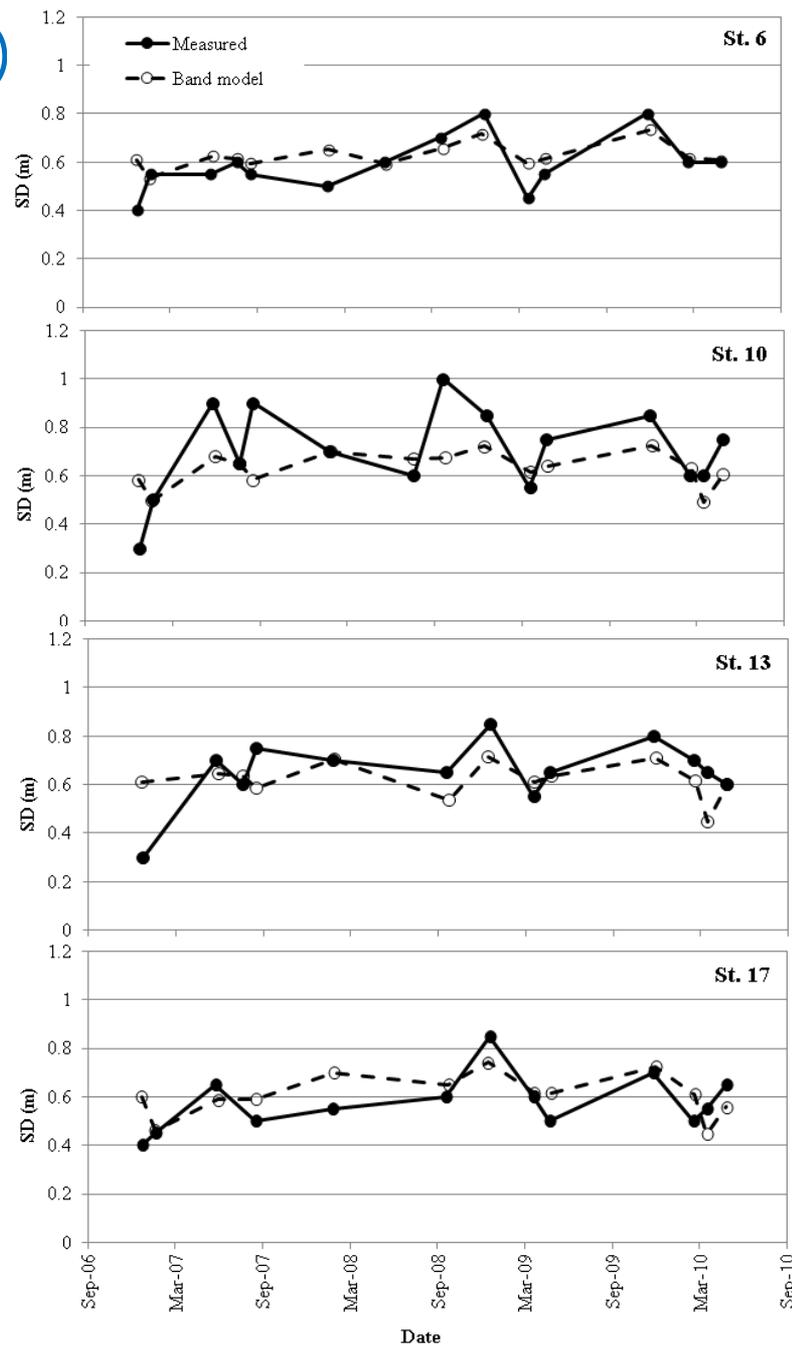


計: 105枚MERIS画像

透明度経時変化(霞ヶ浦)

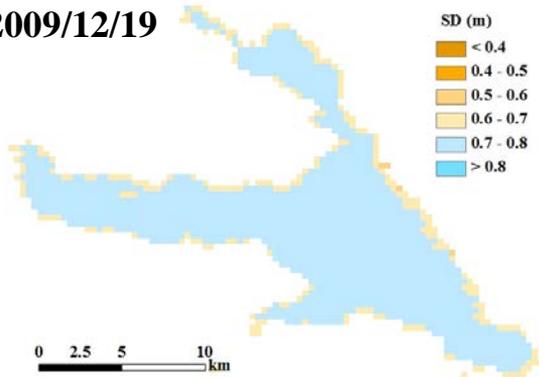


現地測定と衛星観測4日以内

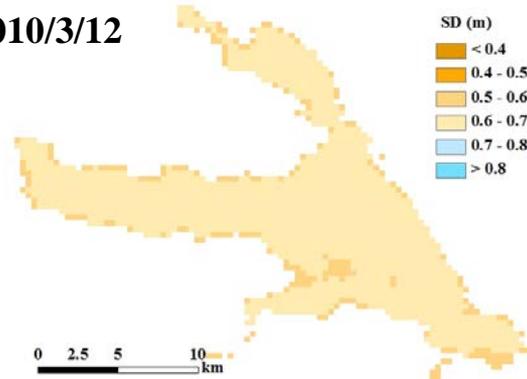


透明度分布(霞ヶ浦)

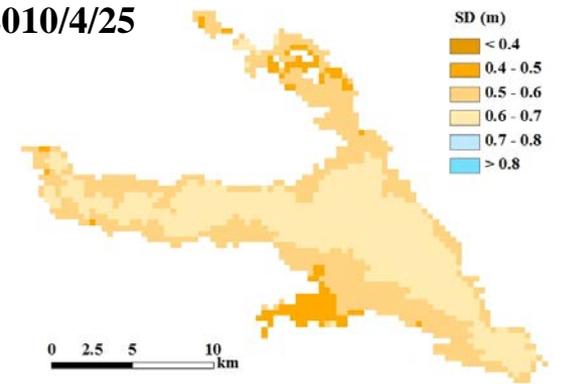
2009/12/19



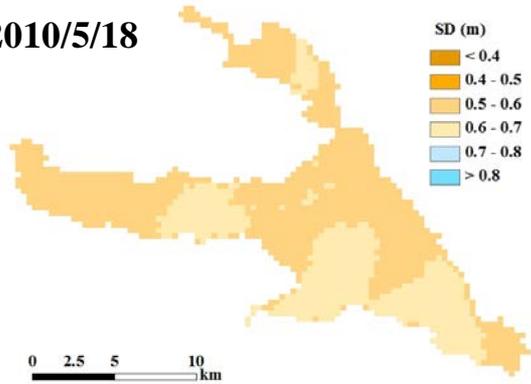
2010/3/12



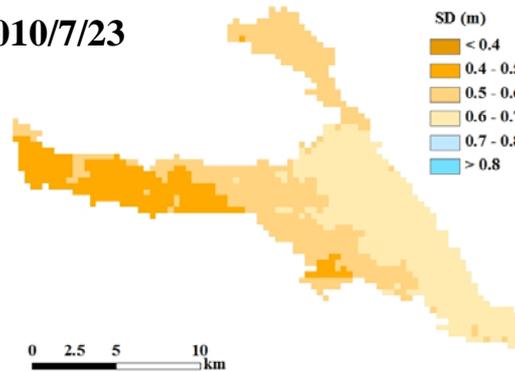
2010/4/25



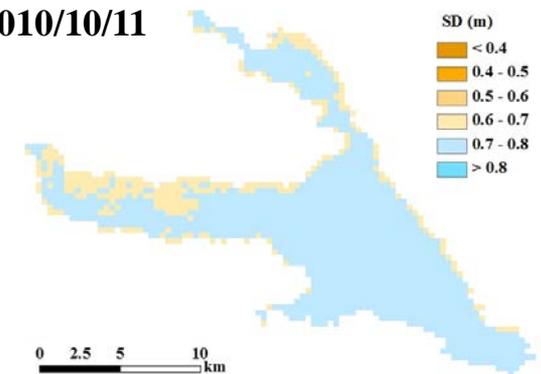
2010/5/18



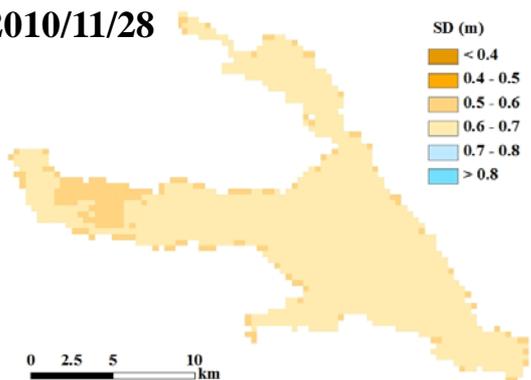
2010/7/23



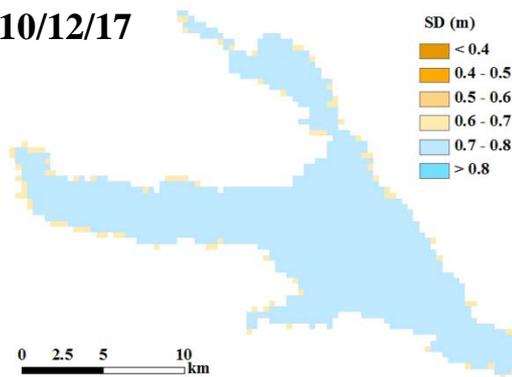
2010/10/11



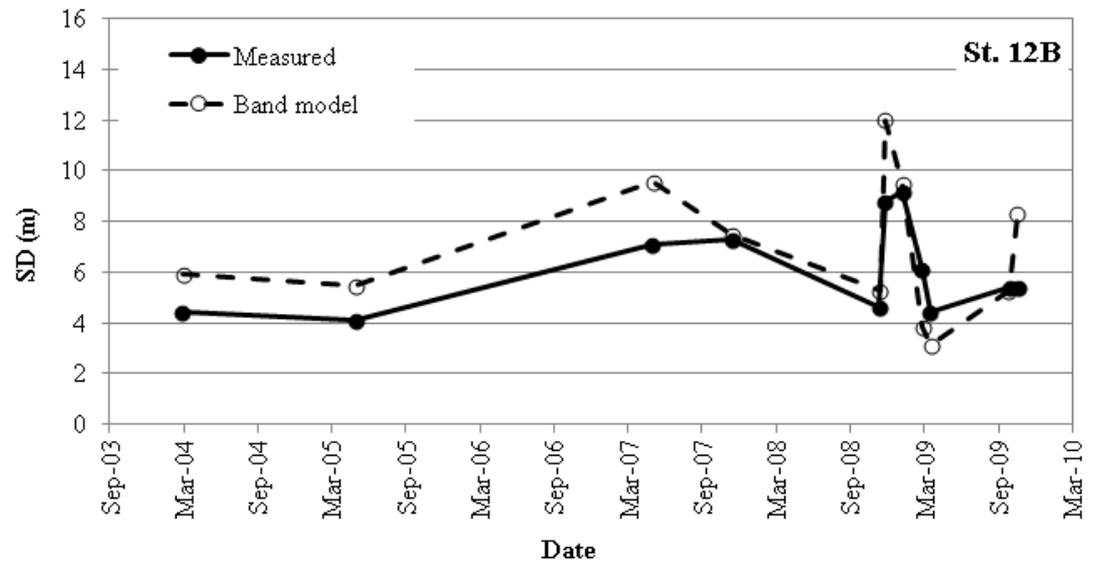
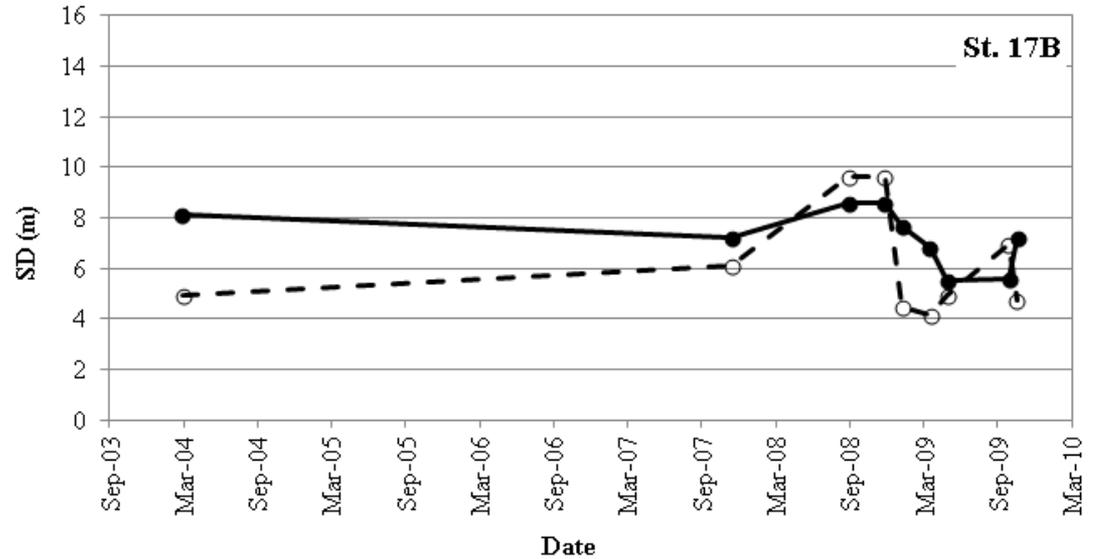
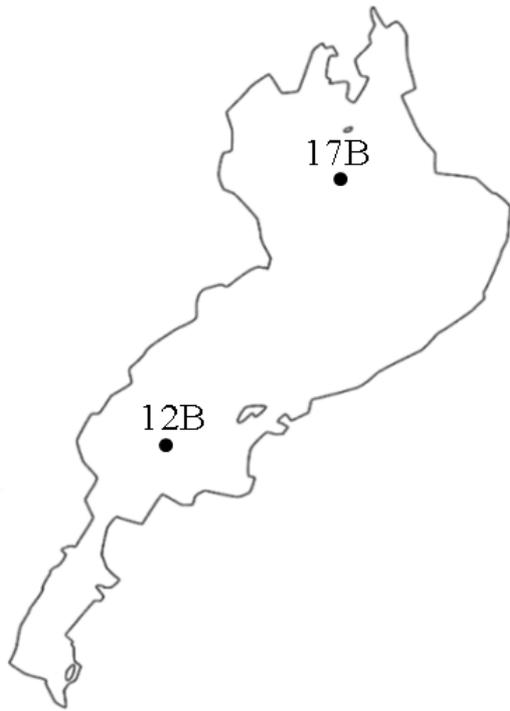
2010/11/28



2010/12/17

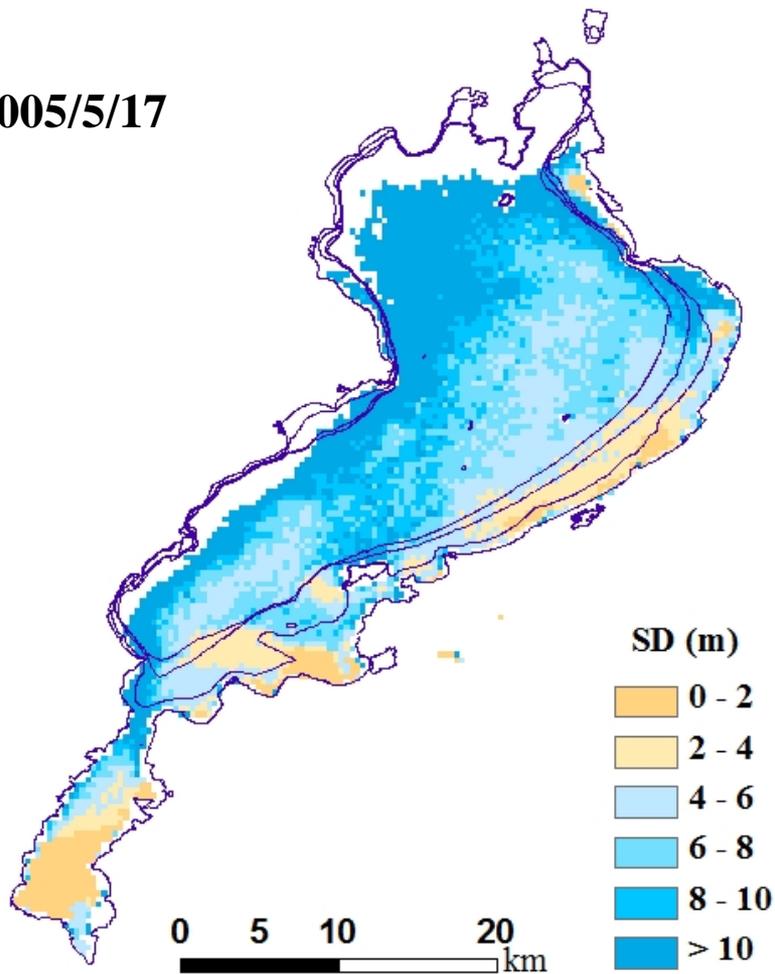


透明度経時変化(琵琶湖)

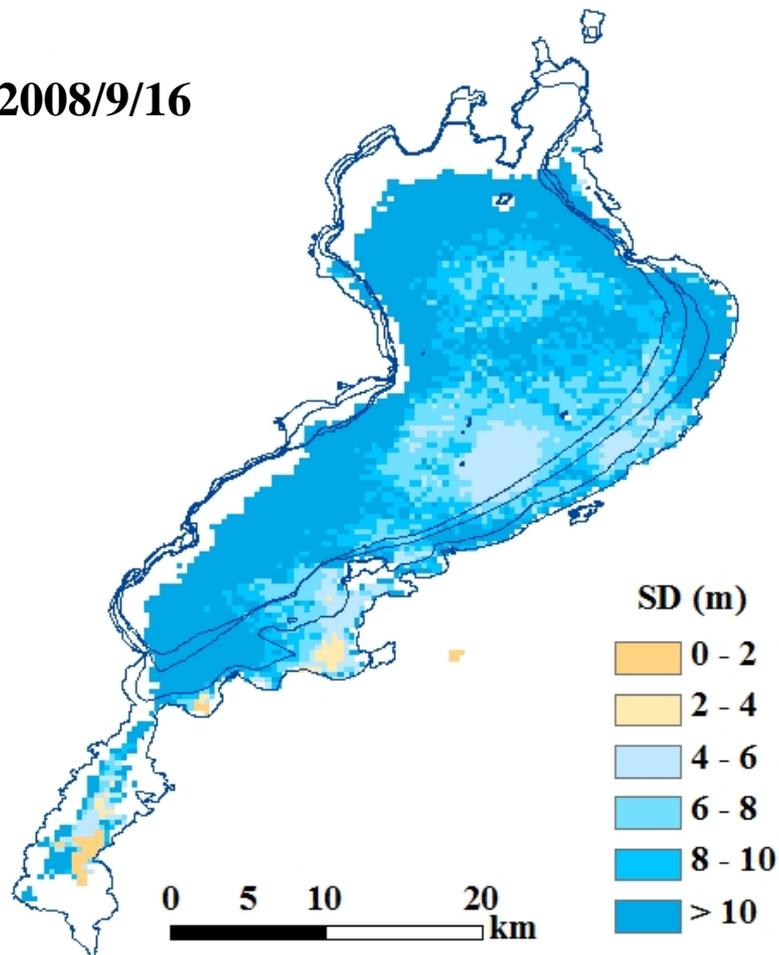


透明度分布(琵琶湖)

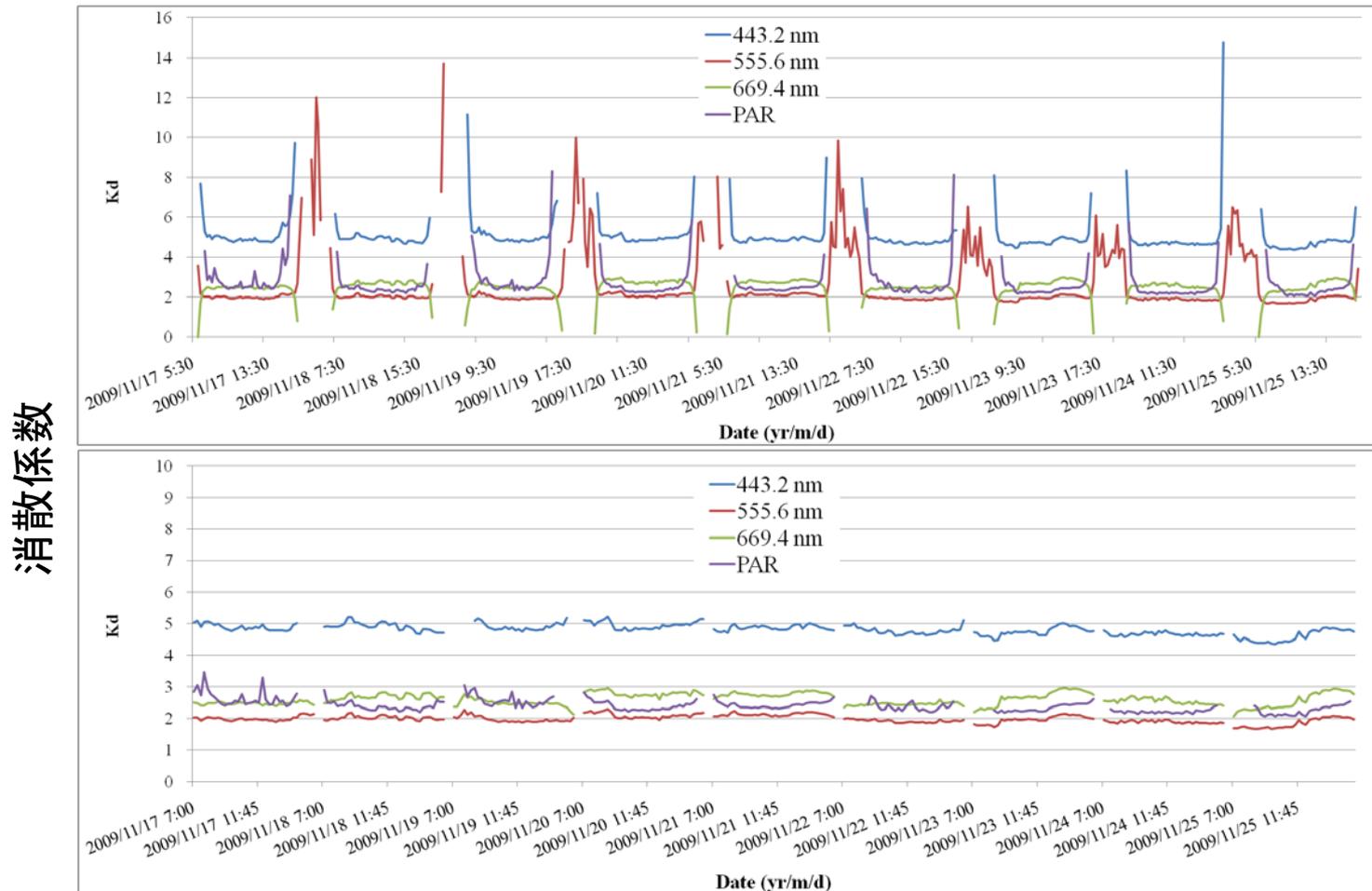
2005/5/17



2008/9/16



B. 連続測定可能な検証方法



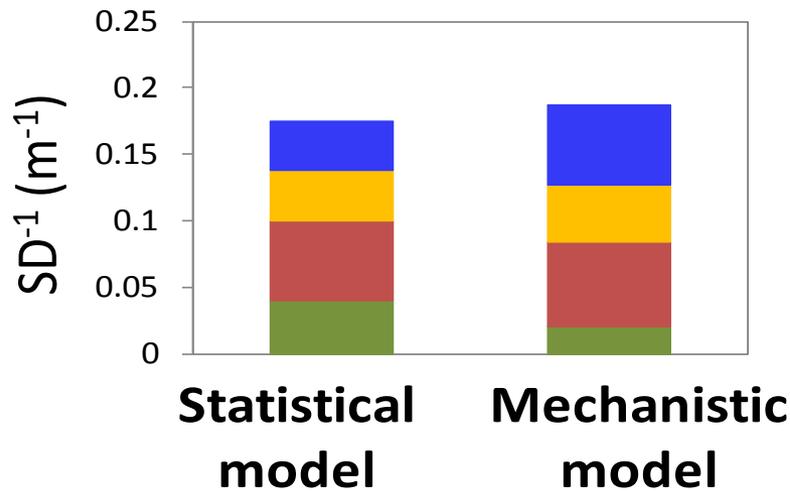
2009. 11. 17-25;霞ヶ浦 St. 10 (湖心観測所)

連続観測による、消散係数の経時・経日変化が観測

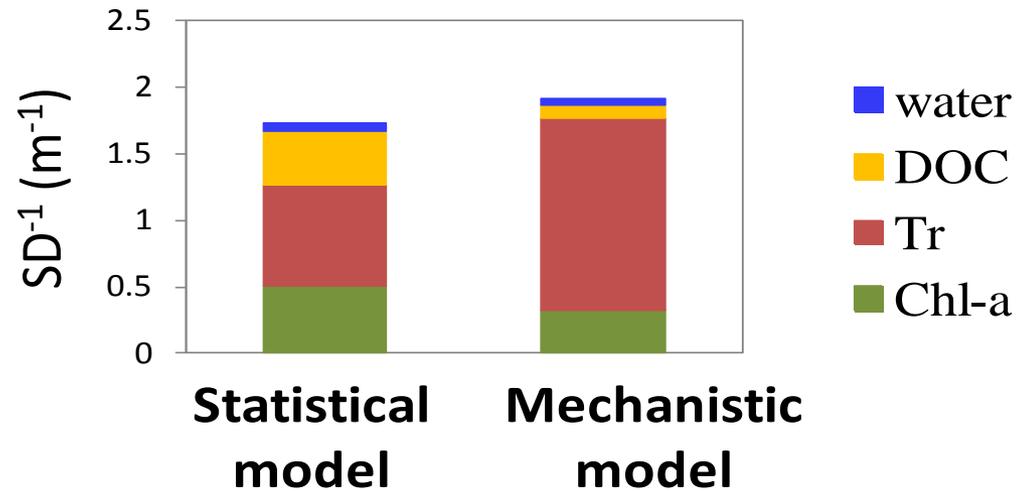
C. 透明度を悪化させている要因→ 透明度を回復するための対策

Meylin et al. (in press)

(a) 琵琶湖



(b) 霞ヶ浦



$$SD^{-1} = a_1 \cdot [Chl-a] + a_2 \cdot [Tr] + a_3 \cdot [DOC] + b_1$$

a*の変動特性とデータベース化

Yoshimura et al. (in press)

a*	変動	特性&平均値
a* _{phy} (440)	季節変動 (P < 0.001)	5月に高い
		全データ; 0.026 ± 0.008
		5月; 0.040 ± 0.007 その他; 0.023 ± 0.005
a* _{trp} (440)	季節変動 (P < 0.001)	秋-冬 高、春-夏 低
		全データ; 0.076 ± 0.017
		秋-冬; 0.085 ± 0.015
		春-夏; 0.068 ± 0.014
a* _{CDOM} (440)	空間変動 (P < 0.001)	上流から下流へ減少
		全データ; 0.294 ± 0.083
		上流; 0.350 ± 0.086
		下流; 0.259 ± 0.058

単位; m² mg-Chl-a⁻¹, m² g-tripton⁻¹, m² g-DOC⁻¹

トリプトン測定方法(トリプトンとメタノール不溶画分)

重量分析

無機態懸濁物

有機態懸濁物

Gons-model

トリプトン

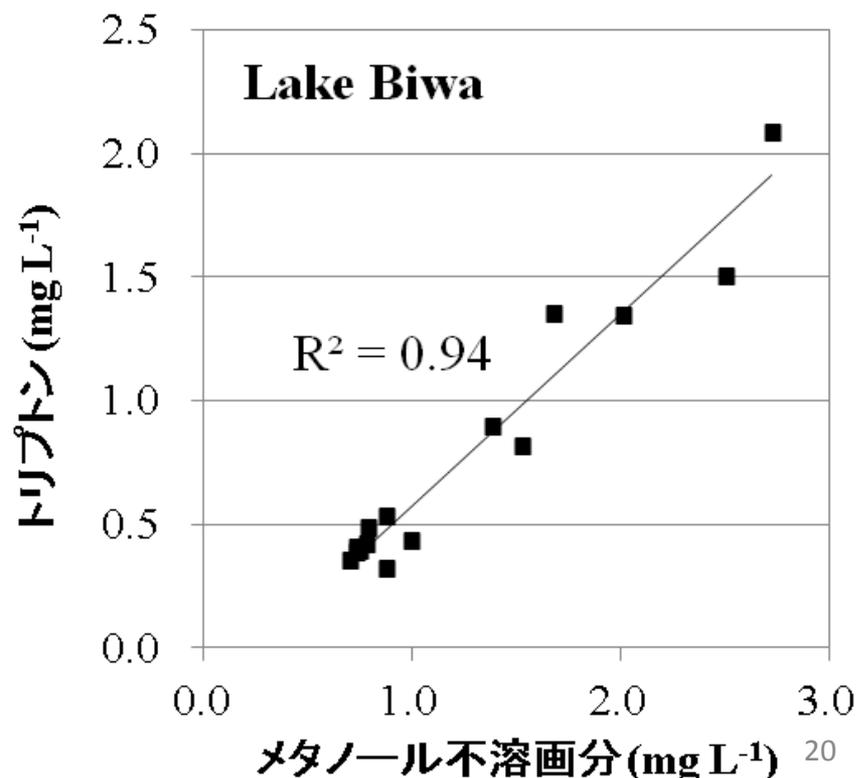
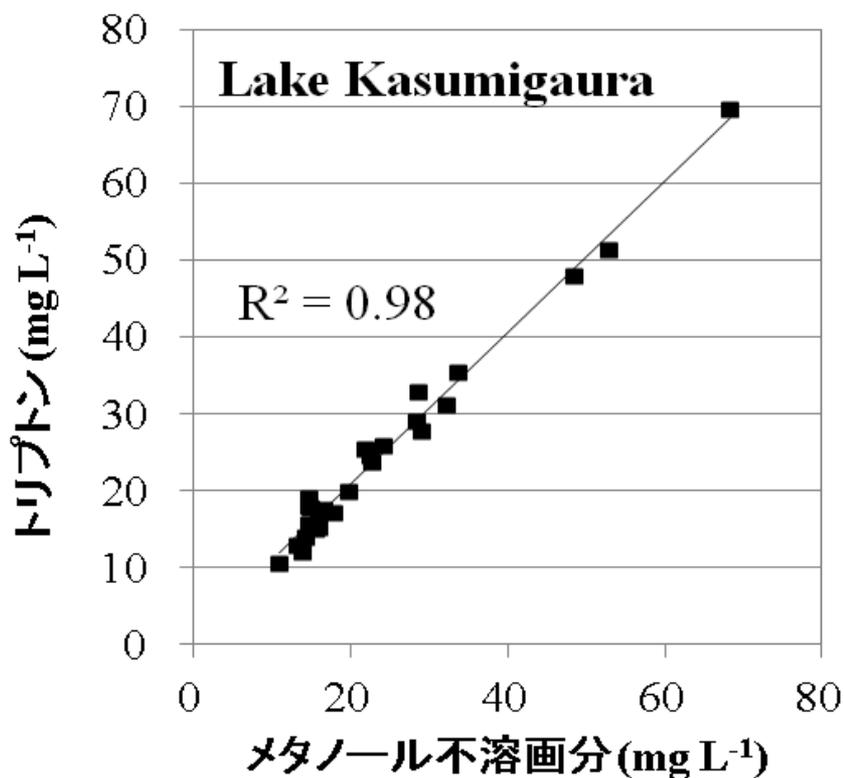
PSS

QFT

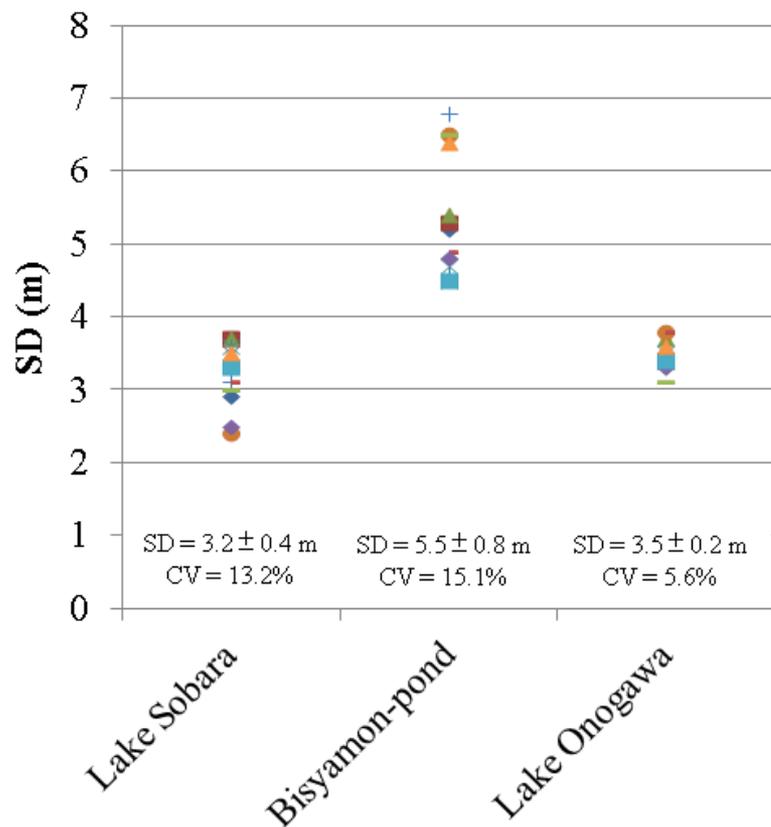
メタノール不溶

メタノール可溶

OSS = Chl-a \times d + c , PSS = Chl-a \times d , Tripton = SS - PSS

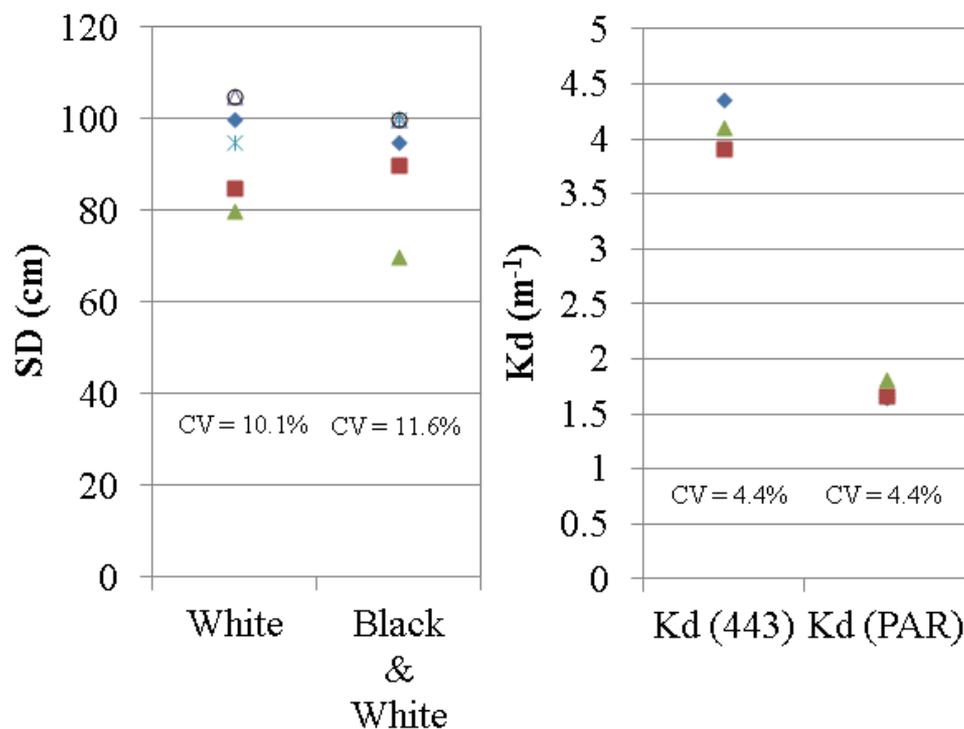


D. 水中光環境評価方法の精度比較



(N=12)

3湖沼における透明度(白色板)の精度検討



(N=6)

(N=3)

透明度(白色板、白/黒色版、Kd)の精度
(霞ヶ浦湖心(St. 10)における検討結果)

水中光環境評価方法の比較

特徴	SD (白色板)	SD (白・黒色板)	K_d
外観			
値段	数万円	数万円	数百万円
測定時間	1-2分	1-2分	準備 10分 観測 5分
精度 (CVは本研究結果より)	低い (CV = 5.6-17.4%) ※環境(天候や波)の影響、個人差 大	低い (CV = 7.7-13.4%)	高い (CV = 4.4%)
科学的な情報価値 (多分野への応用)	低い ※精度の低さ、透明度に影響する要因の多様さによる	低い	高い ※透明度、水中植物の光合成、水域の一次生産などに関連
データの蓄積 (データベース、定期観測での測定頻度など)	多い	ほとんどない (海外の湖沼で多い)	SD(白色板)に比べて少ない
親しみやすさ (認知度、理解しやすさ)	高い	高い (理解しやすい)	低い