

MODIS による宍道湖・中海の濁度分布推定

山本周一郎¹・古津年章²・下舞豊志¹
野々原伸吾²・作野裕司³

Estimation of Turbidity in Lakes Shinji and Nakaumi from MODIS

Shuichiro Yamamoto¹, Toshiaki Kozu², Toyoshi Shimomai¹
Shingo Nonohara² and Yuji Sakuno³

Abstract: MODIS is a medium-resolution satellite imaging sensor that has a observation interval of once or twice a day, although the spatial resolution is marginal (250 m). Because of the high observation frequency, it should be suitable for operational monitoring of water quality of Lakes Shinji and Nakaumi. A preliminary study was undertaken to test the utility of MODIS channels 1 and 2 (red and near-IR bands) for turbidity mapping. Two test data sets, May 2 2002 and August 23 2003, are used for this study. Data from a high spatial resolution satellite sensor ASTER are also used for comparison. For May 2 2002, turbidity is thought to be dominated by inorganic materials and MODIS Band 1 (red) appears to produce a reasonable turbidity map. On the other hand, on August 23 2003, both organic and inorganic materials contributed to total turbidity. This caused significant differences in turbidity maps created from MODIS Band 1, MODIS Band 2, and ASTER Band 1 (green). Therefore we suggest that combined use of MODIS Bands 1 and 2 may produce more reliable turbidity estimates. Further information may be available from MODIS Band 4 (green) although this channel has a coarser resolution of 500 m.

Key words: MODIS, ASTER, coastal lagoon, turbidity

1. はじめに

日本最大級の汽水域である宍道湖・中海では近年の環境変化により水質が横ばいから悪化傾向にあり(高安編, 2001), 漁獲量の減少など環境問題が発生している。そこで環境モニタリングの一環として広範囲を短時間に観測可能なリモートセンシング技術を用いた観測が有効と考えられる。

これまで行われてきた衛星搭載可視・近赤外放射計による観測研究より, 濁度やクロロフィル a 濃度を比較的精度よく推定できることが示されている

(例えば作野ほか, 2004)。しかし, これまでに用いられてきた可視・近赤外放射計では, 環境モニタリングの観点から見ると観測頻度が低いという問題点があった。

そこで1日に1~2回観測可能な衛星搭載光学センサ MODIS を用いて宍道湖・中海の濁度モニタリングを行うことが本研究の目的である。MODIS を含めた光学センサでは夜間及び悪天候時に観測できないことが問題点として残る。しかし, MODIS は高頻度観測が可能のため, 天候による影響を受けるとはいえ, 環境モニタリングに有効と考えられる。

¹ 島根大学総合理工学部 Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

² 島根大学総合理工学研究科 Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University

³ 広島大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Hiroshima University

表1. MODIS および ASTER 諸元
Table 1. Major parameters of MODIS and ASTER.

Sensor	Band	Wave length (μm)	Spatial Resolution	Swath width
MODIS	1 Red	0.62~0.67	250 m	2330 km
	2 Near IR	0.841~0.876		
ASTER	1 Green	0.52~0.60	15 m	60 km
	2 Red	0.63~0.69		
	3N Near IR	0.78~0.86		
	3B Near IR	0.78~0.86		

本論文では、特に2002年5月2日と2003年8月23日の二日間についての初期解析結果をまとめる。この二日間は、ASTERと呼ばれるMODISよりも高分解能の光学センサによっても観測されているため、ASTER及びMODISから得られた推定濁度分布図を示し、その精度や問題点を議論する。

2. 観測データ及び濁度推定

2.1 衛星データ

MODISは衛星Terraと衛星Aquaの二つに搭載された250m~1kmの分解能を持つ光学センサで32バンドの波長帯を観測することができる。また、MODISの特徴の一つは、観測周期が1日1~2回と短いことである。表1に今回の解析に使用したMODISのBand 1とBand 2の諸元について示す。MODISのこれらの波長帯では空間分解能が250mであり、他の波長帯では500m~1kmとなっている。ASTERは衛星Terraに搭載された15m~90mの分解能を持つ光学センサである。観測周期が16日のため、MODISと比較した場合に分解能は高いが観測頻度は低い。また解析に使用したASTERの15m分解能の諸元を表1に示す。

本研究では、MODISとASTERという二つのセンサの可視・近赤外域の観測データを用いる。

2.2 現場観測データ

本研究では、宍道湖湖心、中海湖心と米子湾の3箇所に設置されている国土交通省管理の定点観測所によって測定された水質及び気象データを用いた。これら観測点の位置を図1に示す。また、定点観測所の測定データ及び推定した濁度値を検証するため

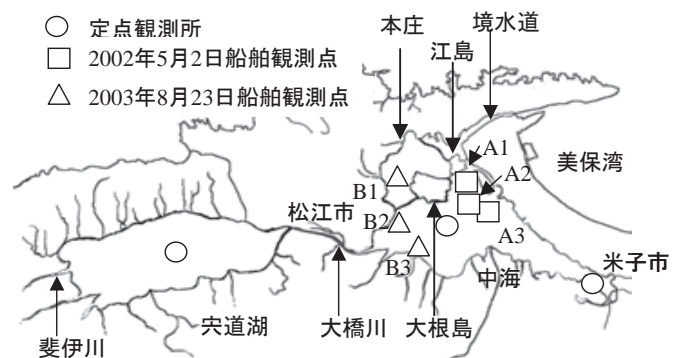


図1. 現場観測点の位置

Fig. 1. Location of in-situ observation points.

に、小型船舶を用いて、現場の濁度データなどを取得した。小型船舶を用いて観測した位置を図1にあわせて示す。

また、濁度は濁りの基準物質や測定方法が変われば、同じ濁りであっても測定値が変わる曖昧な物理量であるが、今回は定点観測所測定濁度と船舶測定濁度を比較するために、二つの測定値を同列に扱えるよう補正した上で比較を行っている。2002年5月2日および2003年8月23日に定点観測所によって観測された濁度と風のデータを表2にまとめる。

2.3 濁度推定

一般に可視・近赤外域において濁度が増加すれば、反射率も増加することが知られている。これより現場で測定された濁度データとセンサから得られるデータの相関を調べることで濁度を推定することが可能である。

MODIS及びASTERでの濁度推定は、センサから得られるデジタル値 (Digital Number: DN) と現場

表 2. 濁度および風観測データ (a) 2002 年 5 月 2 日 11:06 (JST) (b) 2003 年 8 月 23 日 11:02 (JST)

Table 2. In-situ turbidity and wind data obtained at operational stations. (a) 11:06 a.m. 2 May, 2002 (b) 11:02 a.m. 23 August, 2003.

(a)

	Center of Lake Shinji				Center of Lake Nakaumi				Bay of Yonago	
	Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Turbidity [mg/l]	
			Surface layer	Bottom layer			Surface layer	Bottom layer	Surface layer	Bottom layer
2002/5/2 10:00	90	11.3	12	24					12	6
2002/5/2 11:00	90	11.4	12	28	90	11.2	8	6	18	6
2002/5/2 12:00	90	9.5	12	32	68	11.4	8	6	23	4

(b)

	Center of Lake Shinji				Center of Lake Nakaumi				Bay of Yonago	
	Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Wind direction	Wind velocity [m/s]	Turbidity [mg/l]		Turbidity [mg/l]	
			Surface layer	Bottom layer			Surface layer	Bottom layer	Surface layer	Bottom layer
2003/8/23 09:00	248	9.3	8	13	225	3.0	4	91	6	8
2003/8/23 10:00	270	10.8	8	13	248	8.1	4	129	6	10
2003/8/23 11:00	270	11.2	7	16	270	9.5	4	129	6	8
2003/8/23 12:00	248	12.8	10	18	270	10.1	4	129	12	12
2003/8/23 13:00	270	13.1	15	24	270	11.8	6	129	6	12
2003/8/23 14:00	270	12.7	20	24	270	11.2	6	190	6	8

濁度の単回帰分析により行う。以下にモデル式を示す。

$$Turbidity = a \times DN + \beta \tag{1}$$

ここで、 a 、 β は回帰分析によって得られる定数である。DN は、センサから得られるデジタル値である。

推定式作成に使用した現場データは、国土交通省が宍道湖湖心タワー (N35° 26' 50", E132° 57' 45"), 中海湖心タワー (N35° 27' 48", E133° 11' 38"), 米子湾タワー (N35° 25' 51", E133° 18' 12") で観測された表層の濁度データを用いた。また MODIS データは幾何補正処理が施されたものを用いて、現場の観測点と対応付けた画素の DN を用いた。ASTER データは Ground Control Point (GCP) による幾何補正処理を加え、現場観測点と対応付けた画素の DN を用いた。ここで、DN は位置決定誤差やセンサノイズなどの誤差を軽減するために 3×3 ピクセルの平均 DN を用いた (作野, 2000)。

1) MODIS による濁度推定

MODIS は可視・近赤外域における赤色波長帯 (Band 1) と近赤外波長帯 (Band 2) の 2 バンドが観測可能なため、それぞれのバンドについて推定式を作成する。

2002 年 5 月 2 日に MODIS によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度の関係を図 2 に示す。

次に、各バンドの濁度推定式を示す。

$$\begin{aligned} Tur_{M1} &= 1.98 \times DN_{M1} - 4.53 \quad (R = 0.80) \\ Tur_{M2} &= 2.00 \times DN_{M2} - 3.12 \quad (R = 0.92) \end{aligned} \tag{2}$$

ここで Tur_{M1} 、 Tur_{M2} は推定濁度、DN は各バンドの DN である。赤色バンドと近赤外バンドを比較した場合に近赤外バンドの方が相関は高かった。また推定式の検証には小型船舶によって得られた濁度データを用いる。表 3 に船舶観測濁度を示し、図 3 に船舶観測濁度と推定濁度の関係を示す。2002 年 5 月 2 日は濁度推定値と船舶観測濁度に良い相関がみられた。

同様にして 2003 年 8 月 23 日に MODIS によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度との関係を図 4 に示す。また、各バンドの濁度推定式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} Tur_{M1} &= 1.00 \times DN_{M1} + 0.00 \quad (R = 0.64) \\ Tur_{M2} &= 0.425 \times DN_{M2} + 2.86 \quad (R = 0.48) \end{aligned} \tag{3}$$

推定式の検証には小型船舶によって得られた濁度データを用いる。表 4 に船舶観測濁度を示し、図 5 に船舶観測濁度と推定濁度の関係を示す。

これらより、2003 年 8 月 23 日は小型船舶による観測濁度との相関が 5 月 2 日 (図 3) と比較して悪いが、値としては妥当な範囲である。そのため推定式

表 3. 船舶観測濁度データ (2002 年 5 月 2 日)

Table 3. In-situ turbidity data obtained from ship measurements. (2 May 2002).

Observation Point	Latitude/Longitude	Observation time (JST)	Turbidity [mg/l]
A1	N35° 30' 29" E133° 12' 33"	8:50	26
A2	N35° 29' 30" E133° 12' 17"	9:10	8
A3	N35° 29' 11" E133° 13' 01"	10:15	8
*A4	N35° 27' 46" E133° 11' 32"	9:35	9

*A4 は中海湖心とほぼ同じ位置のため図 1 では省略

*Location of A4 is omitted in Fig. 1, because it is close to that of Nakaumi tower observatory.

表 4. 船舶観測濁度データ (2003 年 8 月 23 日)

Table 4. In-situ turbidity data obtained from ship measurements. (23 August 2003).

Observation Point	Latitude/Longitude	Observation time (JST)	Turbidity [FTU]
B1	N35° 30' 21" E133° 09' 02"	10:31	6
B2	N35° 28' 20" E133° 09' 12"	11:05	8
B3	N35° 27' 31" E133° 09' 08"	11:16	7
*B4	N35° 27' 47" E133° 11' 31"	11:50	9

*B4 は中海湖心の観測所とほぼ同じ位置のため図 1 では省略

*Location of B4 is omitted in Fig. 1, because it is close to that of Nakaumi tower observatory.

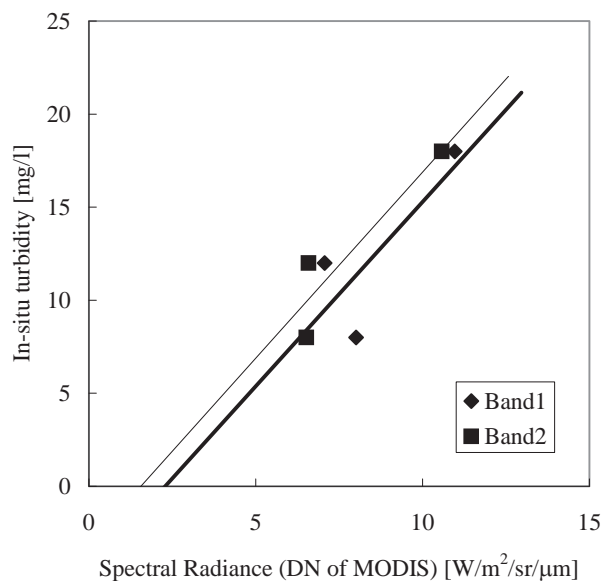


図 2. MODIS の DN と現場観測濁度の関係(2002 年 5 月 2 日). 太線は濁度のバンド 1 からの回帰, 細線は濁度のバンド 2 からの回帰.

Fig. 2. Relationship between MODIS DN and In-situ (tower) turbidity. (2 May, 2002). Heavy solid line: Linear regression of turbidity to Band 1 DN. Light solid line: Linear regression of turbidity to Band 2 DN.

は妥当であると判断し濁度分布図を作成した.

2) ASTER による濁度推定

ASTER は可視・近赤外域における緑色波長帯 (Band 1)・赤色波長帯 (Band 2)・近赤外波長帯 (Band

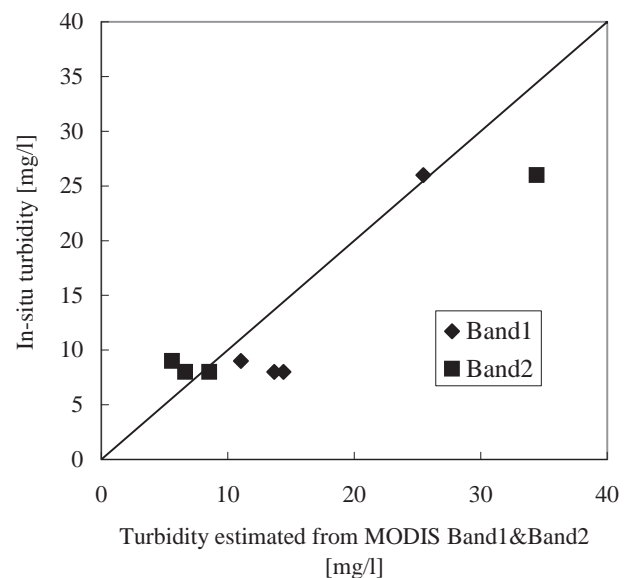


図 3. (2) 式により推定された濁度と船舶観測濁度の関係. 実線は 1:1 対応線を示す.

Fig. 3. Relationship between turbidity estimated from equation (2), and In-situ (ship) turbidity. Solid line shows 1:1 correspondence line.

3) の 3 バンドを観測可能なため, それぞれのバンドについて推定式を作成する.

2002 年 5 月 2 日に ASTER によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度との関係を図 6 に示す. 次に, 各バンドの濁度推定式を示す.

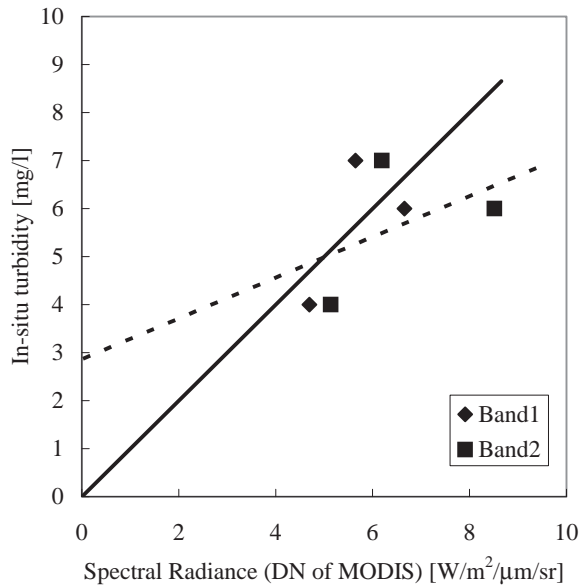


図4. MODIS の DN と現場観測濁度の関係 (2003 年 8 月 23 日). 実線は濁度のバンド 1 からの回帰, 点線は濁度のバンド 2 からの回帰.

Fig. 4. Relationship between MODIS DN and In-situ (tower) turbidity. (23 August, 2003).

$$\begin{aligned} Tur_{A1} &= 0.340 \times DN_{A1} + 5.56 \quad (R = 0.92) \\ Tur_{A2} &= 0.274 \times DN_{A2} - 7.50 \quad (R = 0.92) \\ Tur_{A3} &= 0.484 \times DN_{A3} + 3.08 \quad (R = 0.75) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで Tur_{A1} , Tur_{A2} , Tur_{A3} は推定濁度, DN は各バンドの DN である. 緑色波長帯と赤色波長帯の推定式の相関はほぼ同じで 0.92 と良い相関が得られた.

2003 年 8 月 23 日に ASTER によって観測された各バンドの DN と現場観測濁度との関係を図 7 に示す. また, 各バンドの濁度推定式は以下の通りである.

$$\begin{aligned} Tur_{A1} &= 0.646 \times DN_{A1} - 0.0257 \quad (R = 0.98) \\ Tur_{A2} &= 0.498 \times DN_{A2} - 1.64 \quad (R = 0.98) \\ Tur_{A3} &= 0.0908 \times DN_{A3} + 4.34 \quad (R = 0.23) \end{aligned} \quad (5)$$

バンド 1 とバンド 2 の推定式の相関はほぼ同じで 0.98 と良い相関が得られた. しかし, バンド 3 の近赤外波長帯の推定式を見ると, 相関係数の値が 0.23 とかなり悪く, バンド 1 及びバンド 2 の推定式に比べ, 信頼性に欠けると考えられる.

3. 濁度分布推定結果

3.1 2002 年 5 月 2 日における推定結果

図 8 (a), (b) に宍道湖・中海の MODIS バンド 1 (赤色波長帯) からの推定結果を示し, 図 9 (a), (b)

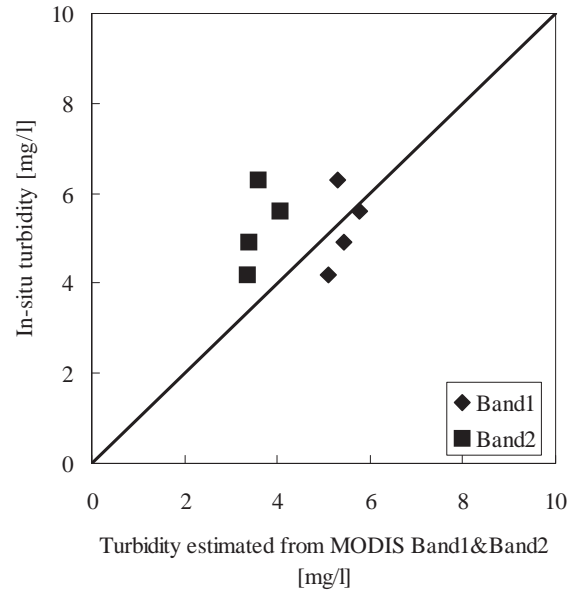


図 5. (3) 式により推定された濁度と船舶観測濁度の関係. 実線は 1:1 対応線を示す.

Fig. 5. Relationship between turbidity estimated from equation (3), and In-situ (ship) turbidity. Solid line shows 1:1 correspondence line.

に宍道湖・中海の MODIS バンド 2 (近赤外波長帯) からの推定結果を示す. また, 図 10 (a), (b) に ASTER のバンド 2 (赤色波長帯) からの推定結果を示す. ここで ASTER から推定した濁度分布図は MODIS から推定したものと比較を行うために, 擬似的に解像度を MODIS の解像度まで落とした. また, ASTER のバンド 1 (緑色波長帯) とバンド 2 (赤色波長帯) それぞれから得られた推定結果を比較したとき, 推定結果が類似しているため, ここでは ASTER のバンド 2 から得られる推定結果を示す. また図中においてベクトルは風向を示し, 数値は風速を示す. これには宍道湖湖心・中海湖心タワーで午前 11 時に観測されたデータを用いた.

図 8 より, 宍道湖西側, 中海西側で濁度が高いことがわかる. これは 2002 年 4 月 30 日に 26 mm, 5 月 1 日に 7 mm の降雨が観測されており斐伊川上流および大橋川から土砂が流れ込んでいるための影響と考えられる. また東風による影響もあり濁度の分布が東から西へ高くなるように変化していることも考えられる (野々原ほか, 2005).

次に, MODIS から得られた推定結果と ASTER から得られた推定結果を比較する. 図 8 と図 10 を比較したとき, 推定結果は定量的に類似していることがわかる. これより MODIS と ASTER という異なるセンサによる推定結果が相互に矛盾していないこと

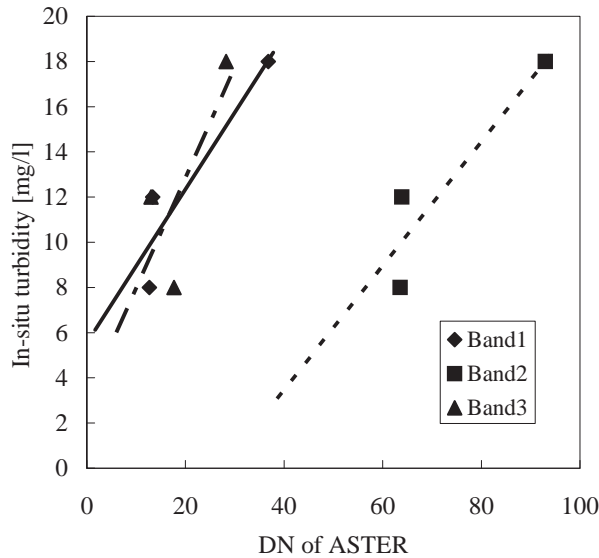


図 6. ASTER の DN と現場観測濁度の関係(2002 年 5 月 2 日). 実線は濁度のバンド 1 からの回帰, 点線は濁度のバンド 2 からの回帰, 鎖線は濁度のバンド 3 からの回帰.

Fig. 6. Relationship between ASTER DN and In-situ (tower) turbidity. (2 May, 2002). Solid line: Linear regression of turbidity to Band 1 DN. Dot-line: Linear regression of turbidity to Band 2 DN. Dot-dash-line: Linear regression of turbidity to Band 3 DN.

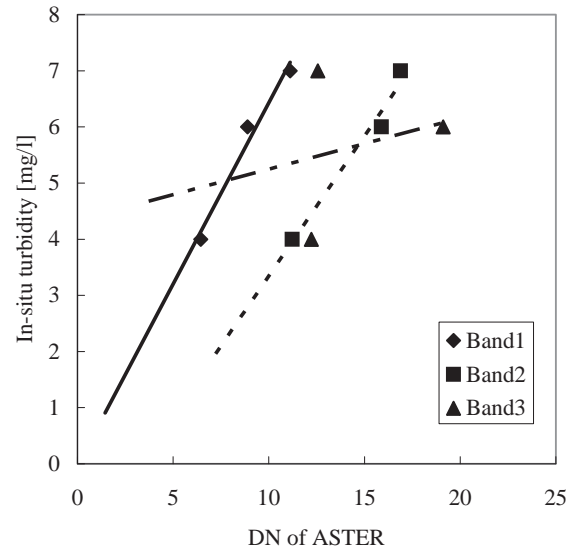


図 7. ASTER の DN と現場観測濁度の関係(2003 年 8 月 23 日). 実線は濁度のバンド 1 からの回帰, 点線は濁度のバンド 2 からの回帰, 鎖線は濁度のバンド 3 からの回帰.

Fig. 7. Relationship between ASTER DN and In-situ (tower) turbidity (23 August, 2003). Solid line: Linear regression of turbidity to Band 1 DN. Dot-line: Linear regression of turbidity to Band 2 DN. Dot-dash-line: Linear regression of turbidity to Band 3 DN.

がわかる。また、ASTER のバンド 1 から得られた推定結果は ASTER のバンド 2 による推定結果と定量的に類似していることから、クロロフィル a が比較的均一な状態で存在していたと考えられる。なぜならば、赤色波長帯の光はクロロフィル a を含んだ水の場合、清浄な水の場合と比較して反射率が低くなる。また、緑色波長帯の光も同様に、クロロフィル a を含んだ水の場合と清浄な水の場合を比較すると、反射率は低くなるのがわかる(Han, 1997)。次に、赤色波長帯と緑色波長帯の反射率の変化をクロロフィル a の有無で比較した場合、赤色波長帯の反射率の低下が緑色波長帯の反射率の低下よりも大きいことがわかる。これより、緑色波長帯から得られる結果と赤色波長帯から得られる結果を比較することで、クロロフィル a 濃度の違いを評価することが可能になると考えられる。今回の場合は、それぞれの図を比較したとき、同様な濁度値が推定されているため、クロロフィル a は比較的均一だと考えられる。また、降雨による影響で 5 月 2 日の推定濁度値は平常時の濁度値に比べ、高い値が推定されていることなどの状況を考えると、土砂などの非生物的な濁りが支配的ではないかと考えられる。

次に MODIS バンド 2 から得られる結果について

考える。図 9 を見ると、図 8 や図 10 と比較して宍道湖東部や中海南部では比較的似ているが、宍道湖西部や本庄工区では異なる結果となった。近赤外波長帯の光は、赤や緑といった可視光に比べると反射率は低い。濁りの変化に対しての応答は十分あると理論的には考えられるが(Han, 1997)、可視光の反射と比較すると反射率の値はかなり小さいため、濁りの変化を捉え切れなかったのではないかと考えられる。

3.2 2003 年 8 月 23 日における推定結果

図 11 (a), (b) に MODIS バンド 1 (赤色波長帯)からの推定結果を示し、図 12 (a), (b) に MODIS バンド 2 (近赤外波長帯)からの推定結果を示す。図 13 (a), (b) に ASTER のバンド 1 (緑色波長帯)から推定した濁度分布図を示す。ASTER のバンド 2 (赤色波長帯)からの推定結果は、MODIS のバンド 1 の推定結果と定量的に類似しているため、ここでは緑色波長帯からの推定結果を示す。3.1 節と同様に ASTER の推定濁度分布図は比較のため解像度を下げている。図中に示してあるベクトルは風向を示し、数値は風速を示している。

8 月 21 日、8 月 22 日と降雨は観測されていない

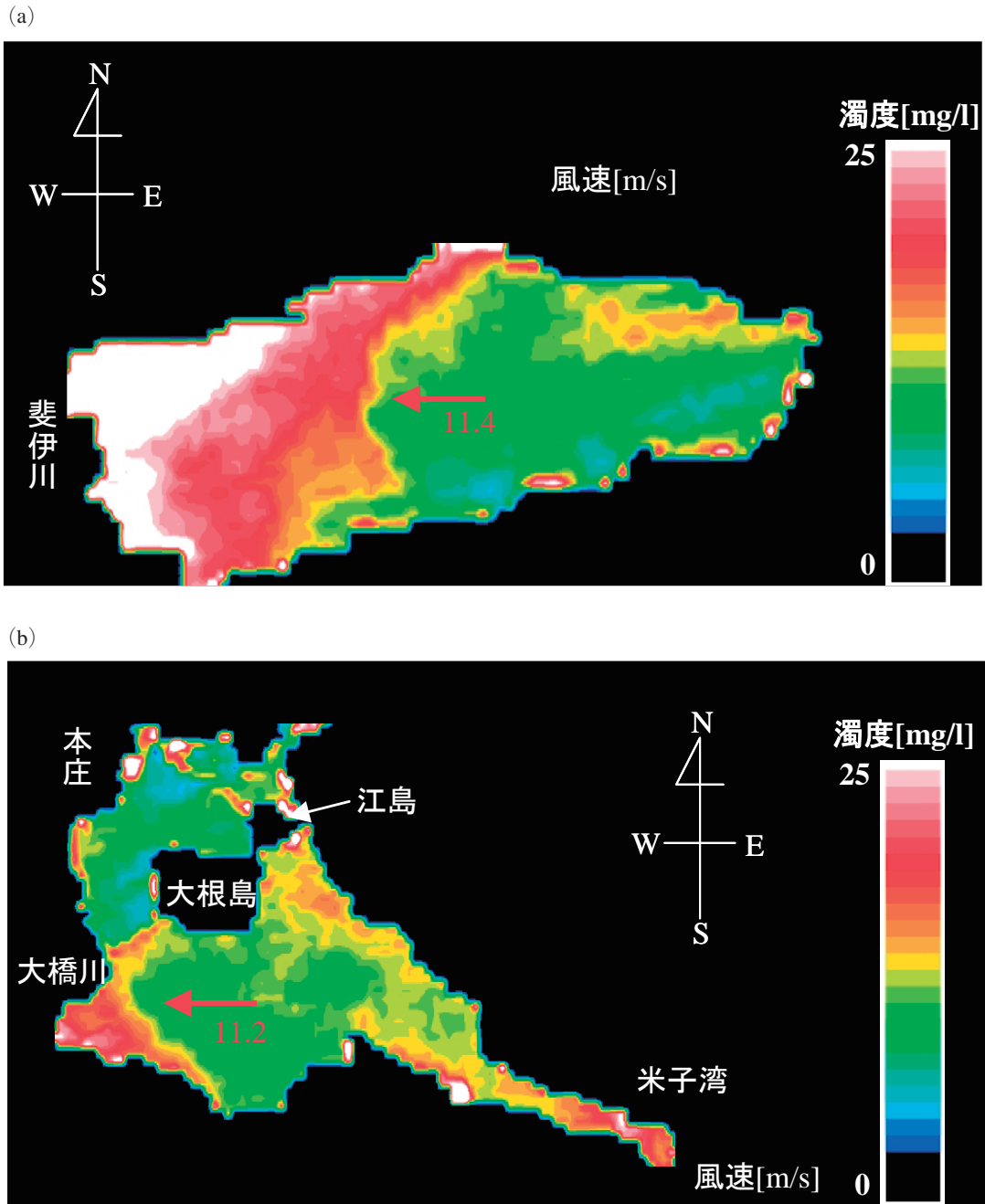


図 8. MODIS バンド 1 (赤バンド) の推定濁度分布図 (2002 年 5 月 2 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
 Fig. 8. Turbidity map obtained from MODIS Band 1 (Red) (2 May, 2002). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

め、土砂が流れ込んでいる様子は見られない。また全体的に濁度は 2002 年 5 月 2 日の 1/3 程度になっている。図 11 の MODIS バンド 1 からの推定結果と図 13 の ASTER バンド 1 からの推定結果を比較する。ASTER からの推定結果において、湖岸で濁度値が高いのは画像処理と陸地による影響である。図 11 と図 13 を比較した場合に中海湖心から江島の南辺りにかけて、ASTER で推定した濁度値は 4mg/l から 6mg/l とやや高くなっているのに対し、MODIS から推定した濁度値は 4mg/l から 3~4mg/l と少し低く

なっていることがわかる。これは、3.1 節で述べたように、赤と緑の分光特性の違いが影響していると考えられる。つまり、この日は前々日、前日と降雨も観測されておらず、濁りの成因として、生物学的な濁りが支配的なことが影響しているために、MODIS の赤色波長帯の光では生物学的な濁りの変化を捉えることができなかった可能性が考えられる。また宍道湖についても、生物学的な濁りが全体的に影響しているために図 11 と図 13 で定量的な違いが出たと考えられる。また、本庄区域において図 13 で濁度値が

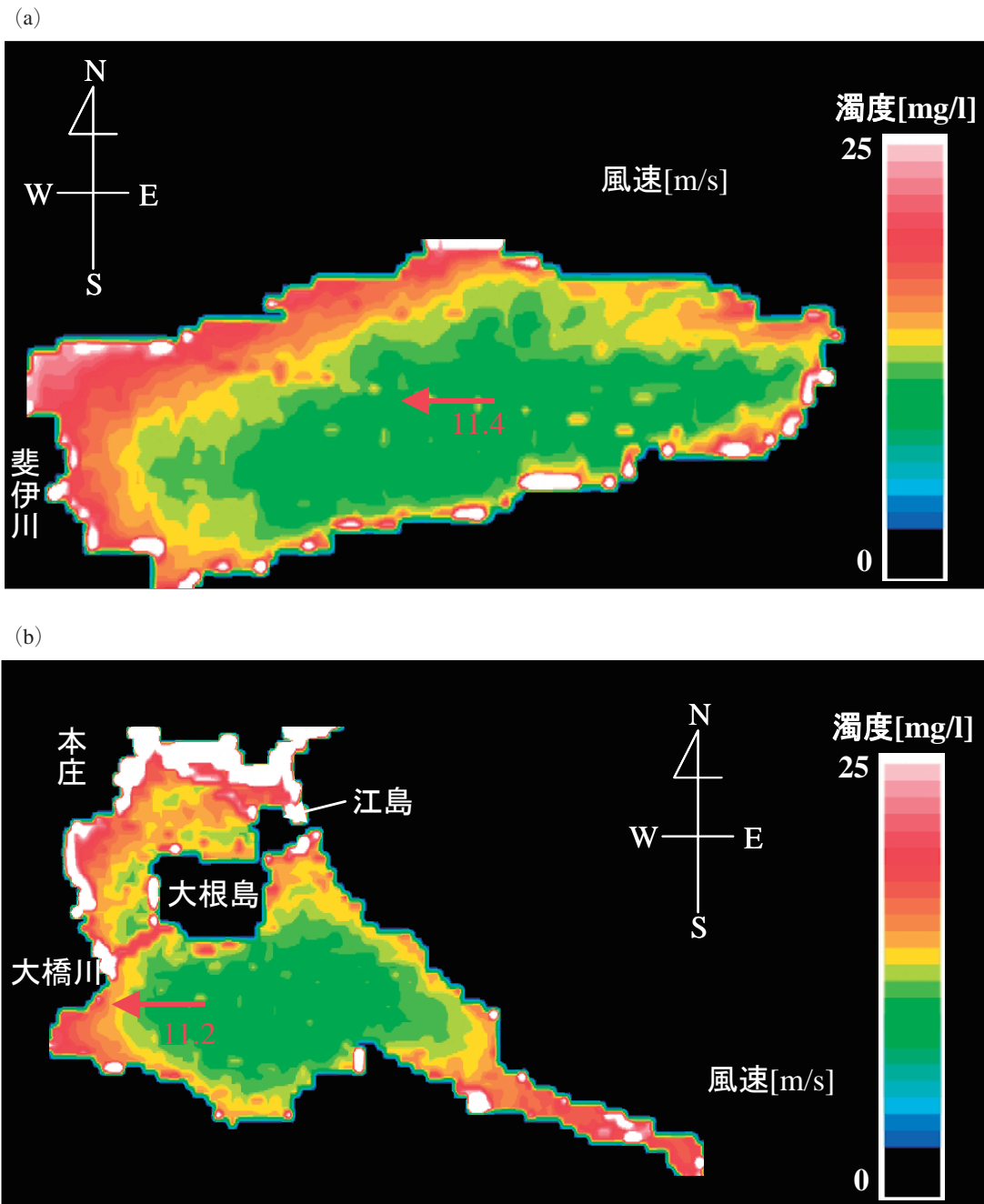


図9. MODIS バンド2 (近赤外バンド) の推定濁度分布図 (2002年5月2日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 9. Turbidity map obtained from MODIS Band 2 (Near IR) (2 May, 2002). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

高く推定されているが、赤色波長帯の推定図と比較して本庄区域全体で推定値に大きく差が出るほど生物学的な濁りの濃度に差があったかどうかは不明であり、この差の原因については更に検討を要する。

次に、MODIS のバンド2の推定結果について考える。8月23日は5月2日に比べ、定性的にMODIS バンド1やASTERからの推定結果と類似していると考えられるが、定量的に値は異なる。これは、3.1節より近赤外波長はクロロフィルaの影響を受けにくいいため生物学的および非生物学的濁りの寄与の違いが

バンド1とバンド2の推定結果の差に寄与しているものと思われる。この推定結果の違いについては、500mと分解能は低いMODIS バンド4 (緑色波長帯) のデータを使用することで新たな情報が得られるものと思われ、今後多バンドによる濁度推定を検討する必要がある。

3.3 推定結果まとめ

2002年5月2日および2003年8月23日の推定結果から次のことが結論づけられる。

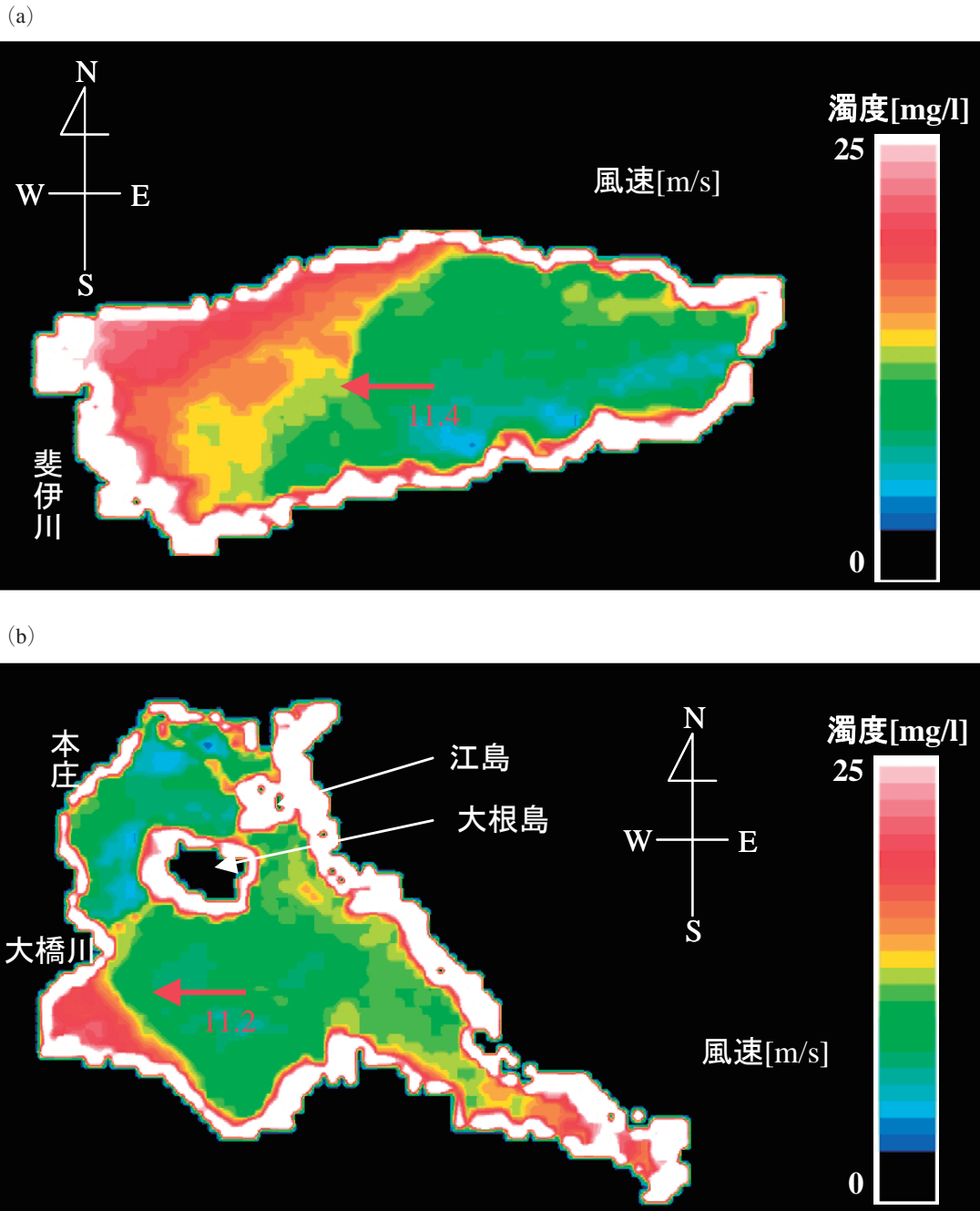


図 10. ASTER バンド 2 (赤バンド) の推定濁度分布図 (2002 年 5 月 2 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 10. Turbidity map obtained from ASTER Band 2 (Red) (2 May, 2002). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

- (1) MODIS バンド 1 (赤色波長帯) から得られる濁度分布推定結果は、非生物的な濁りが支配的であるときは妥当と考えられる。
- (2) MODIS バンド 1 からの推定結果は、生物的な濁りが影響するとき、つまり赤色波長帯におけるクロロフィル a の吸収により濁度推定結果に誤差が出ると考えられる。
- (3) 近赤外は原理的には赤バンドと組みあわせて、生物的または非生物的な濁りの評価に使えると考えられるが、具体的な検討は今後の課題である。
- (4) MODIS バンド 2 (近赤外波長帯) や ASTER のバンド 1 (緑色波長帯) において本庄区域で濁度値が高く推定される場合があるが原因は解明できていない。

4. ま と め

2002 年 5 月 2 日と 2003 年 8 月 23 日の濁度分布を MODIS によって推定した。また両日共に ASTER で

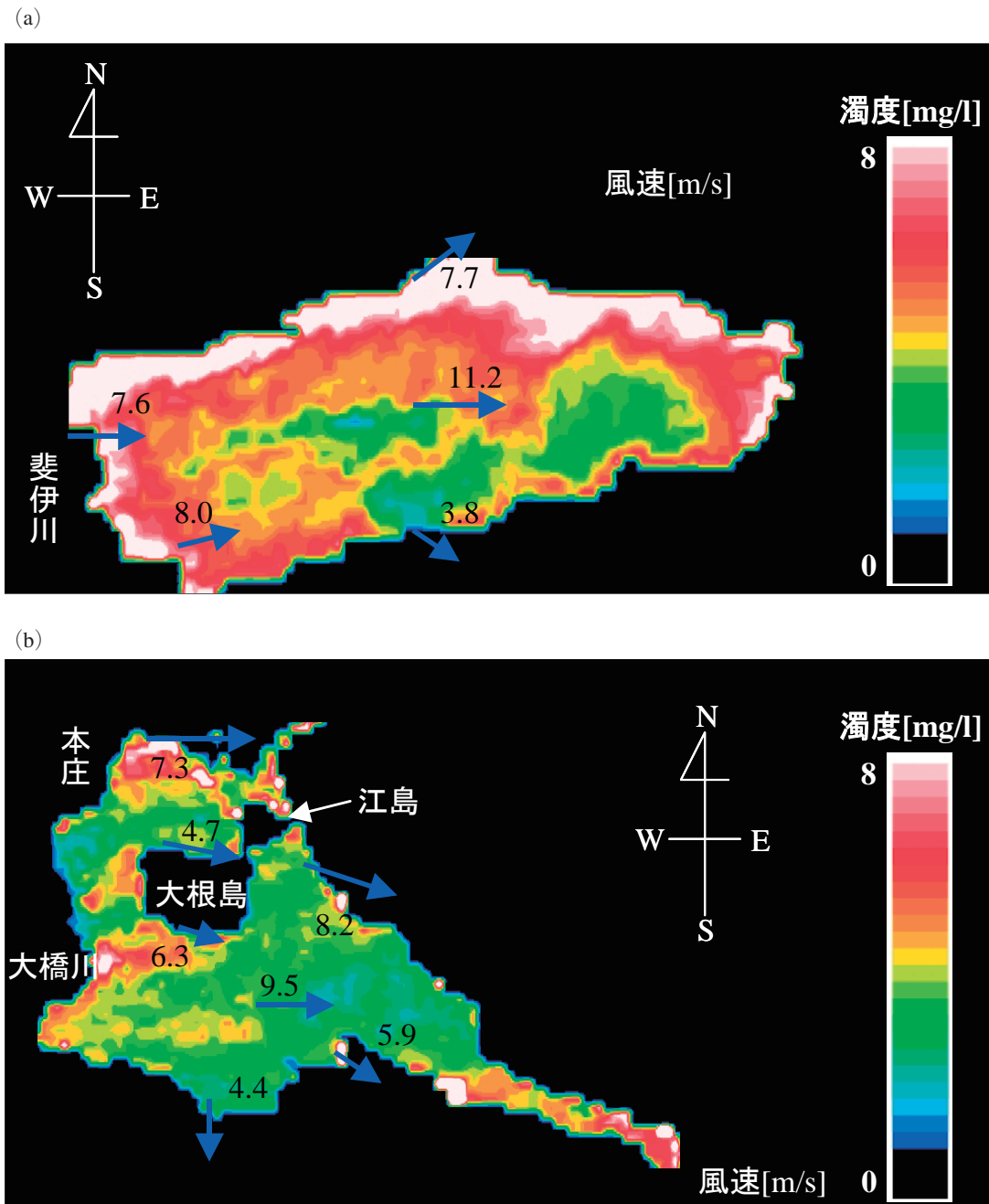


図 11. MODIS バンド 1 (赤バンド) の推定濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 11. Turbidity map obtained from MODIS Band 1 (Red) (23 August, 2003). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

の同時観測も行われたため、ASTER も用いて推定濁度分布図について考察を加えた。

2002 年は非生物的な濁りに良い感度を持つ MODIS バンド 1 を用いて作成する推定濁度分布図が妥当であると考えられた。2003 年は生物的な濁りによる影響が大きく、バンド 1 からの推定濁度分布図は問題があると考えられる。ASTER 緑バンドの解析結果などから、MODIS バンド 1 は生物的な濁りであるクロロフィル a による吸収の影響を受けていると考えられ、赤色バンド単独では推定精度に限界が

あると思われた。これは ASTER の緑バンドを用いた解析から推定された。実際には、ASTER の観測頻度は低いため、分解能は劣るが、MODIS のバンド 4 (緑) を用いる方法が考えられる。また原理的には MODIS バンド 2 (近赤外) もクロロフィル a による吸収はないので、生物的、非生物的濁りの分離に使用できると考えられる。

今後の課題として、更に次のことが挙げられる。まず、現在の推定法では、作成する推定式の信頼性が低いため多時期のデータを用いる推定法など、推

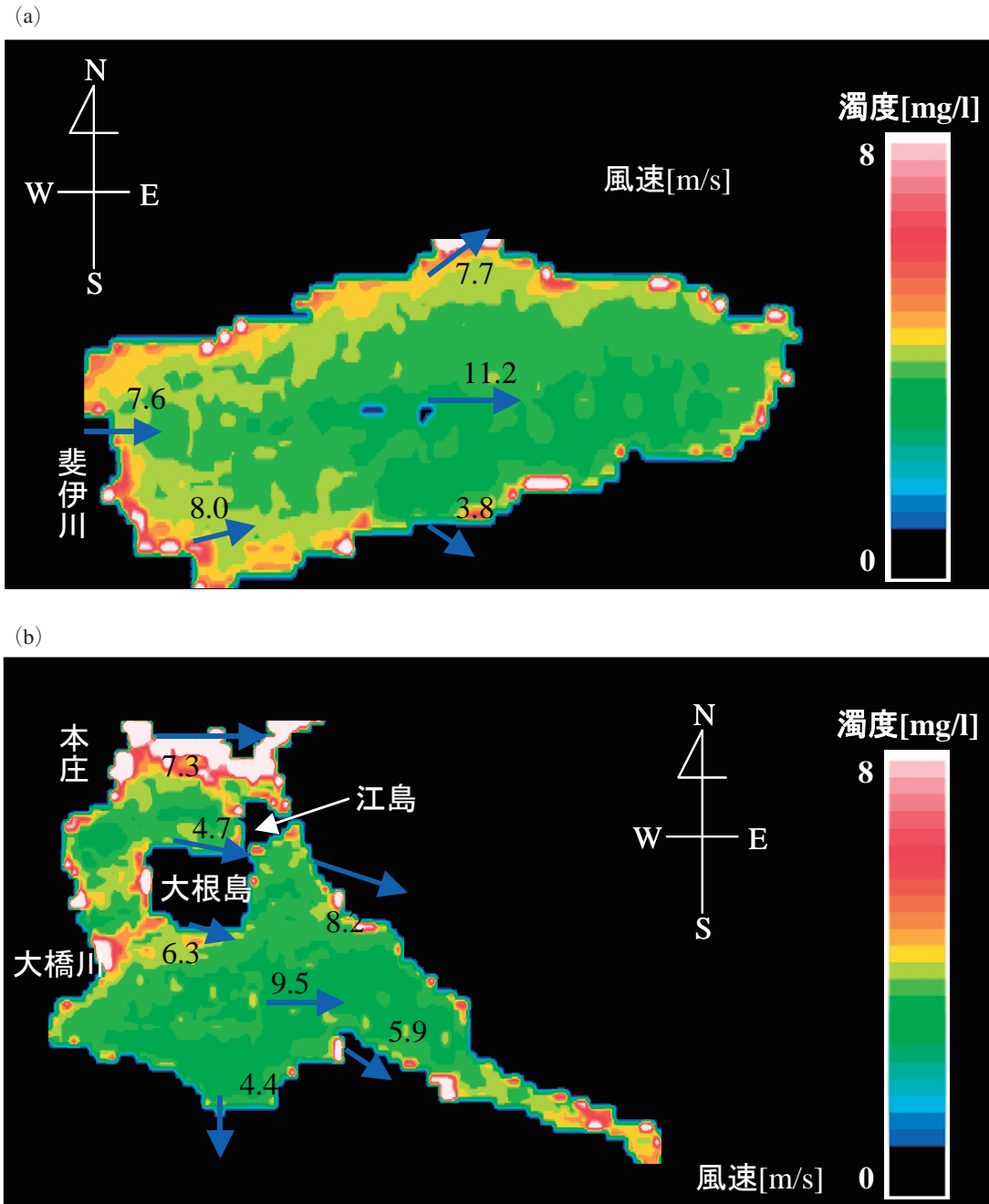


図 12. MODIS バンド 2 (近赤外バンド) の推定濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 12. Turbidity map obtained from MODIS Band 2 (Near IR) (23 August, 2003). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

定法の改善が必要である。また、表層の濁りを下層や底層の濁りと関係づける手法の検討や推定した濁度分布図の船舶観測などとの比較による更なる検証が必要である。

謝 辞

本研究でを使用した MODIS データは東京大学生産技術研究所より提供して頂いた。ASTER データは「ASTER データ利用に関する共同研究」により提供

して頂いた。また、気象及び水質データは国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所から提供して頂いた。これら関係機関の方々に深謝致します。

参 考 文 献

Han,L (1997) Spectral Reflectance with Varying Suspended Sediment Concentrations in Clear and Algae-Laden Waters, Photo.eng.&Rem.Sens, 63: 701-705.

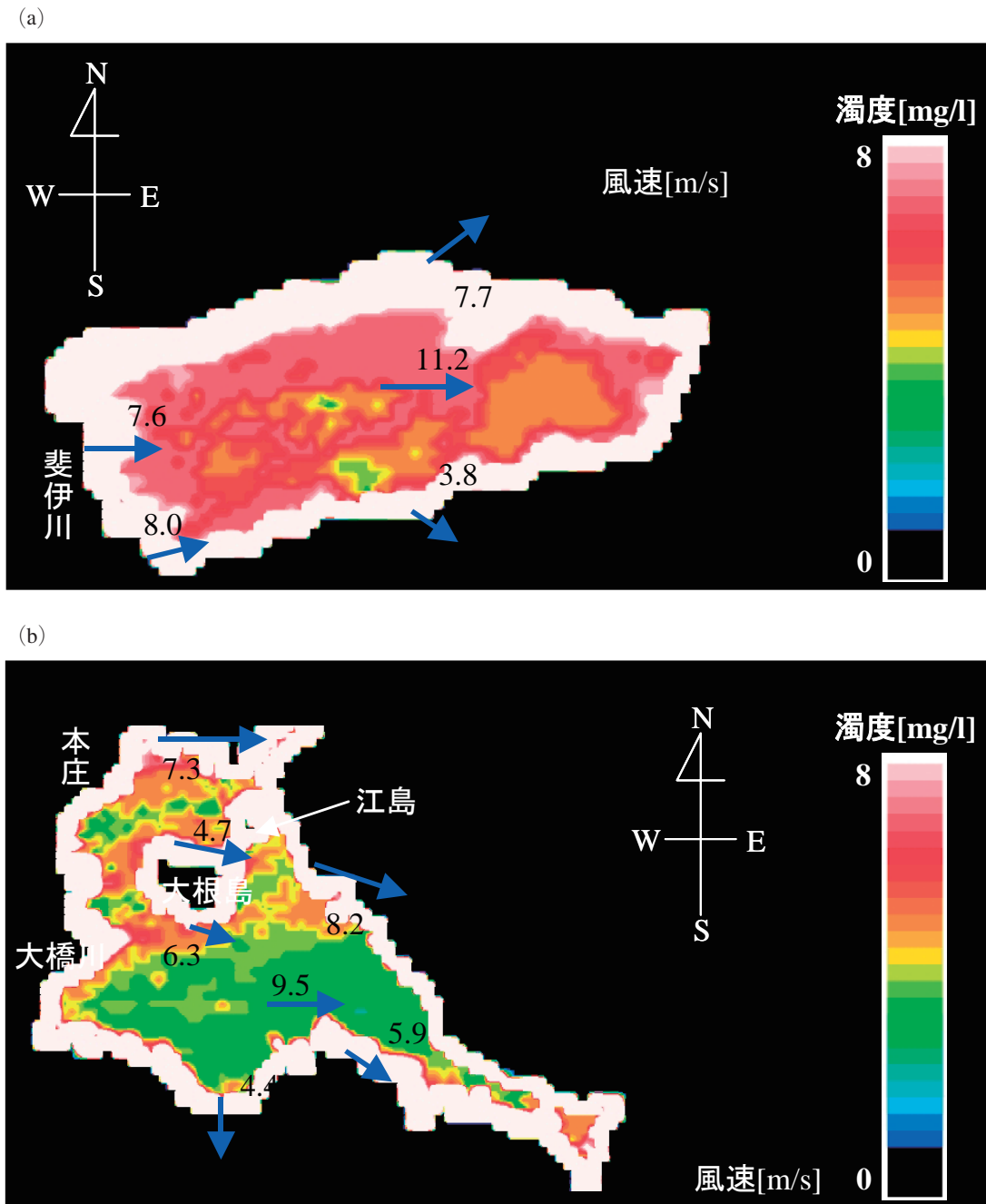


図 13. ASTER バンド 1 (緑バンド) の推定濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日). (a) 宍道湖 (b) 中海
Fig. 13. Turbidity map obtained from ASTER Band 1 (Green) (23 August, 2003). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi.

野々原伸吾・古津年章・下舞豊志・栗田賢一・作野裕司・松永恒雄・中山大介 (2005) 可視・赤外およびマイクロ波同時観測による宍道湖・中海環境観測, *LAGUNA*, 12: 23–35.

作野裕司 (2000) 衛星リモートセンシングによる宍道湖のクロロフィル a 濃度及び一次生産量のモニタリングに関する研究, 博士 (工) 論文, 東京大学,

190 pp.

作野裕司・山本正智・吉田武史・松永恒雄・古津年章・下舞豊志・高安克巳 (2004) 多時期 ASTER データを用いた宍道湖・中海の濁度・クロロフィル a 濃度推定, *LAGUNA*, 11: 147–153.

高安克巳 (編) (2001) 汽水域の科学, たたら書房, 鳥取, 183 pp.