

## 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

野々原伸吾<sup>1</sup>・古津年章<sup>1</sup>・下舞豊志<sup>1</sup>・栗田賢一<sup>1</sup>  
作野裕司<sup>2</sup>・松永恒雄<sup>3</sup>・中山大介<sup>4</sup>

### Observation of Lakes Shinji and Nakaumi using simultaneous visible/ infrared and microwave measurements

Shingo Nonohara<sup>1</sup>, Toshiaki Kozu<sup>1</sup>, Toyoshi Shimomai<sup>1</sup>, Ken'ichi Kurita<sup>1</sup>,  
Yuji Sakuno<sup>2</sup>, Tuneo Matsunaga<sup>3</sup> and Daisuke Nakayama<sup>4</sup>

**Abstract:** It is expected that visible/infrared and microwave remote sensings provide independent information from a target of interest. We have conducted simultaneous visible/infrared and Synthetic Aperture Radar (SAR) observations of a coastal lagoon area, specifically Lakes Shinji and Nakaumi. On September 21, 2000, simultaneous measurements by SPOT/HRV (visible and near-infrared) and ERS-2/AMI (SAR) were conducted. Turbidity distribution is obtained from the SPOT/HRV, and combined with streak-like SAR signatures. Borderline of lake water flow is then clearly identified from the two images. On August 23, 2003, simultaneous measurements by TERRA/ASTER (visible and near-infrared) and Pi-SAR (airborne SAR) were conducted. It is shown that the turbidity distribution from the ASTER and Pi-SAR images appear to correlate with the strong westerly wind field. It is also suggested from the Pi-SAR image that surface wind near the coast line is weaker than the center of the lakes.

**Key words:** coastal lagoon; remote sensing; SPOT; ASTER; SAR

#### 1. はじめに

日本最大の汽水域である宍道湖・中海は、水産資源の豊かな水域として知られているが、植物プランクトンの異常発生が起りやすく、富栄養化や水質汚濁が問題となっている。宍道湖・中海といった広域な汽水域環境を素早く把握するには、リモートセンシング技術が有効である。

これまで衛星搭載可視・近赤外放射計により、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、可視・近赤外域を用いたリモートセンシングは、太陽光の散乱を利用するものであり、夜間や悪天候時には観測出来ないことが問題点として挙げられる。それに比べマイクロ波リモートセンシングでは、時間や天候に関係なく観測できるという利点がある。また、外洋に比べ狭い汽水域では高空間分解能を有する観測が必要となるが、合成開口レーダ

<sup>1</sup> 島根大学大学院総合理工学研究科 Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

<sup>2</sup> 広島大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Hiroshima University, Higashihiroshima, 739-8527, Japan

<sup>3</sup> 独立行政法人国立環境研究所 Notional Institute for Environmental Studies, Tsukuba, 305-0053, Japan

<sup>4</sup> 島根大学汽水域研究センター Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

表 1. Pi-SAR の主な仕様.  
Table 1. Major specification of Pi-SAR.

項目	X-band SAR	L-band SAR
周波数	9.55 GHz	1.27 GHz
波長	3.14 cm	23.6 cm
レンジ方向分解能	1.5 m/3 m	3 m/5 m/10 m/20 m (Variable)
アジマス方向分解能	1.5 m (4-look Processing)	3 m (4-look Processing)
雑音レベル等価 NRCS	-40 dB 以下	-40 dB 以下
SN 比	10 dB 以上	10 dB 以上
Polarimetry	HH/HV/VH/VV	HH/HV/VH/VV
位相精度	5 deg.以下	5 deg.以下
入射角	10-75 deg.	20-60 deg.
NRCS 測定精度	0.5 dB 以下	0.5 dB 以下
アンテナサイズ	105 cm (L) × 19 cm (W)	155 cm (L) × 65 cm (W)
アンテナタイプ	Slotted Waveguide Array	Microstrip Patch Array
送信電力	8.3 kW	3.5 kW
送信パルス長	10 microsec.	10 microsec.

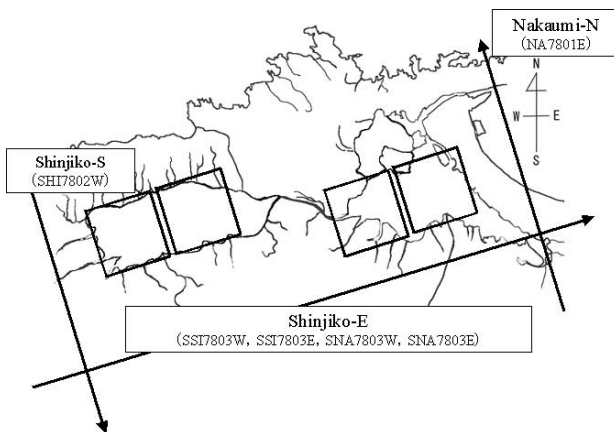


図 1. Pi-SAR フライトコースと映像領域.  
Fig. 1. Pi-SAR flight course and imaged areas.

(SAR)によりそれが可能となる。SARは仮想的に巨大アンテナを構築することで高分解能を得るレーダである(岡本, 1999)。これまで汽水域を対象としたSARによる研究では、衛星SARを用いた風速分布推定の可能性や、航空機SARによる周波数特性や風速特性が明らかにされている(Ichikawa et al., 2002; 市川ほか, 2002; 古津ほか, 2003; 栗田ほか, 2004)。

また、我々は2001年から2004年にかけて計4回、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)および宇宙航空研究開発機構(JAXA)により開発された多偏波・干渉計型合成開口レーダ(Pi-SAR)による汽水域観測を行った(市川ほか, 2002; 古津ほか, 2003; 栗田ほか, 2004)。

本論文では、2004年に行ったPi-SAR観測実験の

概要・結果及び、これまで行われていない光学センサ(可視・近赤外線)とSARの同時観測データを組み合わせた汽水域観測についてまとめる。

## 2. 宍道湖・中海 Pi-SAR 観測実験概要

### 2.1 Pi-SAR 観測実験概要

Pi-SARは2周波(L-band; 1.27 GHz, X-band; 9.55 GHz), また水平偏波(H)および垂直偏波(V)の送信が相互に行え、受信は水平・垂直偏波同時に行える多偏波のSARである。さらに空間分解能は、衛星搭載SAR(10~20 m)に比べ極めて高く(L-band; 3 m, X-band; 1.5 m), 狭い汽水域では詳細な観測が行えるため有効である。表1にPi-SARの主な仕様を示す。

これまで2001年11月10日, 2002年9月12日, 2003年8月23日の計3回, Pi-SARを用いた汽水域観測実験が行われてきた。そして新たなデータを得るため2004年8月2日に観測実験を行った。2004年度のPi-SARフライトコースと映像領域を図1に示す。Pi-SAR観測は, Nakaumi-N, Shinjiko-S, Shinjiko-Eの順で観測された。表2に観測時のフライトパラメータを示す。また, 付録1には各観測シーンの詳細を示す。

### 2.2 現場観測

Pi-SARが観測を行う時刻(午前11時前後)に合わせて、湖岸では風速計を用いて風向・風速を宍道湖4地点, 中海6地点で測定した。また, 2隻の小型船

表 2. Pi-SAR フライトパラメータ (2004 年 8 月 2 日).  
**Table 2.** Pi-SAR flight parameters (23 August 2003).

観測パス名	データ取得		飛行方向 (真方位)	アンテナ中心 オフナディア角	航空機高度 (Km)
	時刻 (JST)	航空機位置 (deg:min)			
Nakaumi-N	10:48 10:52	133:25.96/35:05.53_ 133:17.95/35:42.61	350.0 deg	50 deg	12.19
Shinjiko-S	11:02 11:06	132:42.51/35:44.05_ 132:50.53/35:06.97	170.0 deg	50 deg	12.19
Shinjiko-E	11:28 11:34	132:26.60/35:14.31_ 133:32.24/35:23.78	80.0 deg	50 deg	12.19

船を用いて水質および気象データを宍道湖・中海合わせて 15 地点で観測した。2004 年 8 月 2 日午前 11 時前後での風向・風速は、宍道湖でほぼ無風、中海で概ね南東の風 2~4 m/s であった。これらの観測データに宍道湖・中海湖心タワー (国土交通省) の風データを加え作成した風向・風速 (風ベクトル) マップを図 2 に示す。また、湖岸及び湖上で観測した風データを付録 2 にまとめる。

### 3. 同時観測データおよび濁度推定

#### 3.1 同時観測データ

2000 年 9 月 21 日は SPOT 1/HRV と ERS 2/AMI によって、また 2003 年 8 月 23 日は ASTER/VNIR と Pi-SAR によって汽水域が観測されている。HRV はフランスの衛星 SPOT シリーズに搭載されている光学センサで、可視・近赤外域 3 バンドのマルチスペクトルモード (空間分解能 20 m) と可視域 1 バンドのパンクロマチックモード (空間分解能 15 m) の観測が行える。AMI はヨーロッパ宇宙機構が打ち上げた地球観測衛星 ERS 2 に搭載されている合成開口レーダであり、周波数帯は C バンド (5.3 GHz) である。また ASTER は、日本とアメリカが共同開発した衛星 Terra に搭載された可視~熱赤外域までの 14 スペクトラムチャンネルを有する高性能光学センサである。今回の研究には、可視・近赤外域の VNIR (空間分解能 15 m) を用いた。SPOT 1/HRV, ERS 2/AMI, ASTER/VNIR の諸元を表 3 に示す。

#### 3.2 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、バンドに関係なく反射率も増加することが知られている。よって、現場の濁度データと衛星データに格納されているデジタル値 (Digital Number: DN) の相関を調べることにより濁度を推定することが可

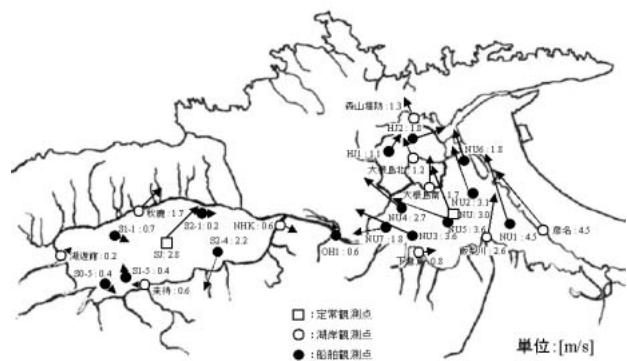


図 2. 風ベクトルマップ (2004 年 8 月 2 日).  
**Fig. 2.** Wind vectors map (2 August 2004).

能である。

#### 1) SPOT 1/HRV による濁度推定

SPOT 1/HRV による濁度推定は DN と現場濁度の単回帰分析により行う。以下にモデル式を示す。

$$T_{SPOT1} = \alpha B_i + \beta \quad (1)$$

ここでは  $T_{SPOT1}$  は SPOT 1 のデータから推定した濁度、 $\alpha$ 、 $\beta$  は定数であり、 $i$  はバンドの番号を示す。 $B_i$  は各バンドの DN 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 (N 35° 26' 50", E 132° 57' 45"), 中海湖心タワー (N 35° 27' 48", E 133° 11' 38"), 米子湾タワー (N 35° 25' 51", E 133° 18' 12") で観測している表層の濁度データを用いた。午前 11 時に観測された濁度データを表 4 に示す。また衛星データは、Ground Control Point (GCP) による精密幾何補正処理により現場観測点と対応付けた画素の DN を使用した。なお、DN はセンサノイズなどの誤差を軽減するため 3×3 ピクセルの平均 DN を用いた (作野, 2000)。図 3 に SPOT 1 各バンドの DN と濁度の関係を示す。求めた推定式はいずれも相関がよかったが、分布図作成には最も相関のよかったバンド 1 の推定式を用いた。

表 3. 各センサ諸元.

(a) SPOT 1, (b) ERS 2, (c) ASTER

**Table 3.** Sensor parameters.

(a) SPOT 1, (b) ERS 2, (c) ASTER

(a)

軌道要素	センサ名	バンド	波長帯 ( $\mu\text{m}$ )	空間分解能	観測幅
太陽同期軌道 高度：約 822 km 傾斜角：約 $99^\circ$ 回帰日数：26 日	HRV-XS	1 緑	0.50~0.59	20 m	60×60 km
		2 赤	0.61~0.68	20 m	
		3 近赤外	0.79~0.89	20 m	
	HRV-P	P 緑, 赤	0.51~0.73	10 m	

\*HRV: High Resolution Visible

(b)

軌道要素	センサ名	バンド	偏波	周波数	空間分解能	観測幅
太陽同期準回帰軌道 高度：約 777 km 傾斜角：約 $98.5^\circ$ 回帰日数：35 日	AMI SAR Mode	—	VV	5.3 GHz	30 m×30 m	99 km

\*AMI: Active Microwave Instrumentation

(c)

軌道要素	センサ名/ センサ構成	バンド	波長帯 ( $\mu\text{m}$ )	空間分解能	観測幅
太陽同期軌道 高度：約 750 km 傾斜角：約 $98.2^\circ$ 回帰日数：16 日	ASTER/VNIR	1 緑	0.52~0.60	15 m	60 km
		2 赤	0.63~0.69	15 m	
		3 N 近赤外	0.78~0.86	15 m	
		3 B 近赤外	0.78~0.86	15 m	

\*ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer

\*VNIR: Visible and Near-infrared Radiometer

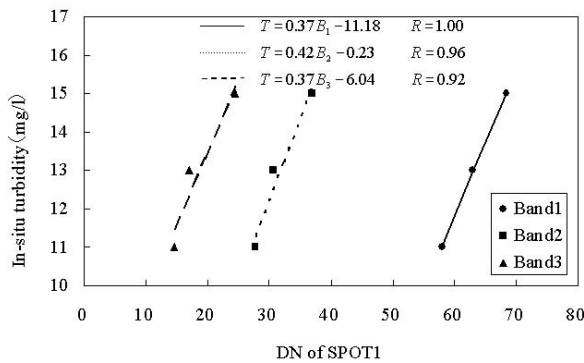


図 3. SPOT 1 各バンドの DN と濁度の関係.

**Fig. 3.** Relationship between DN of SPOT and in-situ turbidity.

$$T_{\text{SPOT1}} = 0.37 B_1 - 11.18 \quad (2)$$

2) ASTER による濁度推定

ASTER による濁度推定には作野ほか (2004) の重回帰分析により求められた濁度推定式を用いた. 以下に濁度推定式を示す.

表 4. 表層濁度データ (2000 年 9 月 21 日).

**Table 4.** Surface turbidity data obtained at operational stations (21 September 2000).

2004 年 8 月 2 日 (11 時 JST)	
観測点	濁度 (mg/l)
宍道湖湖心	11
中海湖心	13
米子湾	15

$$T_{\text{ASTER}} = 1.98 + 1.00 B_1 - 1.24 B_2 + 0.2513 B_3 \quad (3)$$

ここで  $T_{\text{ASTER}}$  は ASTER データから推定した濁度,  $B_1, B_2, B_3$  は各バンドの DN である. (3) 式が 2003 年 8 月 23 日 ASTER データを用いた濁度推定に妥当であるか検証を行った. (3) 式は国土交通省のタワーデータを用いて作成された推定式である. 詳しくは作野ほか (2004) を参照されたい. 推定式検証には小型船舶によって得られた濁度データを用いた. 図 4 に船舶観測ポイントを示し, 表 5 に船舶観測濁

表 5. 船舶濁度データ (2003 年 8 月 23 日).

**Table 5.** In-situ turbidity data obtained from ship measurements (23 August 2003).

観測点	観測時刻 (JST)	濁度 (mg/l)
HJ 2	9:53	45.5
HJ 1	10:21	4.2
NU 4	10:55	5.6
NU 3	11:16	4.9
NU 5	11:47	6.3
NU 2	12:10	7.0
NU 6	12:37	5.6
OH 1	9:05	1.4
S 2-3	10:14	2.1

度データを示す。(3)式により推定された濁度と船舶観測濁度の関係を図5に示す。図5より大きく外れている2点を除けば、比較的精度よく推定されており、濁度推定に妥当と判断した。

#### 4. 同時観測から得られる汽水域環境情報

##### 4.1 2000 年 9 月 21 日 (SPOT 1/HRV・ERS 2/AMI)

SPOT 1 のバンド 1 を用いて作成した濁度分布図を図 6 (a: 宍道湖, b: 中海) に風ベクトルと合わせて示す。この風ベクトルは、出雲空港出張所 (N 35° 24' 38", E 132° 53' 33") および松江地方气象台 (N 35° 27.4', E 133° 3.9') で午前 11 時に観測されたデータを用いた。

図 6(a) より、宍道湖では河川や北部で濁度が高いことがわかる。河川で濁度が高い原因として上流地域での降雨が考えられるが、2000 年 9 月 15 日から 21 日までは松江・出雲・大東で降雨はなく、その他に原因があると思われる。さらに斐伊川から流入する濁度の高い水は、宍道湖北部に流れていることがわかる。そして宍道湖湖心東部では、濁度の高い北部の水が南部に向かって流れている様子が見える。これより宍道湖内の水は時計回りに流れていることが推測できる。また、図 6(b) より、中海では本庄工区や湖心西部で濁度が低く、東部では全体的に高いことがわかる。

ERS 2 の NRCS\*1 画像を図 7(a: 宍道湖, b: 中海) に風ベクトルと合わせて示す。図 7(a) に示した風ベクトルより宍道湖では概ね東の風 3~5 m/s が吹い

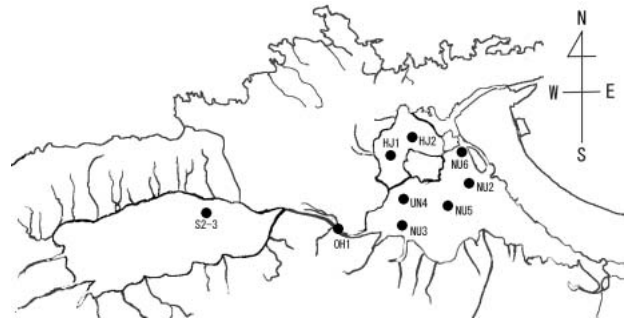


図 4. 船舶観測データ (2003 年 8 月 23 日).

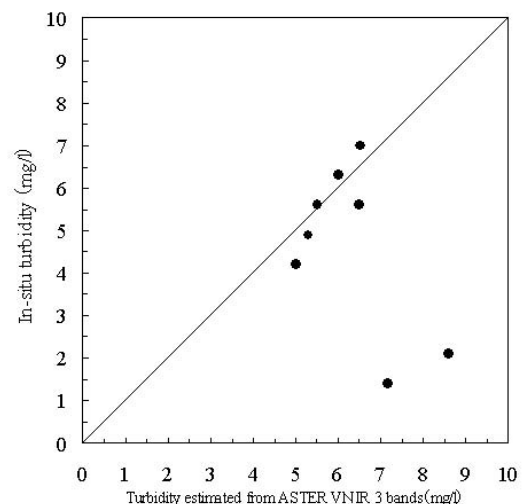
**Fig. 4.** In-situ turbidity data (23 August 2003).

図 5. (3) 式により推定された濁度と船舶観測濁度の関係。

**Fig. 5.** Relationship between turbidity estimated from equation (3), and in-situ turbidity.

ており、宍道湖全体で風波が励起されていたことが考えられる。そして、油などによる水面汚染によって風波の発達を抑えられる (古津ほか, 1996) ことから、河川から延びる筋状シグナチャ\*2 は、汚濁物質と思われるものが流出しているために生成されたと推測できる。図 7 (b) では、風速は中海湖心で西風 1.3 m/s と弱く、中海ではほとんど風波は励起されていなかったと考えられる。また、中海南西部や東部には筋状シグナチャが現れており、航跡や汚濁物質などによるものと推測されるが、今のところその成因は解明できていない。

図 8 に SPOT 1 の濁度分布図 (図 6 (a)) と ERS 2 の NRCS 画像 (図 7(a)) を合成したイメージを示す。図 6 (a) より推測した宍道湖内の水が時計回りに流

\*1 Normalized Radar Cross-Section (単位面積当たりの後方散乱断面積)

\*2 本論文ではシグナチャを「画像中に見られる比較的一様な NRCS 値とは異なる特異な NRCS 低下領域」と定義する (栗田ほか, 2004)。

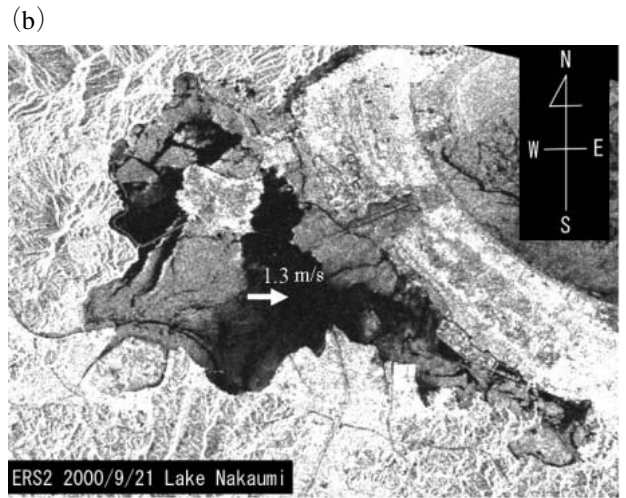
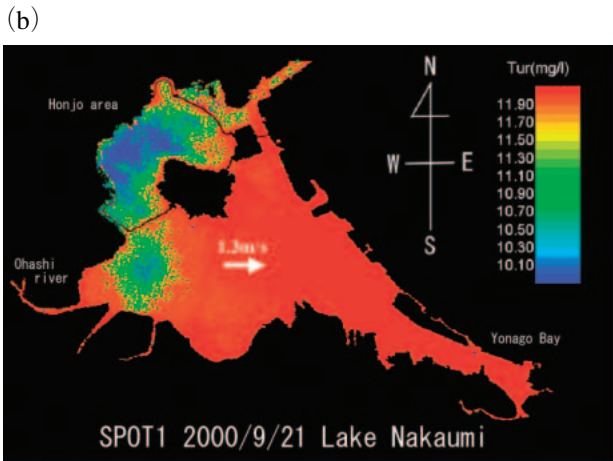
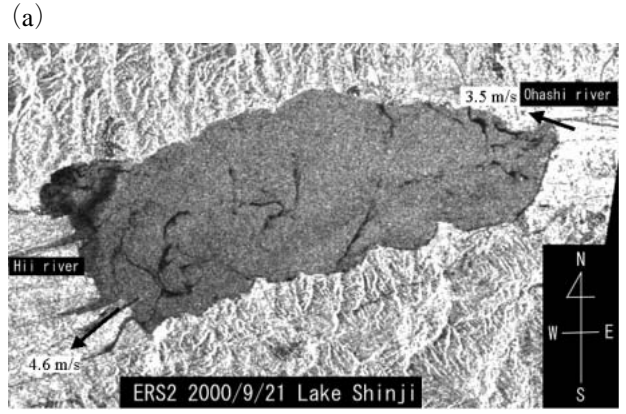
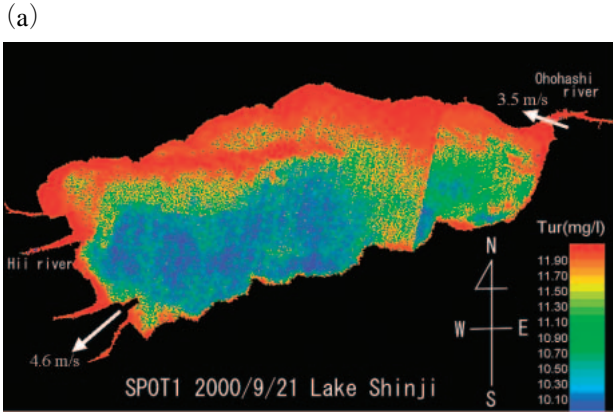


図 6. SPOT 1 濁度分布図 (2000 年 9 月 21 日).

(a) 宍道湖, (b) 中海

**Fig. 6.** Turbidity map obtained from SPOT 1 (21 September 2000). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi

図 7. ERS 2 の NRCS 画像 (2000 年 9 月 21 日).

(a) 宍道湖, (b) 中海

**Fig. 7.** NRCS image obtained from ERS 2 (21 September 2000). (a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi

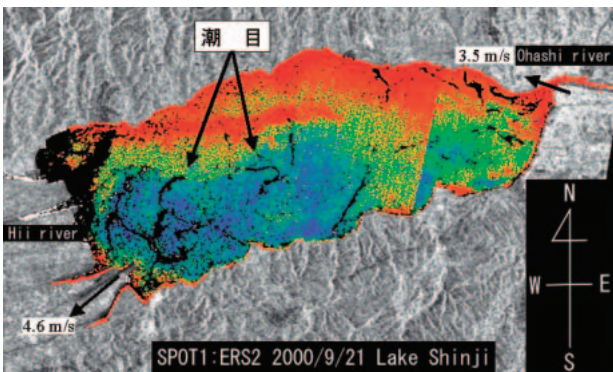


図 8. 可視・近赤外とマイクロ波合成イメージ (2000 年 9 月 21 日).

**Fig. 8.** Synthesi Visible/infrared and microwave image (21 September 2000).

れるという情報から、宍道湖内の水の流れは北部と南部で逆となっており、さらに図 8 の宍道湖中央部に見える曲がったスリックは水の流れに沿ったものと考えられる。これらの情報より宍道湖中央部では、流れの違いにより潮目が形成されていると推測

できる。

#### 4.2 2003 年 8 月 23 日 (ASTER・Pi-SAR)

ASTER データより作成した濁度分布図を図 9(a: 宍道湖, b: 中海) に風ベクトルと合わせて示す。2003 年 8 月 23 日は概ね西風 7 m/s 以上であった。また、宍道湖・中海付近では 21 日から 23 日まで降雨は観測されなかった。よって宍道湖・中海とも水深の浅い湖岸で濁度が高いが、これは風波によって生じる湖底泥の攪乱の影響を受けやすいからと考えられる。また中海では、2000 年 9 月 21 日と同様に本庄工区や中海湖心西部で濁度が低く、東部で高いという結果が得られた。

次に Pi-SAR による NRCS 画像を図 10 (a: 宍道湖 X-band, b: 宍道湖 L-band, c: 中海 X-band, d: 中海: L-band) に示す。なお、2003 年 Pi-SAR 観測についての詳細は栗田ほか(2004)を参照されたい。得られた NRCS 画像より、X-band では風向・風速に対応

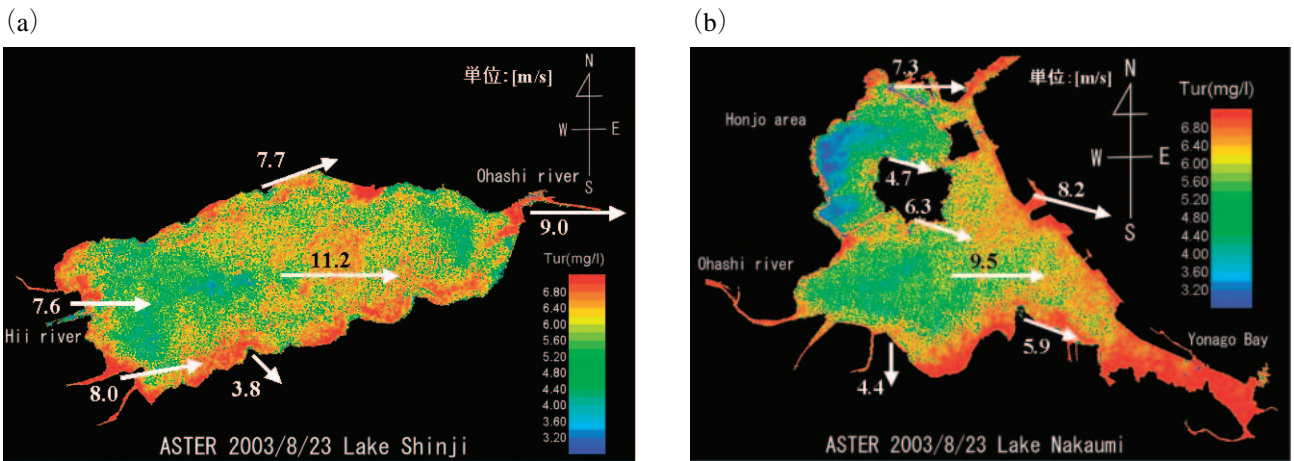


図 9. ASTER 濁度分布図 (2003 年 8 月 23 日).

(a) 宍道湖, (b) 中海

Fig. 9. Turbidity map obtained from ASTER (23 August 2003).

(a) Lake Shinji (b) Lake Nakaumi

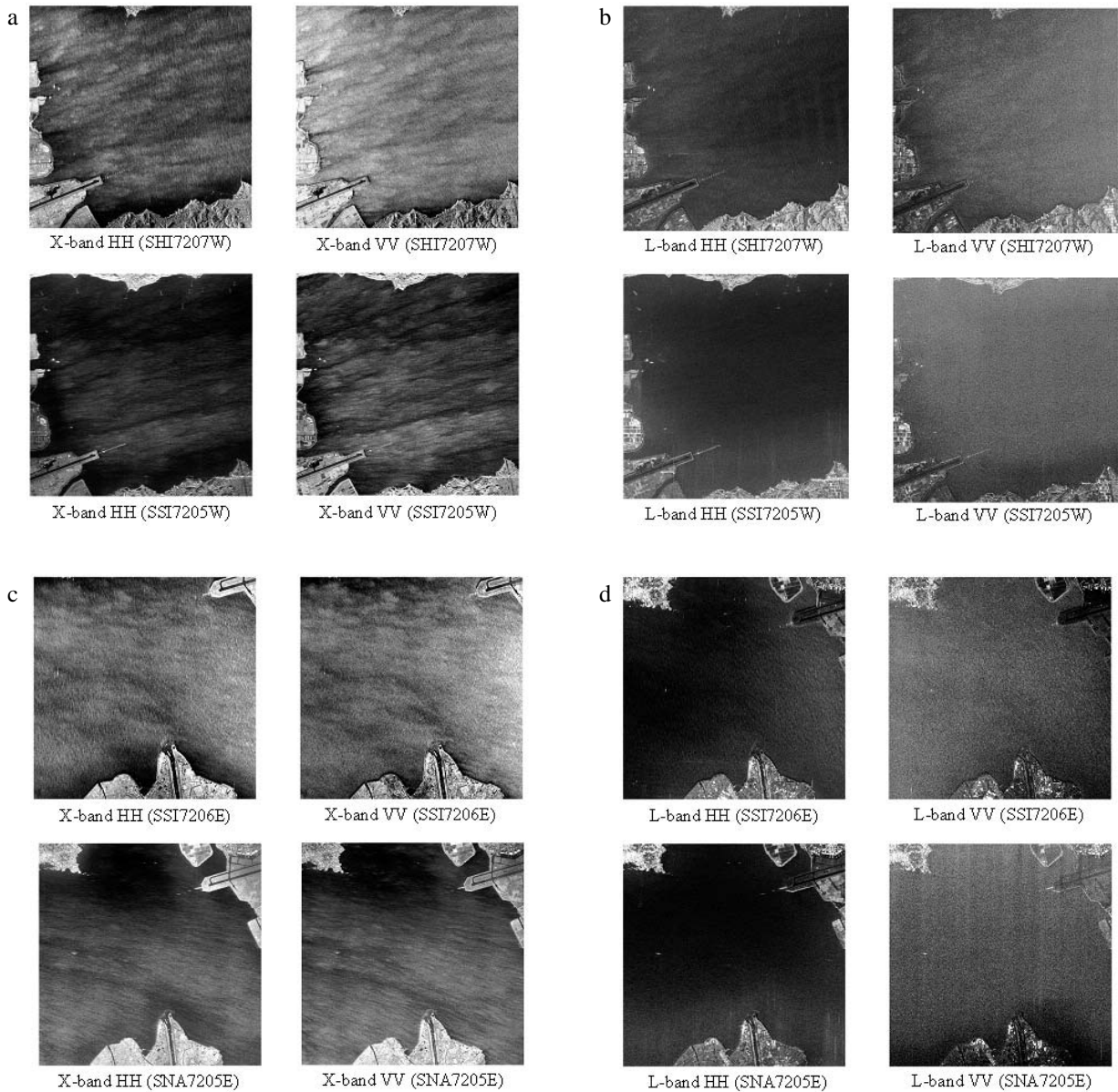


図 10. Pi-SAR の NRCS 画像.

Fig. 10. NRCS image of Pi-SAR (23 August 2003).

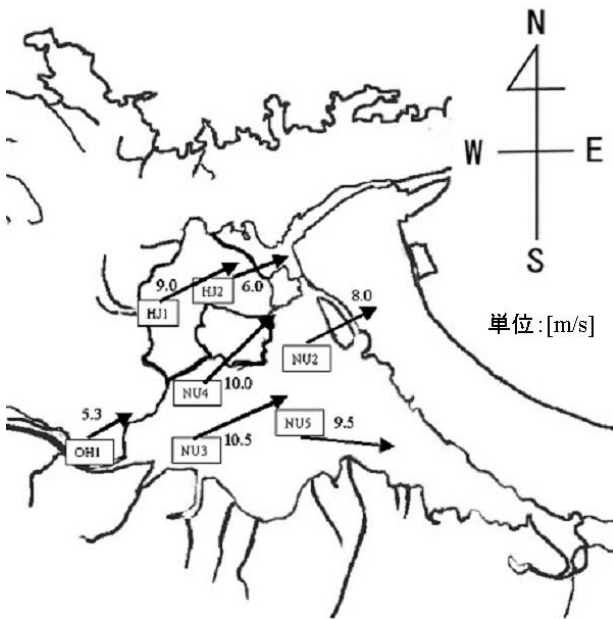


図 11 船舶風データ (2003 年 8 月 23 日)  
Fig.11. In-situ wind data (23 August 2003).

した筋が見られるが、L-band では見られなかった。また、X-band の画像では湖岸で NRCS が小さくなっている様子がうかがえる。ここで、2003 年 8 月 23 日に船舶観測によって得られた湖上の風ベクトルを図 11 に示す。これより、中海での風速は湖岸より湖上で強いことがわかる。単純に陸地の影響とは言えないが、その風速の差が図 10 (c) に示した X-band SAR 映像の湖心部と湖岸の NRCS 値の差に表れているものと考えられる。

## 5. ま と め

2004 年度に行った宍道湖・中海 Pi-SAR 観測実験の概要および現場観測データを報告した。また、2000 年および 2003 年の光とマイクロ波同時観測データを用いて汽水域環境情報を調べた。

2000 年では、光学センサ(可視・近赤外域)を用いて濁度推定を行い、分布図を作成することにより汽水湖全体の濁度分布状況を把握した。さらにその濁度分布図と、光学センサでは得られないシグナチャや風の情報が得られる SAR 画像を組み合わせることにより、宍道湖では潮目の情報が得られた。

2003 年は、濁度分布と風向・風速に対応がうかがえた。宍道湖では約 7 m/s の西風が吹いており、湖岸や宍道湖東部で濁度が高かった。中海では約 6 m/s の西風が吹いており、東部の湖岸や米子湾で濁度

が高かった。また濁度分布図では湖岸で濁度が高かったのに対し、Pi-SAR の X-band 画像では湖岸で NRCS 値が小さくなる傾向があった。これは湖岸および湖上の風観測データから、陸地の影響により風が弱まったためだと思われる。本論文で述べた結果は、異なった情報の得られる光とマイクロ波を用いることで、より詳しい汽水域の環境情報を得られることを示唆している。今後、同時観測されたデータを組み合わせることで、更に有用な情報を抽出するための検討が必要である。

## 謝 辞

本研究で使用した Pi-SAR データは宇宙航空研究開発機構 (JAXA) および独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) から提供された。ERS 2/AMI データはヨーロッパ宇宙機構 (ESA) 所有し、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から提供された。SPOT 1 データはフランス国立宇宙研究センター (CNES) が所有し、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から提供された。ASTER データは「ASTER データ利用に関する共同研究」により提供された。また、気象およ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、気象庁出雲空港主張所ならびに美保空港主張所から提供された。これら関係機関に深謝する。

## 参 考 文 献

- Ichikawa, K., Kozu, T., Shimomai, T., Sakuno, Y., Matsunaga, T., Takayasu, K. (2002) Feasibility of spaceborne SAR monitoring of coastal lagoon environments, 23rd International Symp. on Space Technology and Science, Matsue, May 26-June 2.
- 市川啓祐・古津年章・下舞豊志・高安克己・作野祐司・松永恒雄 (2002) 衛星搭載合成開口レーダによる汽水域の環境観測：湖上風速分布推定可能性の予備検討, LAGUNA, 9, 63-75.
- 古津年章・浦塚清峰・中村健治・尾嶋武之 (1996) 改良型航空機搭載映像レーダによる海洋油汚染観測, 日本リモートセンシング学会誌, 16, 23-35.
- 古津年章・池内伸行・市川啓祐・下舞豊志・作野祐司・中山大介・高安克己 (2003) 高分解能航空機搭載合成開口レーダによる汽水域観測：初期解析結果, LAGUNA, 10, 73-86.
- 栗田賢一・古津年章・下舞豊志・作野祐司・松永恒雄・中山大介・高安克己 (2004) 航空機搭載合成開



口レーダによる宍道湖・中海観測：散乱係数の風速依存性とシグナチャ解析, LAGUNA, 11, 155–169.

岡本謙一(編)(1999)地球環境計測, オーム社, 東京, 324 pp.

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.

作野祐司・山本正智・吉田武史・松永恒雄・古津年章・下舞豊志・高安克己(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.

付録1. Pi-SAR 映像データ X-band(2004) (CRL 提供データの“info ファイル”抜粋. L-band では, IMAGE\_SIZE が2400 となる以外ほぼ同じ.)

2004 年 8 月 2 日

SNA7801E		SNA7803E	
SCENE_START_TIME	= 2004/08/02/01:50:39	SCENE_START_TIME	= 2004/08/02/02:32:11
SCENE_END_TIME	= 2004/08/02/01:51:11	SCENE_END_TIME	= 2004/08/02/02:32:45
LATE_NEAR_LAT	= +035:29:44.367	LATE_NEAR_LAT	= +035:26:35.806
LATE_NEAR_LONG	= +133:14:32.213	LATE_NEAR_LONG	= +133:15:07.445
LATE_FAR_LAT	= +035:29:18.627	LATE_FAR_LAT	= +035:29:47.589
LATE_FAR_LONG	= +133:10:36.311	LATE_FAR_LONG	= +133:14:26.691
EARLY_NEAR_LAT	= +035:26:31.373	EARLY_NEAR_LAT	= +035:26:02.411
EARLY_NEAR_LONG	= +133:15:03.689	EARLY_NEAR_LONG	= +133:11:13.309
EARLY_FAR_LAT	= +035:26:05.633	EARLY_FAR_LAT	= +035:29:14.194
EARLY_FAR_LONG	= +133:11:07.787	EARLY_FAR_LONG	= +133:10:32.555
GROUND_RG_NEAR	= 9.2485603E+03	GROUND_RG_NEAR	= 9.9984880E+03
GROUND_RG_CENTER	= 1.2247935E+04	GROUND_RG_CENTER	= 1.2997863E+04
GROUND_RG_FAR	= 1.5247310E+04	GROUND_RG_FAR	= 1.5997238E+04
INC_ANGLE_NEAR	= 3.5906479E+01	INC_ANGLE_NEAR	= 3.7999723E+01
INC_ANGLE_CENTER	= 4.3797054E+01	INC_ANGLE_CENTER	= 4.5444787E+01
INC_ANGLE_FAR	= 5.0045608E+01	INC_ANGLE_FAR	= 5.1340589E+01
SCENE_SIZE_AZ	= 6.0000000E+03	SCENE_SIZE_AZ	= 6.0000000E+03
SCENE_SIZE_GR	= 6.0000000E+03	SCENE_SIZE_GR	= 6.0000000E+03
IMAGE_SIZE_AZ	= 4800	IMAGE_SIZE_AZ	= 4800
IMAGE_SIZE_GR	= 4800	IMAGE_SIZE_GR	= 4800

2004 年 8 月 2 日

SHI7802W		SSI7803W	
SCENE_START_TIME	= 2004/08/02/02:03:44	SCENE_START_TIME	= 2004/08/02/02:29:57
SCENE_END_TIME	= 2004/08/02/02:04:18	SCENE_END_TIME	= 2004/08/02/02:30:31
LATE_NEAR_LAT	= +035:24:06.879	LATE_NEAR_LAT	= +035:24:40.992
LATE_NEAR_LONG	= +132:53:04.166	LATE_NEAR_LONG	= +132:56:57.531
LATE_FAR_LAT	= +035:24:41.522	LATE_FAR_LAT	= +035:27:52.721
LATE_FAR_LONG	= +132:56:58.160	LATE_FAR_LONG	= +132:56:16.413
EARLY_NEAR_LAT	= +035:27:18.478	EARLY_NEAR_LAT	= +035:24:07.279
EARLY_NEAR_LONG	= +132:52:21.840	EARLY_NEAR_LONG	= +132:53:03.587
EARLY_FAR_LAT	= +035:27:53.121	EARLY_FAR_LAT	= +035:27:19.008
EARLY_FAR_LONG	= +132:56:15.834	EARLY_FAR_LONG	= +132:52:22.469
GROUND_RG_NEAR	= 9.27E+03	GROUND_RG_NEAR	= 1.12E+04
GROUND_RG_CENTER	= 1.23E+04	GROUND_RG_CENTER	= 1.42E+04
GROUND_RG_FAR	= 1.53E+04	GROUND_RG_FAR	= 1.72E+04
INC_ANGLE_NEAR	= 3.60E+01	INC_ANGLE_NEAR	= 4.13E+01
INC_ANGLE_CENTER	= 4.38E+01	INC_ANGLE_CENTER	= 4.81E+01
INC_ANGLE_FAR	= 5.01E+01	INC_ANGLE_FAR	= 5.34E+01
SCENE_SIZE_AZ	= 6.00E+03	SCENE_SIZE_AZ	= 6.00E+03
SCENE_SIZE_GR	= 6.00E+03	SCENE_SIZE_GR	= 6.00E+03
IMAGE_SIZE_AZ	= 4800	IMAGE_SIZE_AZ	= 4800
IMAGE_SIZE_GR	= 4800	IMAGE_SIZE_GR	= 4800

2004年8月2日

SSI7803E		SNA7803W	
SCENE_START_TIME	= 2004/08/02/02:30:21	SCENE_START_TIME	= 2004/08/02/02:32:11
SCENE_END_TIME	= 2004/08/02/02:30:56	SCENE_END_TIME	= 2004/08/02/02:32:45
LATE_NEAR_LAT	= +035:25:36.041	LATE_NEAR_LAT	= +035:26:35.806
LATE_NEAR_LONG	= +133:00:07.586	LATE_NEAR_LONG	= +133:15:07.445
LATE_FAR_LAT	= +035:28:47.755	LATE_FAR_LAT	= +035:29:47.589
LATE_FAR_LONG	= +132:59:26.363	LATE_FAR_LONG	= +133:14:26.691
EARLY_NEAR_LAT	= +035:25:02.245	EARLY_NEAR_LAT	= +035:26:02.411
EARLY_NEAR_LONG	= +132:56:13.637	EARLY_NEAR_LONG	= +133:11:13.309
EARLY_FAR_LAT	= +035:28:13.959	EARLY_FAR_LAT	= +035:29:14.194
EARLY_FAR_LONG	= +132:55:32.414	EARLY_FAR_LONG	= +133:10:32.555
GROUND_RG_NEAR	= 1.21E+04	GROUND_RG_NEAR	= 1.00E+04
GROUND_RG_CENTER	= 1.51E+04	GROUND_RG_CENTER	= 1.30E+04
GROUND_RG_FAR	= 1.81E+04	GROUND_RG_FAR	= 1.60E+04
INC_ANGLE_NEAR	= 4.34E+01	INC_ANGLE_NEAR	= 3.80E+01
INC_ANGLE_CENTER	= 4.97E+01	INC_ANGLE_CENTER	= 4.54E+01
INC_ANGLE_FAR	= 5.47E+01	INC_ANGLE_FAR	= 5.13E+01
SCENE_SIZE_AZ	= 6.00E+03	SCENE_SIZE_AZ	= 6.00E+03
SCENE_SIZE_GR	= 6.00E+03	SCENE_SIZE_GR	= 6.00E+03
IMAGE_SIZE_AZ	= 4800	IMAGE_SIZE_AZ	= 4800
IMAGE_SIZE_GR	= 4800	IMAGE_SIZE_GR	= 4800

## 付録2. 風観測データ

(a) 宍道湖・中海湖上風観測データ

2004年8月2日 宍道湖

時刻 (JST)	観測点	北緯	東経	気温 [°C]	風向 [deg]	風速 [m/s]
10:42	S2-4	35°26'30"	132°59'58"	27	20	2.2
11:13	S0-5	35°24'59"	132°53'50"	27	318	0.4
11:30	S1-5	35°25'23"	132°55'18"	27	170	0.4
11:45	S1-1	35°27'20"	132°54'57"	27	292	0.7
12:05	S2-1	35°28'00"	132°59'38"	27	270	0.2
12:38	OH 1	35°27'10"	133°06'10"	29	162	0.6
12:53	NU 7	35°27'03"	133°08'21"	29	80	1.8

2004年8月2日 中海

時刻 (JST)	観測点	北緯	東経	気温 [°C]	風向 [deg]	風速 [m/s]
8:49	HJ 2	35°30'30"	133°10'28"	25	250	1.8
9:03	HJ 1	35°30'20"	133°09'01"	25	214	1.1
9:28	NU 4	35°28'22"	133°09'09"	25	130	2.7
9:42	NU 3	35°27'32"	133°09'28"	25	114	3.6
9:58	NU 5	35°27'48"	133°11'37"	25	110	3.6
11:09	NU 1	35°27'30"	133°14'01"	26	162	4.5
11:26	NU 2	35°29'20"	133°12'22"	26	160	3.1
11:35	NU 6	35°30'21"	133°12'31"	27	160	1.8

(b) 定常観測点の風観測データ (2004年8月2日)

	(a) 美保空港出張所			(b) 出雲空港出張所		
時刻 [hour:min]	10:00	11:00	12:00	10:00	11:00	12:00
風向 [deg]	160	170	190	290	Variable	180
風速 [m/s]	3.6	4.1	2.6	2.0	1.0	2.0
気温 [°C]	25.0	26.0	27.0	25.5	26.9	27.3
湿度 [%]	94	94	89	86	79	81
気圧 [hPa]	1007.0	1006.0	1006.0	1007.2	1007.0	1007.0
	(c) 中海湖心			(d) 宍道湖湖心		
時刻 [hour:min]	10:00	11:00	12:00	10:00	11:00	12:00
風向 [deg]	135	158	158	293	225	203
風速 [m/s]	4.9	3.0	2.7	2.4	2.8	1.1

(c) 湖岸の風観測データ (2004年8月2日)

時刻 (JST)	(a)森山堤防		(b)大根島北		(c)大根島南		(d)彦名		(e)飯梨川河口	
	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速
10:40	SSE	3.7	ESE	2.1	SE	2.2	SSE	5.9	SSE	2.6
10:42	SSE	3.8	SE	2.8	SSE	3.1	S	4.6	S	2.5
10:44	SSE	4.1	SSE	3.0	SSE	3.5	SSE	4.9	SSW	3.2
10:46	SSW	4.1	SSE	2.9	SSE	3.1	S	5.1	SSW	2.4
10:48	SW	3.8	ESE	1.5	SSE	3.0	SSE	5.4	S	2.7
10:50	SSW	3.7	SE	2.1	SSE	1.5	SSE	4.9	SSE	3.1
10:52	S	3.2	SE	1.1	SSE	2.5	SSE	4.7	S	3.5
10:54	S	3.3	SSE	2.0	SSE	1.9	SSE	4.8	S	2.6
10:56	SW	3.0	SSE	0.8	ESE	1.0	SSE	5.2	S	1.9
10:58	S	2.8	SSE	1.0	S	2.1	SE	5.2	SSW	2.2
11:00	S	2.0	SE	1.1	S	1.5	SE	5.0	S	2.6
11:02	S	2.0	S	1.2	S	2.3	SSE	4.4	S	2.1
11:04	SW	2.1	SSE	2.3	S	1.4	SSE	4.5	SSW	1.9
11:06	S	1.1	S	0.9	S	1.1	SSE	4.4	S	3.0
11:08	SSE	0.5	SSE	0.1	S	1.9	SE	4.4	SSW	2.9
11:10	SSE	0.1	SSW	1.5	S	2.1	SSE	4.1	S	2.8
11:12	S	1.4	SSW	1.2	S	2.0	SE	4.3	SSW	2.8
11:14	SSW	1.2	SSW	0.8	SSE	1.2	SSE	4.7	S	2.4
11:16	SSW	0.4	-	0.0	SSE	1.1	-	-	SSW	1.4
11:18	S	1.3	-	0.0	SSE	1.9	-	-	S	2.0
11:20	S	0.1	SE	0.9	S	2.0	SE	4.0	SSW	2.1
11:22	SSW	0.9	S	0.1	SSE	2.2	SSE	3.8	SW	1.0
11:24	SSW	0.1	SSW	0.2	SE	2.7	SE	3.5	SSW	1.0
11:26	-	0.0	SSW	1.1	SE	2.5	SSE	3.9	SSW	1.0
	(高さ 1.5m)		(高さ 2.0m)		(高さ 1.8m)		(高さ 3.5m)		(高さ 4.0m)	
時刻 (JST)	(f)下意東		(g)秋鹿		(h)来待		(i)NHK 松江放送所		(j)湖遊館	
	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速
10:40	WSW	1.5	W	2.0	-	0.0	NW	1.0	E	1.2
10:42	SSE	0.2	WNW	1.2	-	0.0	-	0.0	ENE	0.9
10:44	SSW	0.6	WSW	1.8	-	0.0	N	0.6	NE	0.6
10:46	SE	1.5	WSW	1.6	-	0.0	NW	0.5	-	0.0
10:48	SE	0.7	WSW	1.6	ENE	0.1	ESE	1.0	NE	0.1
10:50	WSW	1.4	W	1.8	-	0.0	NNW	0.9	ENE	0.3
10:52	WNW	1.0	W	1.7	-	0.0	N	0.1	E	0.3
10:54	SW	1.2	WSW	1.4	-	0.0	N	1.2	-	0.0
10:56	SW	0.5	WSW	2.1	-	0.0	-	0.0	-	0.0
10:58	SW	0.1	SW	2.0	-	0.0	NW	1.9	-	0.0
11:00	WNW	1.0	SW	1.8	-	0.0	NW	2.0	S	0.1
11:02	WNW	0.8	SW	2.1	-	0.0	NW	0.5	S	0.3
11:04	WNW	1.6	SW	1.8	-	0.0	NW	1.0	-	0.0
11:06	SW	1.0	SW	1.6	-	0.0	WNW	0.4	-	0.0
11:08	W	0.1	SW	1.8	E	1.2	WNW	0.8	WSW	0.2
11:10	SW	0.4	SW	1.1	E	2.2	WNW	0.6	W	0.5
11:12	SW	0.4	SW	0.1	E	0.3	NW	0.5	W	0.1
11:14	ESE	0.1	WSW	0.9	-	0.0	NW	0.4	WNW	0.3
11:16	SSE	1.5	WSW	2.3	E	0.3	-	0.0	-	0.0
11:18	SSE	2.5	WSW	1.8	-	0.0	NW	0.5	WNW	0.1
11:20	S	2.0	WSW	1.7	-	0.0	NW	0.8	NW	0.2
11:22	SE	2.2	W	2.0	-	0.0	-	-	WNW	0.1
11:24	SSE	3.0	WNW	1.8	-	0.0	-	-	WNW	0.2
11:26	SSE	1.5	W	1.1	-	0.0	-	-	-	0.0
	(高さ 3.0m)		(高さ 1.8m)		(高さ 3.0m)		(高さ 4.0m)		(高さ 3.0m)	

※風速の単位は m/s