衛星リモートセンシングによる中海・宍道湖の 水質濃度マッピング(その1)

ーアオコ発生時の透明度, 懸濁物質濃度および クロロフィル a 濃度の面的把握一

作野裕司¹・中山大介²・松永恒雄³・高安克已⁴・六川修一¹・ 中村幹雄⁵・國井秀伸⁴

Water quality mapping in Lake Shinji and Lake Nakaumi using satellite remote sensing data (part1)

-Horizontal distribution of secchi depth, suspended substance concentration and chlorophyll-a concentration under algal bloom condition-

Yuji Sakuno¹, Daisuke Nakayama², Tsuneo Matsunaga³, Katsumi Takayasu⁴, Shuichi Rokugawa¹, Mikio Nakamura⁵ and Hidenobu Kunii⁴

Abstract : Simultaneous water quality research with satellite observation were carried out in Lake Shinji and Lake Nakaumi from June to November, 1997. The objective of this report is to know horizontal distributions of Secchi depth (SD), suspended substance concentration (SSC) and chlorophyll-a (C) in Lake Shinji and Lake Nakaumi, 1997. Average SD ranges 1.0-1.3 m, average SS ranges 5-8mg/l, average C ranges 25-42 μ g/l in Lake Shinji. C is the most variable of the three water quality parameters in Lake Shinji. Honjo area water located in the northern part of Lake Nakaumi, showed higher SD, lower SS and lower C than the Nakaumi area water. Under algal bloom condition, Lake Shinji water showed lower SD, higher SS and much higher C than Lake Nakaumi water. An empirical approach of relating SPOT2/HRV data with simultaneous C data through simple linear regression analysis was employed. Highly significant relationships (r=0.79) were identified between HRV band1 (Green) and C. With the linear regression model (C=3.864+HRV band1x8.64), C map in Lake Shinji and Lake Nakaumi was displayed. The C map in Lake Shinji showed wholly high concentration, especially in the northern parts of the lake.

Key words : remote sensing, SPOT2/HRV, algal bloom, Lake Shinji, Lake Nakaumi

Ⅰ 東京大学大学院工学系研究科

Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Bunkyo-ku 113-8656, Japan

- ² 島根大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan
- ³ 工業技術院地質調査所 Geological Survey of Japan, Tsukuba 305-0045, Japan

⁴ 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

⁵ 島根大学水産試験場三刀屋内水面分場 Mitoya Branch of Shimane Prefectural Fisheries Experimental Station, Mitoya 690-2405, Japan

184

表1 1997 年衛星同期調査結果の概要 **Tab.1** Results of simultaneous water quality research

with satellite in Lake Shinji and Lake Nakaumi, 1997.

No.	Date	Satellite or	Sensor	Path-Row	Imagery	Field Data
		Airborne				
1	97.6.3	JERS-1	OPS	76-241	Available	Available
2	97.6.4	Landsat-5	TM	112-35	-	Available
з	97.7.13	SPOT-2	HRV	317-279	-	Available
4	97.8.8	SPOT-2	HRV	317-279	Available	Available
5	97.8.11	Airborne	MSS	-	-	Available
6	97.9.24	Landsat-5	ТМ	112-35	-	Available
7	97.10.9	SPOT-2	HRV	317-279	Available	Available
		Airborne	MSS	-	Available	Available
8	97.10.13	JERS-1	OPS	76-241	-	Available

はじめに

1997年は、宍道湖におけるアオコの発生やしじ みの大量死など、水質状況の変化が起因したと思わ れる異常な現象が起こり、漁業関係者、地元住民や 行政関係者などに水質悪化への不安が広がった.こ のような不安を解消するために、湖の水質状況をリ アルタイムでモニタリングするシステムの構築が求 められている.水質リモートセンシング技術は広域 性、瞬時性、周期性に優ており、モニタリングツー ルとしての活用が期待されている.

汽水湖を対象にしたリモートセンシング研究は Jensen et al. (1989), Lopez Garcia and Caselles (1990) などの報告があるが、海洋や淡水湖の研究 例と比較するとまだその数は少なく,実用段階に達 していない。また我が国の汽水域におけるリモート センシング研究は、皆無に等しい. 宍道湖・中海で は鳥井ほか(1980)や井岡ほか(1980)が、航空機 MSS を使って流れのパターンや水質量推定の試み を行っているが、その後の報告はない、そこで筆者 らは、現在稼働中または今後打ち上げられる高分解 能光学衛星センサー(撮影周期は数週間)を組み合 わせて、数日周期で汽水湖の水質をモニタリングす るための研究を進めている.この研究のテストサイ トとして, 宍道湖を選び衛星が飛来する日時と同 期した水質調査(以下衛星同期調査と呼ぶ)を行っ てきた(作野ほか, 1996, 1997a; 松永ほか, 1996; 1997年の調査結果は本報, 付表 1~8 に掲載). 現在 までに 26 回の衛星同期調査を試み、そのうち 8 日 分(6月~11月の毎月)の衛星・水質データセット が得られている(付表 9).特に雲がほとんど見ら れない(Cloud-free) 画像データは, 1995 年 11 月 7 日,1996年10月11日,1997年10月9日の3日で ある. 1997 年は宍道湖の他に中海(本庄工区を含 む)も調査の対象とした.

本報告では 1997 年の調査結果として, 1995 年の 調査から継続して報告している,衛星同期調査結果 による宍道湖の透明度,懸濁物質(Suspended Sub-

表 2 衛星通過当時の気象データ(松 江地方気象台の観測データ)

Tab.2 Meteorological data of satellite overfright (Data from Matue local mete-orological station)

Date	Time	Air temp.	Air press.	Wind	Wind speed
	(JST)	(°C)	(hPa)	direction	(m/s)
97.6.3	11:00am	24.6	1009.6	W	4.0
97.8.8	11:00am	33.6	1002.4	SW	5.0
97.10.9	11:00am	21.0	1015.7	W	2.5

stance,以下 SS と略して呼ぶ)濃度およびクロロフィルa(Chlorophyll-a,以下 Chl-a と略して呼ぶ) 濃度の水平分布特性,同様に中海での透明度,SS 及び Chl-a の水平分布特性について記載する.さら に 1997 年に行った衛星同期水質調査では宍道湖に アオコが発生した時の水質データと衛星データを取 得することができた.したがってアオコ発生時の宍 道湖・中海の透明度,SS および Chl-a の水平分布 特性についても報告する.さらにアオコ発生時に取 得した衛星画像を使って,宍道湖・中海の表層 Chla 濃度マップを作成した.その結果,宍道湖北岸の 高濃度分布,本庄工区の水域(以下本庄水域と略し て呼ぶ)の低濃度分布が明瞭に表現されたのでここ に報告する.

方

現地データの取得

衛星が宍道湖,中海の上空を飛来する日時に合わ せて水質調査を行った.1997年に行った調査結果 の概要を表1に示す.また衛星通過時の気象データ を表2に示す.水質調査測点は,図1に示すよう に宍道湖が12点,中海が6点(うち3点は本庄工 区),計18点である.また以下に議論はしないが, 8月11日に美保湾において水質調査(東西方向に3 点)を行っている(付表5を参照).位置決定は百 m程度の測定誤差を伴うGPS(日本無線製)を使 用した.データ取得は2つの異なる調査船を使って, 衛星が通過する午前11時前後の約1時間以内で行った.

法

水質の測定法については作野ほか(1996)が詳細 に示しているので,ここでは簡単に記載する.透明 度はセッキ板で測定した.SS および Chl-a 測定用 サンプルはバケツで採取した水をポリ容器に入れ, 実験室に持ち帰った.採水したサンプルは直ちにグ ラスフィルター(GS25 ろ紙を使用)でろ過を行い, ろ過前後の重量差を SS 濃度とした.また,アセト ン抽出法でクロロフィル色素を抽出し,UNESCO (1966)の提唱する式に従って吸光度(663nm,645nm および 630nm の各波長)を測定することによって

Chl-a 濃度を算出した.

また,1997年の調査から,衛星データに含まれ る大気ノイズを評価するための基礎資料を集める目 的で,6月,8月及び10月の調査時に大気の光学的 厚さや地上の分光反射率測定を行った.これらの調 査方法及び解析結果については,別の機会に報告す るとして本報では概要を記載する.

2) 衛星画像の処理

a. 衛星データと現地データとの位置合わせ

1997年の衛星同期調査時に取得された衛星・センサ(JERS1/OPS, SPOT2/HRV)の諸元を表3に示す.取得した衛星データは,地上基準点(Ground Control Point:以下GCPと略す)による幾何補正を行い,現地調査測点と位置合わせを行う.具体的には国土地理院発行5万分の1地形図に対して,宍道湖,中海湖岸の半島(例えば湯町鼻の先端)など約20点のGCP設定を行った.そしてヘルマート変換またはアフィン変換と呼ばれる手法で,画像を地形図と同じ座標系に変換し,衛星データと現地調査測点とを対応づけた.現地調査測点に対応するデジタル番号値(以下DN値と略して呼ぶ)は,位置決定誤差を考慮して,幾何変換処理で決定した地点を中心に3×3画素の平均値とした.

b. 水陸分離

水と陸の分離には、近赤外バンドの特性を利用した.近赤外バンドの DN の頻度分布は、水域と陸域 を境界とした2峰分布している.そのため、その境 界部をしきい値として2値化処理を行えば、陸を0 (水を1)とした2値化画像ができる.得られた2

表 3 衛星センサーの諸元 **Tab.3** Characteristics of satellite sensors.

Satellite	Sensor	Band width	Qant. level	Resolution
JERS-1	VNIR	Band1: 0.52-0.60(Green)	6bit	20m*20m
(Japan)	(Visible and Near	Band2: 0.63-0.69(Red)	(64 grey)	
	Infrared Radiometer)	Band3: 0.76-0.86(IR)		
SPOT-2	HRV	Band1: 0.50-0.59(Green)	8bit	20m*20m
(France)	(High Resolution Vible	Band2: 0.61-0.68(Red)	(256grey)	
	and Middle Infrared)	Band3: 0.79-0.89(IR)	• • •	

値化画像とそれぞれのバンドの画像との演算(積) により、水域のみの解析画像を作成した.

結果および考察

1) 1997 年度衛星同期調査の概要

1997 年の衛星同期調査の調査のうち,衛星デー タの取得できた6月3日,8月8日および10月9 日の調査結果について簡単に述べる.

6月3日

天候は薄曇りであったが, 宍道湖の表層水質データ 及び JERS1/OPS データを得た.また,千葉大学環 境リモートセンシングセンター(以下千葉大 CEReS と略して呼ぶ)の協力を得て,衛星データ観測当時 の大気の透過率特性を把握するため,太陽自動追尾 式のサンフォトメーター(プリード社製,千葉大 CEReS 所有)を使用して,島根大学上空における 大気の光学的厚さの時間的変化を測定した(図 2). また衛星観測スペクトルと地上観測スペクトルとの 差を評価するための基礎資料を得る目的で,衛星画 像の画素と同規模な地上基準点(約 50m 四方)と して松江市ガス局横の駐車場(アスファルト質;位



図 1 調査測点 (1997) Fig.1 Research points, 1997.







1997 at a parking lot.

松江市ガス局横の駐車場(アスファルト質;位置: N35°27'57", E133°04'04")の地上分光反射率を測定 した(図 3). これらのデータ処理結果は、筆者ら がすでに報告を行っているので(作野, 1997b), こ こでは生データを示すのみとする. 取得した OPS データは雲量が 50%と多く、 宍道湖・中海の水質 解析は困難な状況であった.

8月8日

天候は晴れであった. 衛星通過時には南西の風 5.0m/sとやや強い風が吹いていた.この日は宍道湖・ 中海の表層水質データ及び SPOT2/HRV データを得

た.また,平田市の湖遊館グランド(位置:N35°26'36", E132°52'14")において地上分光反射率データおよび 大気の光学的厚さデータを取得した.この日の地上, 大気データの解析結果については現在処理中のた め,別の報告に委ねる.取得した衛星画像から判断 して中海では雲が多く、中海の解析は困難だと思わ れる.しかし宍道湖には雲がなく,解析可能なデー タが得られた.

10月9日

天候は快晴で、湖面も穏やかであった。この日は 宍道湖においてアオコが発生し、湖面が一面緑色を 呈していた. 収集したデータは宍道湖・中海の表層 及び垂直の水質データ、SPOT2/HRV データおよび 航空機 MSS データである. また, 松江市北公園グ ランド(位置:N35°28'05", E133°04'06")において 地上反射率スペクトルデータおよび大気の光学的厚 さデータを取得した.この日の地上・大気データの 解析結果については現在処理中のため、別の報告に 委ねる. 取得した衛星画像から判断して, 宍道湖・ 中海上空に雲はなく,両湖とも解析可能な良質デー タが得られた.

2) 宍道湖・中海における透明度, SS 及び Chl-a の平均的水平分布

1997年の衛星同期調査によって得られた宍道湖・ 中海における透明度, SS 及び Chl-a の平均的な濃 度分布について記載する. 宍道湖については, 図 4 に6月3,4日,8月8,11日,9月24日及び10月



図4 宍道湖における透明度, SS 及び Chl-aの 平均値分布(1997年). (a)透明度(m), (b)懸濁物 質, (c)クロロフィル a, 調査日:6/3, 6/4, 8/8, 8/11, 9/24, 10/9, 10/13. 測定時刻:9 時~11 時.

Fig.4 Mean distribution of secchi depth, suspended substance and chlorophyll-a in Lake Shinji, 1997. (a) secchi depth (m), (b) suspended substance (mg/l), (c) chlorophyll-a (/4g/l). Date of research : Jun.3, Jun.4, Aug.8, Aug.11, Sep.24, Oct.9, Oct.13. Time of research : from 9 to 11am.

9,13日の7時期データの平均値を示す.また中海 についてはデータが若干少ないが,8月8日,10月 9,13日の平均値を図5に示した.以下には両湖の 平均的な透明度,SS および Chl-a の分布特性を記 載する.また表4(a),(b)に各測点の平均値,標 準偏差(以下 SD と呼ぶ)および変動係数(標準偏 差 x100/平均値,以下 CV と略して呼ぶ)を示す. 宍道湖

a) 透明度

図 4 (a) に示すように, 宍道湖における透明度 はいずれの地点でも 1.0-1.1m と安定した値を示し ている.このような安定した分布傾向は, 1995 年~1997 年の調査を通じて変わらない. 地点毎の調査時期 による透明度の変動を CV で表現すると, 宍道湖全



図5中海における透明度,SS及びChl-a の平均値分布(1997年).(a)透明度(m), (b)懸濁物質,(c)クロロフィル a,調査 日:8/8,8/11,10/9.測定時刻:9時 ~11時.

Fig.5 Mean distribution of secchi depth, suspended substance and chlorophyll-a in Lake Nakaumi, 1997.

(a) secchi depth (m), (b) suspended substance (mg/l), (c) chlorophyll-a (μ g/l). Date of research : Aug.8, Aug.11, Oct.9. Time of research : from 9 to 11am.

体では 25%程度の小規模な変動であった. b) SS

図4(b)に示すように宍道湖におけるSSは5~8mg/l の範囲で推移している.分布の傾向としては,湖の 西側の測線1では北岸と南岸(測点1-1,1-5)で高 く,その中間がやや低濃度になる.一方,湖の東側 の測線2では湖岸部が低く,中央部ほど高い傾向が ある.測線2のように湖岸部ほど低くなる傾向は1995 年の調査結果と調和的である.また測線1-1のSS が特に高いのは1996年の調査と同様の結果であり, 斐伊川の流れと関連して興味深い現象だと考えられ る.地点毎の調査時期によるSSの変動をCVで表 現すると,宍道湖全体では33%程度の変動であっ た.地点別のCVでは来待川河口に近い測点4-1が

表4 宍道湖・中海における透明度, SS 及び Chl-a の測点別統計値. (a) 宍道湖, (b) 中海. **Tab.4** Statistic value for each research point of secchi depth, suspended substance and chlorophyll-a in Lake Shinji and Lake Nakaumi. (a) Lake Shinji, (b) Lake Nakaumi. (a) Lake Shinji

(a) cake or mig														
Water quality parameters	Station	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	S2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S4-1	S4-2	Total
Secchi depth	Ave.	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.3	1.1	1.0	1.1
(m)	SD	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3
	CV(%)	28.1	33.6	21.5	20.8	17.5	32.7	24.7	23.9	20.9	31.2	25.7	24.0	25.4
Suspended Substance	Ave.	8.2	7.0	7.9	7.5	8.2	6.7	7.8	7.6	6.8	5.3	8.4	7.1	7.4
(mg/l)	SD	2.5	2.2	2.7	1.8	2.7	2.2	2.1	2.7	2.5	1.9	3.8	1.9	2.4
	CV(%)	30.2	31.8	33.7	24.2	32.8	32.7	27.3	34.9	37.1	35.9	45.9	26.9	32.8
Chlorophyll-a	Ave.	31.2	32.7	34.3	36.3	41.5	32.2	34.1	38.4	32.4	24.6	41.6	35.6	34.6
(µg/l)	SD	13.3	13.0	10.2	11.1	22.8	20.5	13.8	21.8	17.5	7.6	30.3	13.8	16.3
	CV(%)	42.7	39.8	29.7	30.6	54.9	63.6	40.4	56.7	54.0	31.1	72.7	38.8	46.3
														1- 71

(b) Lake Nakaumi								
Water quality parameters	Station	NU1	NU2	NU3	NU4	NU5	NU6	Total
Secchi depth	Ave.	1.5	1.6	1.7	1.7	1.4	1.4	1.6
(m)	SD	0.3	0.2	0.1	0.6	0.4	0.3	0.3
	CV(%)	16.4	9.4	6.7	36.7	29.0	22.4	20.1
Suspended Substance	Ave.	3.8	4.0	4.4	6.1	5.0	4.1	4.6
(mg/l)	SD	0.7	1.6	0.3	1.4	1.8	1.8	1.3
	CV(%)	17.0	40.2	6.6	22.8	36.1	43.5	27.7
Chlorophyll-a	Ave.	9.6	6.5	10.0	19.9	15.3	13.3	12.4
(μg/l)	SD	0.6	2.3	2.6	13.8	6.8	5.0	5.2
	CV(%)	6.2	35.9	25.6	69.1	44.4	37.5	36.5
								(n=3)

46%とやや高くなっている.

c) Chl-a

図4(c)に示すように宍道湖における Chl-a は 25~42 µg/1 の範囲で推移している.分布の傾向としては, 湖の西側の測線1では北岸から南岸に向かって高濃 度になる.一方,湖の東側の測線2では湖岸部が低 く、中央部ほど高濃度の傾向がある.測線2で湖岸 部ほど低くなるという傾向は, 1995 年の調査結果 と同様である. また測線 1-1 は SS が高いにも関わ らず Chl-a 濃度が低くなっており, SS の成分が湖 内生産の植物プランクトン由来の懸濁物ではなく, 河川性の無機堆積物の懸濁物で構成されていたこと を示す資料となると考えられる.地点毎の調査時期 による Chl-a の変動を CV で表現すると、 宍道湖全 体では 46%の変動で,透明度や SS の CV よりも高 い傾向にある.このことは宍道湖の Chl-a が透明度 や SS よりも時期的な変化が大きいことを示してい る. 地点別の CV では測点 4-1 が 73%と SS 同様高 くなっており、来待川からの淡水流入と関係する結 果だと考えられた.

中海

a) 透明度の水平分布

図 5 (a) に示すように,中海における透明度の 平均値は 1.4~1.7m の範囲で推移している.本庄工 区以外の中海(以下中海水域と呼ぶ)と大根島北部 に位置する本庄工区(以下本庄水域と呼ぶ)では本 庄水域の方が透明度が高い傾向にある.透明度の時 期的変動は、本庄水域では CV=6~20%、中海水域 では CV=21~35%という結果から、本庄水域におけ る透明度は中海水域と比べ変動が小さいといえる.

b) SS の水平分布

図 5 (b) に示すように,中海における SS の平均 値は 3.8~6.1mg/l の範囲で推移している.中海水域 と本庄水域では本庄水域の方が SS が低い傾向にあ る.SS の時期的変動は,本庄水域において測点 NU2 で CV=40%と高いが,その外の地点では透明度同 様,中海水域の方が平均して変動が大きかった.

c) Ch1-a の水平分布

図5(c)に示すように、中海における Chl-a の平 均値は 7~20µg/l の範囲で推移している.中海水域 と本庄水域では本庄水域の方が Chl-a が低い傾向に ある.透明度の時期的変動は、本庄水域では CV= 6~35%、中海水域が CV=38~69%で、中海水域の方 が平均して変動が大きかった.中海水域ではより 日本海側に近い測点ほど低濃度で小規模な変動で あった.

3) アオコ発生時の宍道湖・中海における透明度, SS 及び ChI-a 濃度の水平分布

1997年10月9日は,筆者らが3年間の衛星同期





図 6 アオコ発生時の透明度, SS 及び Chl-a の水 平分布(1997 年 10 月 9 日)

Fig.6 Horizontal distribution of secchi depth, suspended substance and chlorophyll-a under algal bloom condition in Lake Shinii, Oct.9, 1997).

調査で、初めてアオコが発生したケースである、ア オコとは植物プランクトンが大量発生し、湖水の色 を変えるような現象を呼ぶ。中でもミクロキスティ スなどのラン藻類が主体となる場合には、湖面がち ょうど緑色の粉をまいたような状態になるので、「ア オコ(青粉)」と呼ぶ、宍道湖のアオコを形成する 植物プランクトンとしては、ミクロキスティス、オ シラトリアおよびアナベナなどが確認されている(伊 達, 1988). アオコを形成するラン藻類は Chl-a 色 素を持ち (Chl-b, Chl-c 色素は持たない), 面的に 広がるのでアオコの分布状況把握には、リモートセ ンシング計測が適している.以下は宍道湖にアオコ が発生した 1997 年 10 月 9 日の現地水質データと衛 星画像データにより、当時の宍道湖・中海における 透明度, SS および Chl-a の状況について若干の考 察を行う.

図 6 (a), (b), (c) に, アオコ発生時に取得し た宍道湖・中海の透明度, SS および Chl-a の分布 を示す. 3 つの水質パラメーターの水平分布から, 中海と比較して宍道湖の低い透明度, 高い SS 濃度, 高い Chl-a 濃度が共通している. これはそれぞれの 水質パラメーターが互いに関係しあっている性質に



図 7a 宍道湖・中海における透明度と Chl-a の関係(1997 年 10 月 9 日)

Fig.7a Relationship between secchi depth and chlorophyll-a in Lake Shinji and Lake Nakaumi, Oct.9,1997.





Fig.7b Relationship between suspended substance and chlorophyll-a in Lake Shinji and Lake Nakaumi, Oct.9,1997.

よるものであると考えられる. これを確かめるため に図7(a),(b)に透明度と Chl-a の散布図, SS と Chl-a の散布図を作成した. まず透明度と Chl-a は 非線形(指数関数)の相関(r=0.74)が高い. これ は Lorensen (1980), Edmondson (1980)及び Carlson (1980)らによって説明されている両者の関係(非 線形)と一致している. また筆者ら(作野, 1997a) が 1995 年と 1996 年の衛星同期調査結果で得た宍道 湖の透明度と Chl-a の散布図も,非線形の形状を示 している. 一方, SS と Chl-a は線形の相関(r=0.88) が高い. これは作野ほか(1997a)で示した宍道湖



図8 アオコ発生時に宍道湖・中海を撮影した SPOT/HRV 画像. バンド 1, 2, 3 をそれぞれ青, 緑, 赤に配色. **Fig.8** SPOT/HRV color composite of Lake Shinji and Lake Nakaumi study area obtained on Oct.9,1997. Bands 1, 2 and 3 are displayed in blue, green and red.

の SS と Chl-a の関係と同様の形状を示している. しかし低い透明度(1m以下)高い SS (10mg/l以上) では Chl-a との相関が低く,これらはすべて宍道湖 のデータであった.以上の結果から宍道湖・中海に おける透明度, SS 及び Chl-a は,互いに関係しあ って変動していることが推察される.しかしアオコ 発生時のような低い透明度,高い SS 濃度及び高い Chl-a 濃度の場所では,線形相関が崩れるケースが あることを示している.

アオコ発生時(1997年10月9日)に取得された 衛星画像を図8に示す.図8はSPOT2/HRVセンサ ーが取得した3バンドの合成カラー画像である.水 域は陸域よりも反射率が低いため,陸域と比較する と水域のスペクトル情報は極端に小さい.事実,図 8に示した画像中で水域の部分(2050144画素, 820km²)の統計をとると,バンド1で11カウント, バンド2で10カウント,バンド3で9カウントの幅 であった.さらに衛星データのノイズとなる大気の 情報をデータから引くと,残りは数カウントの情報 しかない.しかしこのような水域の微細な情報から,

水質の検出に成功した例は多くある(例えば, Lathrop et al, 1991; Pattiarach et al., 1994). 我が国では, 安岡・ 宮崎(1985)や山本(1993)が霞ケ浦において、宮 崎ほか(1991)が児島湖において、水尾ほか(1991) が東京湾において LANDSAT5/TM データを使って, それぞれの水域における Chl-a の定量に成功してい る.これらの解析のほとんどは、現地データと衛星 デジタルデータとの回帰分析手法によるものである. ここでは宍道湖・中海におけるリモートセンシング による水質計測の第一段階として,最も基礎的な単 回帰分析手法(Xi, 1991)を使って, 宍道湖のアオコ 発生時の Chl-a 濃度のマッピングを行った. 各バン ドと各水質データ(透明度, SS 及び Chl-a)との相 関結果を表 5 に示す.いずれのバンドでも有意な相 関があった.中でもバンド1と Chl-a との相関が高 かった. バンド1と Chl-a との関係を図9 に示す. Chl-a が 50~60 µg/l を超えると両者には線形の相関 が悪くなったが、全体としての両者の線形性は保た れていると判断した.そしてアオコの分布評価に適 している Chl-a 濃度と,バンド1(緑波長)との回帰



10 月 9 日). エラーバーは Chl-a の測定誤差を 示す.

Fig.9 Relationship between chlorophyll-a and HRV band1 in Lake Shinji and Lake Nakaumi , Oct.9,1997.

式 (式1)を作成した.

Chl-a=8.64xHRV1+208.3 (式 1) r=0.79, se=13.9 µg/l

ここで HRV1 は DN 値, r は相関係数, se は推定 誤差の統計値で, この回帰式による Chl-a の推定誤 差を示している. 図 9 において Y 軸のエラーバーに は作野 (1997a) が報告した Chl-a の測定誤差 (8.03%) 表 5 衛星データと水質データとの相関マトリクス. 下線は t 検定(P=0.01) で有意な相関がある ことを示す.

Tab.5 Correlation matrix between satellite digital data and water quality data. Underline : Denotes significant 0.01.

Band	Trans.	SS	Chl-a
1 (Green)	-0.81	0.87	0.79
2 (Red)	-0.68	<u>0.85</u>	0.69
3 (Infrared)	<u>-0.62</u>	<u>0.73</u>	0.71

を示した.式1を使って衛星画像を演算して得た宍 道湖・中海における Chl-a 濃度分布図を作成した(図 10).その結果,宍道湖北部に東西方向に 5km 以上 伸びた高濃度帯(60 µg/l 以上),宍道湖全体の高濃 度分布(40 µg/l 以上),本庄水域の低濃度領域(20 µg/l 以下)が比較的明瞭に色分けされた.前述し た 1997 年調査の平均値(25~42 µg/l)から判断して 分かるように 40 µg/l を越す高濃度域が,特にアオ コが顕著だった領域だと推察される.また風による Chl-a 分布の影響を知るための資料として,図 11 に 衛星通過時刻の 80 時間前からの風向・風速を示す. 衛星通過時刻の 20 時間前までは,比較的風が弱か ったが,20~50 時間前までは約 4~10m/s の比較的 強い西風が連続して吹いていた.これらの強風と



図 10 アオコ発生時における宍道湖・中海のクロロフィル a 濃度マップ(1997 年 10 月 9 日) **Fig.10** Map of chlorophyll-a concentration in Lake Shinji and Lake Nakumi from the simple regression algorithm under algal bloom condition, Oct.9,1997. Chl-a の濃集との関係は今後の課題として残された. しかし斐伊川河口の高濃度帯や大橋川の中海側河口 部の高濃度部は,斐伊川起源の無機懸濁物質や陸域 からの高い放射輝度の影響でみかけ上,クロロフィ ル a 濃度が高く表現されている可能性が高い.

以上のように衛星データを使って水質濃度の推定 図を作成することにより,現地調査だけではわかり づらい面的な水質濃度分布の把握が可能となり,湖 内の物質循環や湖流の研究などに役立つものと期待 される.

謝辞

地質調査所の土田聡博士には現地調査および衛星 データの処理について有益な助言をいただいた.千 葉大学環境リモートセンシング研究センターの梶原 康司博士には主に大気観測を手伝っていただいた. また鳥取大学乾燥地研究センター院生の岡田周平氏 および学部生の川本珠生氏,東京大学大学院工学系 研究科院生の間宮敦氏,島根大学総合理工学部学生 諸氏には現地調査を手伝っていただいた.関係諸氏 に深く感謝する.

引用文献

- Carlson, R.E. (1980) More complications in the chlorophyll Secchi disk relationship. *Limnology and Oceanography*, **25** (2) : 378-379.
- 伊達善夫(1988) 宍道湖・中海とアオコ. ふるさと ブックレット 12. たたら書房. 米子, 49p.
- Edmondson, W.T. (1980) Secchi disk and chlorophyll. *Limnology and Oceanography.* **25** (2) :378-379.
- 井岡幹博・鳥井清司・福間順・伊達善夫(1980) 航 空機 MSS による宍道湖・中海の観測(2) - 回帰 分析手法による中海の水質量分布の推定-,第6 回リモートセンシングシンポジウム予稿集:69-72.
- Jensen, J.R., Kjerfve, B., Ramsey III, E.W., Magill, K.E., Mederios, C. and Sneed, J.E. (1989) Remote sensing and numerical modeling of suspended sediment in Laguna de Terminos Campeche, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, **28**:33-44
- Lathrop, R.G., Lillesand, T.M., and Yandell, B.S. (1991)
 Testing the utility of simple multi-data Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid in land waters. *International Journal of Remote Sensing*, 12 (10) :2045-2063.
- Lopez Garcia, M.J. and and Caselles, V. (1990) A multi-temporal study of chlorophyll-a concentration in the Albufera lagoon of Valencia, Spain, using Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, **11** (2) :301-311.





- Lorenzen, M.W. (1980) Use of Chlorophyll-Secchi disk relationships. *Limnology and Oceanography*, **25** (2) :371-372.
- 松永恒雄・作野裕司・高安克已・中村幹雄・國井秀 伸(1996) 宍道湖における水面分光特性と水質. 日本リモートセンシング学会第 20 回学術講演論 文集:67-68.
- 宮崎清・鷹野洋・安岡善文(1991) ランドサット TM データによる児島湖及び周辺水域の水質分布推 定.日本リモートセンシング学会誌,11(2): 191-193.
- 水尾寛己・二宮勝幸・雫石雅美・多賀保志・安岡善 文(1991) TM データによる東京湾のクロロフィ ル a 量の検討-中間赤外域における水質情報抽出 の可能性.日本リモートセンシング学会誌,11(3): 135-139.
- Pattiaratchi,C., Lavery,P., Wyllie,A. and Hick,P. (1994) Estimates of water quality in coastal water using multi-data. Landsat Thematic Mapper data, *International Journal of Remote Sensing*, **15** (8) :1571-1584.
- 作野裕司・松永恒雄・高安克已・中村幹雄・國井秀 伸(1996) 宍道湖における衛星同期水質調査(そ の1), LAGUNA(汽水域研究), 3:52-72.
- 作野裕司・中山大介・松永恒雄・高安克已・中村幹 雄・國井秀伸(1997a) 宍道湖における衛星同期 水質調査(その2), LAGUNA(汽水域研究), 4: 29-37.
- 作野裕司・六川修一・松永恒雄・中山大介・高安克 已・國井秀伸・中村幹雄(1997b) 宍道湖画像の 大気補正に関する研究-JERS1/OPS データと地上 反射率データとの比較,日本リモートセンシング 学会第23回学術講演論文集:191-192.
- 鳥井清司・井岡幹博・福間順・伊達善夫(1980)航

空機 MSS による宍道湖・中海の観測(1) - 流れ パターンの推定-, 第6回リモートセンシングシ ンポジウム予稿集:65-68.

- Unesco (1966) Determination of photosynthetic pigments in sea water. Report of SCORE-UNESCO working group 17 (Paris) : *Monographic Methodology* 1: 69.
- Xia,L. (1993) A united for quantitative remote sensing of suspended sediment concentration. *International Journal of Remote Sensing*, 14 (14) :2665-2676.
- 安岡善文(1985) 遠隔計測による水質の定量,国立 環境研究所研究報告,77:165-185.

付表 1.	宍道湖における水質調査データ(1997年6月3日)
Appendix 1.	Raw data of water quality research in Lake Shinji, June 3, 1997.

1997/6/3	L.Shinji																
Sampling Point	\$1-1	S1-2	S1-3	S1-4	\$1-5	\$2-1	S2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S3-1	S3-2	S3-3	S3-4	S3-5	S4-1	S4-2
North latitude	35 27.31	35 26.83	35 26.38	35'25.86'	35 '25.36'	35 28.05	35 27.57	35'27.07'	35 26.53	35 26.10'	35 27.56'	35 27.31'	35 26.82	35-26.58	35 26.19	35-25.32'	35 26.10'
East longitude	132 54.78	8'132 55.11	132 55.11	132 55.25	132 55.29	132 59.52	132 59.74	132 59.87	133 30.09	133 00.07	133 03.16'	133'01.44'	132 58.33	132 56.82	132 53.62	132 56.69	132 58.28'
Time (Begin)	8:53	9:02	9:07	9:13	9:19	10:10	10:05	10:00	10:33	9:51	11:37	11:19	10:55	10:37	9:54	9:28	9:39
1		1	1	1	1	i i	1	1	1	1	1	ŧ.	1	1	1	1	1
Time (End)	8:58	9:04	9:09	9:15	9:21	10:12	10:07	10:02	10:35	9:53	11:44	11:26	11:01	10:45	10:20	9:30	9:42
Water depth(m)	3.4	5.2	5.4	5.5	5.1	4.6	4.8	5.0	4.9	4.6	1.4	4.5	5.8	5.6	3.1	2.5	5.4
Secchi disk depth (r	1) 1.5	1.8	1.4	1.4	1.3	1.7	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.2	1.0	1.0	0.7	1.6	1.5
Water temp. (°C) 0.5	im 21.3	21.2	21.3	21.2	21.3	20.1	21.3	21.3	21.4	21.3	22.5	21.9	21.6	21.6	21.5	21.2	21.1
Water temp. (°C) 1.0	m 21.3	21.2	21.3	21.2	21.2	20.1	21.3.	21.3	21.4	21.3	22.5	21.8	21.7	21.5	21.4	21.2	21.1
Water temp. (°C) 2.0	m 21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.5	21.2	21.3	21.3	21.2	22.5	21.5	21.5	21.4	21.3	21.2	21.1
DO(mg/l) 0.5m	8.7	8.7	9.1	8.9	9.1	9.0	9.1	9.2	9.0	8.5	7.9	9.5	9.8	9.9	8.8	7.9	9.1
DO(mg/l) 1.0m	8.8	8.7	9.1	8.9	9.0	9.0	9.1	9.2	9.1	8.5	7.6	9.4	9.7	9.8	8.7	7.8	9.1
DO(mg/l) 2.0m	8.9	8.7	9.2	8.9	9.1	9.0	9.2	9.3	9.1	8.6	7.7	9.4	9.7	9.7	8.8	7.7	9.0
DO(%) 0.5m	104.0	103.7	108.9	105.9	107.6	107.6	108.1	104.5	107.8	100.9	93.5	114.2	114.0	115.4	103.4	94.4	107.5
DO(%) 1.0m	105.4	103.8	108.4	105.8	107.9	107.6	108.8	109.7	108.2	101.9	91.0	110.5	112.2	112.8	100.6	92.6	107.9
DO(%) 2.0m	105.8	104.2	109.2	105.2	107.8	107.1	109.0	110.4	108.5	102.3	89.9	109.9	112.6	112.8	99.9	91.7	107.0
pH 0.5m	8.1	8.0	8.4	8.5	8.5	8.3	8.5	8.5	8.4	8.1	-					7.8	8.5
pH 1.0m	8.2	8.1	8.5	8.5	8.5	8.3	8.5	8.5	8.4	8.1	-			-	•	7.7	8.5
pH 2.0m	8.2	8.1	8.5	8.5	8.5	8.3	8.5	8.6	8.4	8.1	-	-			-	7.7	8.5
Salinity (‰) 0.5m	3.1	3.1	3.1	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	-	-	-	-		3.4	3.6
Salinity (‰) 1.0m	3.1	3.1	3.1	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	-	-	•			3.4	3.6
Salinity (‰) 2.0m	3.1	3.1	3.1	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5		-	-			3.4	3.6
SS (mg/l)	8.2	5.2	7.8	8.1	7.2	5.8	9.0	6.5	4.4	4.0	2.2	5.8	6.5	8.0	16.7	5.6	5.9
⁺Chl-a (µg/l)	27.8	22.9	34.7	40.5	29.2	17.8	24.3	23.1	16.9	16.9	2.5	13.8	21.6	27.3	30.8	26.1	23.3
*Chl-b (µg/l)	0.9	0.3	0.7	0.8	0.5	0.4	0.5	1.0	1.2	0.9	0.6	2.7	1.3	-	1.8	1.9	0.5
*Chi-c (µg/l)	12.1	10.0	15.3	17.7	10.8	7.2	10.3	10.2	7.9	8.9	2.3	10.5	10.3	11.4	12.0	10.9	8.3
*Carot. (µg/l) 4E ₄₈₀	16.7	12.8	21.8	24.5	15.9	15.5	13.6	12.1	7.7	9.6		5.3	12.6	15.7	15.5	9.4	12.6
*Carot. (µg/l) 10E4	41.6	31.9	54.4	61.2	39.7	38.9	34.1	30.3	19.4	24.1		13.2	31.5	39.4	38.7	23.4	31.4
**Chl-a (µg/l)	39.7	16.0	28.3	38.3	25.3	13.6	18.2	13.3	12.9	13.5	-	11.9	10.4	24.4	27.3	21.2	19.4
**Phaeo. (µg/l)	-	12.0	11.1	3.8	6.7	7.2	10.5	16.9	7.4	5.9	8.4	3.9	19.6	5.3	6.6	9.7	7.5
* Unesco (1966) me	hod																

**Lorenzen (1966) method

付表 2. 宍道湖における水質調査データ(1997 年 6 月 4 日) Appendix 2. Raw data of water quality research in Lake Shinii. June 4. 1997.

_	1997/6/4	L.Shinji																
Samp	ling Point	S1-1	S1-2	\$1-3	S1-4	\$1-5	S2-1	S2-2	\$2-3	S2-4	S2-5	\$3-1	\$3-2	\$3-3	S3-4	\$3-5	S4-1	S4-2
North	latitude	35-27.36	35 26.84	35'26.35'	35 25.84	35'25.36'	35 28.03	35-27.58	35 27.10	35-26.56	35-26.08	35*27.53	35'27.33'	35'26.85'	35*26.63'	35°26.09'	35'25.37'	35 26.09
East	longitude	132 54.91	132 55.08	132 55.10	132 55.21	132 55.29	132 59.62	132'59.74	132-59.85	132-59.98	133.00.0 6	133 '03.00'	133-01.26	132'58.34'	132'56.77'	132*53.63	132*56.76	132 '58.30'
Time	(Begin)	9:09	9:15	9:20	9:27	9:33	10:29	10:25	10:18	10:13	10:06	10:59	10:38	10:15	10:00	9:30	9:42	9:55
1		1	1	1	1	1	i		1	` I	÷.	1	1	1	1	1	1	1
Time	(End)	9:12	9:17	9:24	9:29	9:35	10:31	10:26	10:21	10:15	10:09	11:05	10:42		10:05		9:46	9:57
Water	depth(m)	4.1	5.1	5.3	5.3	5.1	4.6	4.8	5.0	4.9	4.6	1.3	4.3	5.5	5.6	3.5	2.4	5.5
Secch	i disk depth (m)	1.3	1.2	1.2	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.2	1.9	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	0.8	1.0
Water	temp. (*C) 0.5m	21.2	21.4	21.5	21.6	21.7	21.2	21.5	21.9	21.8	21.9	21.9	21.6	21.9	21.5	21.6	21.8	21.6
Water	temp. (*C) 1.0m	21.1	21.1	21.5	21.6	21.7	21.2	21.6	21.9	21.8	21.9	21.9	21.7	21.9	21.5	21.7	21.8	21.6
Water	temp. (°C) 2.0m	21.1	21.3	21.5	21.6	21.7	21.4	21.5	21.9	21.8	21.9	22.0	21.6	21.9	21.5	21.7	21.8	21.5
DO(m	g/i) 0.5m	8.6	8.8	9.1	9.1	9.3	8.9	9.1	8.8	8.9	7.8	8.6	9.3	9.4	9.6	8.9	9.9	9.5
DO(m	g/l) 1.0m	8.5	8.8	9.1	9.2	9.1	8.9	9.2	8.7	8.8	7.8	6.9	9.2	9.3	9.6	8.9	8.1	9.6
DO(m	g/l) 2.0m	8.5	8.8	8.5	9.0	10.0	8.6	9.2	8.7	8.8	7.8	6.6	8.9	9.1	9.3	8.9	7.6	9.3
DO(%)	0.5m	101.4	105.3	108.2	109.8	112.0	105.4	109.6	105.5	106.9	93.2	99.4	106.8	110.3	110.8	103.8	120.0	114.0
DO(%)	1.0m	101.4	105.2	108.7	109.5	109.1	106.5	109.9	105.4	106.0	93.3	81.4	106.5	108.0	110.3	103.0	96.0	114.3
DO(%)	2.0m	101.0	105.2	107.8	107.5	107.2	101.7	109.3	104.4	106.1	93.9	79.9	102.9	106.3	108.9	105.1	88.9	111.3
pH 0,	5m	8.1	8.3	8.4	8.6	8.6	8.4	8.6	8.3	8.4	8.0	-	-			-	8.8	8.8
рН 1.	0m	8.1	8.3	8.5	8.6	8.6	8.4	8.6	8.3	8.3	7.9		-		-		8.5	8.8
pH 2.0	Om	8.1	8.3	8.5	8.6	8.5	8.3	8.5	8.3	8.3	7.9	•					8.0	8.7
Salinit	y (‰) 0.5m j	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	•	-		-		3.2	3.4
Salinit	y (‰) 1.0m	3.4	3.3	3.1	3.3	3.2	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	•	-		-		3.2	3.4
Salinit	y (‰) 2.0m	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	•	-				3.3	3.4
SS (m	ig/l}	4.3	5.9	5.7	6.8	8.7	4.1	4.8	4.0	4.7	3.7	2.4	5.9	5.7	7.3	6.0	16.0	9.4
*Chl-a	(µg/l)	20.6	23.6	23.9	37.5	30.9	13.3	15.2	17.8	22.1	25.2	14.1	17.2	31.0	21.4	22.8	108.0	52.5
*Chl-b	(µg/l)	3.4	1,1	2.6	1.4	1.6	1.4	0.7	2.8	2.8	0.7	0.5	0.5	0.7	5.1	1.4		-
*Chi-c	(µg/l)	11.2	11.3	17.3	22.7	17.6	5.8	6.4	16.3	16.6	13.3	2.3	7.3	15.3	20.1	8.1	40.2	24.8
Carot.	(µg/i) 4E480	9.5	13.4	13.8	29.3	20.2	6.2	8.2	8.7	13.0	16.5	5.2	7.1	16.6	5.7	10.7	73.0	37.8
Carot	(µg/l) 10E480	23.8	33.6	34.4	73.3	50.6	15.5	20.5	21.7	32.4	41.3	12.9	17.8	41.5	14.3	26.8	182.5	94.4
"Chi-a	a (µg/l)	8.8	17.9	49.5	25.6	24.8	4.3	10.3	9.0	10.7	17.9	8.5	9.6	22.9	14.0	16.1	35.4	35.0
"Phae	ο. (μg/l)	20.7	10.3	-	21.3	11.4	15.8	8.8	15.7	20.3	13.6	9.6	13.4	13.1	14.1	11.9	118.3	30.2

* Unesco (1966) method **Lorenzen (1967) method

付表 3. 宍道湖における水質調査データ (1997年7月13日)

Appendix 3. Raw data of water quality research in Lake Shinji, July 13, 1997.

Sampling Point S2-2 S2-3 S2-4 S2 Sampling Point 55:27.07 35:27.07 35:26.07 35:26.75 Time (Begin) 10:27 9:48 99.57 91.2 91.77 Time (Begin) 10:27 9:48 91.57 91.2 91.8 91.7 Time (End) 10:30 9:52 9:53 91.3 91.7 91.7 Water depth(m) 6.0 6.1 6.2 5.7 92.44 23.5 22.4 Water temp. (C) 0.5m 24.5 24.4 23.5 22.5 22.4 23.5 22.5 22.5 Dol(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.2 23.5 22.5 22.4 23.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.4 23.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5 22.5	
North Iaitiude 35:27.60 35:27.60 35:26.10; 35:26	-5 \$3-3
East longitude 132: 59.75 132: 59.83 133: 00.07* 133: 00.17* Time (Begin) 10:27 132: 59.83* 133: 00.07* 133: 00.17* I 10:27 1 1 9:1 9:1 Imme (Begin) 10:27 9:52 9:53 9:3 Water depth(m) 6.0 6.1 6.2 5.5 Seachi disk depth(m) 0.8 0.7 0.6 0.7 Water depth(m) 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (C) 0.5m 24.4 24.3 23.5 22.2 Water temp. (C) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.3 D0(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.3 D0(mg/l) 0.5m 78.0 81.0 86.0 81.0 D0(mg/l) 1.0m 78.0 81.0 80.0 81.0 D0(mg/l) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.0 D0(mg/l) 1.0m 79.0	.01' 35-26.89'
Time (Begin) 10:27 9:48 9:51 9:11 I I I I I I I Time (End) 10:30 9:52 9:53 9:33 9:35 Water depth(m) 6.0 6.1 6.2 5.7 0.6 0.7 Secchi disk depth (m) 0.8 0.7 0.6 0.7 0.6 0.7 Water temp. (C) 0.5m 24.4 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (C) 1.0m 24.4 24.3 23.5 22.2 Op(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 6.8 7.2 DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(mg/l) 3.0m 7.6.0 81.0 80.0 81.0 85.0 DQ(%) 0.5m 776.0 81.0 80.0 81.0 85.0 85.0 DQ(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.0 86.0 86.0	0.12' 132 58.38'
I I	0 10:09
Time (End) 10:30 9:52 9:33 9:32 Water depth(m) 6.0 6.1 6.2 5.7 Secchi disk depth (m) 0.8 0.7 0.6 0.7 Water temp. (C) 0.6m 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (C) 1.0m 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (C) 1.0m 24.4 24.3 23.5 22.2 Op(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.2 DO(mg/l) 0.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(ms) 0.5m 7.6.0 81.0 80.0 86.0 DO(%) 0.0m 79.0 82.0 81.0 85.0 DO(%) 1.0m 80.0 81.0 82.0 86.6	1
Water deepth(m) 6.0 6.1 6.2 5.7. Secchi disk deepth(m) 0.8 0.7 0.6 0.7 Water temp. (C) 0.10 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (C) 1.0m 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (C) 2.0m 24.4 24.3 23.5 22.2 Ol(mg/l) 0.5m 6.6 6.7 6.8 7.2 D0(mg/l) 0.5m 6.6 6.7 6.8 7.2 D0(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 6.8 7.2 D0(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 8.0 8.10 D0(mg/l) 1.0m 78.0 81.0 80.0 81.0 D0(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.0 D0(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.0	0 10:12
Secchi disk depth (m) 0.8 0.7 0.6 0.7 Water tamp, (*C) 0.6 0.7 2.4 2.3 2.2 Water tamp, (*C) 1.0m 24.5 24.4 23.5 2.2 Water tamp, (*C) 2.0m 24.4 24.3 23.5 2.2 Water tamp, (*C) 2.0m 24.4 24.3 23.5 2.2 Do(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.2 DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(mg/l) 2.0m 78.0 81.0 80.0 86.4 DO(%) 0.5m 78.0 81.0 80.0 86.4 DO(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.0	6.3
Water temp. (*) 0.5m 24.5 24.4 23.5 22.2 Water temp. (*) 1.0m 24.4 23.5 22.2 Water temp. (*) 2.0m 24.4 24.3 23.5 22.2 Water temp. (*) 2.0m 24.4 24.3 23.5 22.2 Do(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.3 Do(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 6.8 7.3 Do(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 Do(mg/l) 0.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 Do(mg/l) 0.0m 78.0 81.0 80.0 86.0 DO(%) 0.0m 79.0 82.0 81.0 85.0	0.4
Water temp, (*C) 1.0m 24.5 24.4 23.5 22.2m Valer temp, (*C) 2.0m 24.4 24.3 23.5 22.2m Do(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.2 Do(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 6.8 7.2 Do(mg/l) 0.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 Do(mg/l) 0.0m 7.6 81.0 80.0 86.0 DO(*s) 0.5m 7.6.0 81.0 80.0 86.0 DO(*s) 0.5m 7.9.0 82.0 81.0 86.0 DO(*s) 0.0m 80.0 81.0 82.0 85.0	9 22.8
Water temp. (C) 2:0.m 2:4.4 2:4.3 2:3.5 2:2.5 DO(mg/l) 0:0.m 6:5 6:7 6:8 7:2. DO(mg/l) 1:0.m 6:6 6:7 6:8 7:2. DO(mg/l) 1:0.m 6:6 6:8 6:9 7:2. DO(mg/l) 2:0.m 76:0 81:0 80:0 86:0 DO(%) 0:5.m 76:0 81:0 80:0 81:0 DO(%) 1:0.m 79:0 82:0 81:0 85:0 DO(%) 2:0.m 80:0 81:0 82:0 86:0	9 22.7
DO(mg/l) 0.5m 6.5 6.7 6.8 7.2 DO(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 6.8 7.2 DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(mg/l) 0.5m 78.0 81.0 80.0 86.0 DO(%) 0.5m 78.0 81.0 80.0 85.0 DO(%) 1.0m 79.0 82.0 86.1 85.0 DO(%) 20m 80.0 81.0 82.0 86.1	9 22.7
DO(mg/l) 1.0m 6.6 6.7 6.8 7.3 DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(*s) 0.6m 78.0 81.0 80.0 86.1 DO(*s) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.1 DO(*s) 2.0m 80.0 81.0 82.0 86.1	6.4
DO(mg/l) 2.0m 6.6 6.8 6.9 7.2 DO(%) 0.5m 78.0 81.0 80.0 86.1 DO(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.5 DO(%) 2.0m 80.0 81.0 85.0 86.1	6.6
DO(%) 0.5m 78.0 81.0 80.0 86.1 DO(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.1 DO(%) 2.0m 80.0 81.0 82.0 86.1	6.7
DO(%) 1.0m 79.0 82.0 81.0 85.1 DO(%) 2.0m 80.0 81.0 82.0 86.1	0 75.0
DO(%) 2.0m 80.0 81.0 82.0 86.0	J 78.0
	J 79.0
pH 0.5m	
pH 1.0m	
pH 2.0m	
Salinity (‰) 0.5m 2.6 2.5 1.9 1.4	1.4
Salinity (%) 1.0m 2.6 2.5 1.9 .1.4	1.4
Salinity (%) 2.0m 2.6 2.6 1.0 1.5	1.5
SS (mg/l) 9.7 10.1 13.8 12.8	3 23.1
*Chl-a (µg/l) 19.0 16.8 10.7 14.2	2 8.3
*Chl-b (µg/i) 2.8 3.8 0.8 2.2	1.7
*Chl-c (μg/l) 11.5 14.8 3.6 9.6	6.6
*Carot. (µg/l) 4E480 4.6 4.4 3.1 5.7	3.7
*Carot. (µg/l) 10E480 11.5 10.9 7.7 14.2	2 9.3
**Chl-a (µg/l) 3.3 -	-
**Phaeo. (µg/l) 42.2 40.6 14.3 35.9	43.8

* Unesco (1966) method **Lorenzen (1967) method

付表 4. 宍道湖における水質調査データ(1997 年 8 月 8 日) Appendix 4. Raw data of water quality research in Lake Shinji, Aug. 8, 1997.

1997/8/8	L.Shinji and	L.Nakaumi																
Sampling Point	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	S2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S4-1	S4-2	NU1	NU2	NU3	NU4	NU5	NU6
North latitude	35'27.35'	35°26.83'	35 26.34	35°25.87'	35 25.36	35 28.04	35 27.58	35 27.06	35 26.55	35 26.10	35 25.39	35'26.08'	35 30.84	35 30.17'	35 29.22	35'28.56'	35 '28.35'	35'29.06'
East longitude	132'54.85'	132'55.03'	132 55.07	' 132° 55.20'	132.55.35	132-59.63	132 59.73	132 59.85	132 59.96	133 00.03'	132 56.77	132'58.36'	133 09.74	133 08.88	133'09.03'	133 09.69	133-11.11	133 12.41
Time (Begin)	9:00	9:11	9:20	9:27	9:36	10:47	10:40	10:33	10:26	10:18	9:48	10:031:00	9:33	9:48	10:00	10;23	10:39	10:49
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Time (End)	9:04	9:13	9:22	9:30	9:35	10:50	10:42	10:35	10:28	10:22	9:52	10:07	9:40	10:52	10:05	10:28	10:45	10:59
Water depth(m)	3.8	5.5	5.6	5.5	5.4	5.0	5.2	5.3	5.2	5.0	2.7	5.7	6.3	6.5	6.7	5.8	6.9	7.4
Secchi disk depth (m)	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	0.9	1.0	1.1		1.3	1.0	1.5	1.6	1.6	1.5	1.3	1.3
Water temp. ('C) 0.5m	26.0	27.2	27.7	27.8	27.6	27.2	26.9	26.9	27.4	27.7	27.8	27.2	26.5	26.1	26.3	26.4	26.3	26.4
Water temp. (*C) 1.0m	25.7	27.2	27.6	27.7	27.6	27.2	26.9	26.9	27.3	27.6	27.7	27.2	25.7	25.6	25.8	25.3	25.3	25.6
Water temp. (°C) 2.0m	24.2	26.6	27.1	27.2	27.3	27.0	29.8	26.8	27.3	27.4	27.3	27.0	25.8	25.7	25.7	25.1	25.0	25.2
DO(mg/l) 0.5m	8.5	7.1	7.7	7.7	7.8	7.3	7.2	7.3	7.8	7.5	6.9	7.9	8.3	7.5	7.3	10.0	9.1	10.9
DO(mg/l) 1.0m	8.3	7.2	7.7	7.7	7.9	7.3	7.2	7.3	7.9	7.5	7.2	8.0	7.8	8.1	8.0	11.2	10.7	10.1
DO(mg/l) 2.0m	7.2	6.5	7.1	7.1	7.7	7.2	7.0	7.3	7.9	6.9	6.8	7.7	6.6	7.4	7.3	7.4	7.3	8.0
DO(%) 0.5m	105.7	90.8	98.8	100.1	99.7	93.2	91.4	92.0	99.6	96.2	89.5	100.2	106.9	100.1	95.4	135.2	101.9	130.3
DO(%) 1.0m	101.2	91.9	99.4	101.3	101.1	93.8	91.3	92.7	100.4	96.8	92.9	101.5	101.4	105.2	103.7	132.5	143.5	126.5
DO(%) 2.0m	85.0	82.0	90.0	97.5	97.9	91.3	88.3	91.7	100.7	89.5	86.7	98.5	90.4	95.3	94.4	94.5	89.9	104.3
pH 0.5m	8.1	8.3	8.8	8.8	8.8	8.4	8.3	8.3	8.7	8.4	8.3	8.6	8.1	8.1	8.0	8.5	8.1	8.5
pH 1.0m	7.9	8.3	8.8	8.8	8.8	8.4	8.2	8.2	8.7	8.4	8.5	8.6	8.1	8.1	8.1	8.5	8.6	8.6
pH 2.0m	7.7	7.9	8.5	8.5	8.8	8.3	8.1	8.2	8.7	8.1	8.2	8.4	7.9	8.0	8.0	8.2	8.0	8.3
Salinity (%) 0.5m	0.5	0.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.1	0.8	10.3	10.0	10.2	4.1	2.6	4.1
Salinity (%) 1.0m	0.5	0.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.1	0.8	10.6	10.5	10.7	7.3	4.0	5.0
Salinity (%) 2.0m	0.3	0.9	1.0	1.0	1.1	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.1	0.8	11.0	10.9	11.3	7.1	6.0	6.3
SS (mg/l)	7.8	5.7	5.6	5.2	6.0	5.5	5.7	8.0	4.9	3.2	9.7	4.0	4.5	3.2	4.2	5.4	4.3	3.2
*Chl-a (μg/l)	30.8	32.6	28.4	25.5	36.9	35.4	36.2	31.6	31.1	26.6	33.0	33.1	9.5	9.1	12.3	28.7	17.5	14.8
*Chl-b (µg/i)	1.1	1.7	2.2	1.2	1.3	3.1	2.5	1.6	1.7	1.0	2.1	1.5	2.2	0.6	0.8	0.8	1.0	1.7
*Chl-c (µg/l)	5.7	6.1	8.0	5.0	6.9	9.7	8.2	6.3	9.0	5.0	6.2	4.6	9.4	2.7	3.2	8.4	3.8	5.2
*Carot. (µg/l) 4E480	13.7	12.6	11.8	11.4	15.7	13.7	13.7	14.3	12.2	11.5	13.9	13.8	4.7	3.8	5.2	11.0	6.6	5.0
*Carot. (µg/l) 10E480	34.3	31.4	29.6	28.4	39.3	34.2	34.3	35.8	30.5	-28.8	34.8	34.6	11.6	9.5	13.1	27.6	16.4	12.4
**Chl-a (µg/l)	28.8	30.6	21.8	22.4	33.1	27.7	30.8	26.7	22.7	23.2	27.0	28.5	4.3	7.4	10.2	22.1	10.1	6.8
**Phaeo. (µg/l)	3.9	3.9	11.9	5.2	6.6	13.8	9.7	9.0	15.2	6.3	11.0	8.3	9.4	3.2	3.8	11.5	12.8	14.2
* Unesco (1966) metho	d																	

**Lorenzen (1967) method

付表 5. 宍道湖における水質調査データ(1997 年 8 月 11 日) Appendix 5. Raw data of water quality research in Lake Shinji, Aug.11, 1997.

1997/8/11	L.Shinji, L.N	lakaumi and	Miho Bay											•		
Sampling Point	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	\$2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S4-1	S4-2	NU1	MB1	MB2	MB3
North latitude	35*27.38'	35 26.83'	35°26.34'	35°25.88'	35-25.34	35-28.03	35 . 27.58'	35 27.10	35-26.54'	35'26.06'	35.27.41	35 26.04	35 30.830'	35*31.29'	35*31.78	35*32.40'
East longitude	132 54.94'	132 55.03	132 55.13	132 55.19	132'55.28'	132 59.64	132 59.73	132 59.80	132 59.94	133.00.01	132 56.75	132 58.32	133 09.72	133 18.52	133'20.65'	133'22.99'
Time (Begin)	8:57	9:08	9:15	9:23	9:31	10:58	10:52	10:44	10:35	10:30	9:50	10:11	9:45	10:16	9:59	9:35
1	1	1	1	I.	ł	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Time (End)	9:01	9:11	9:18	9:24	9:35	11:01	10:53	10:46	10:38	10:31	9:55	10:15	9:55	10:20	10:03	9:43
Water depth(m)	3.9	5.4	5.5	5.6	5.4	4.9	5.3	5.2	5.4	4.9	2.6	5.6	6.0	-		
Secchi disk depth (m)	0.9	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	0.9	1.2	1.5	4.0	5.5	6.0
Water temp. (°C) 0.5m	28.0	27.6	8.1	28.2	28.4	28.8	28.9	28.9	29.0	29.4	28.8	28.9	27.2	29.1	28.2	27.8
Water temp. (°C) 1.0m	27.4	27.4	8.1	28.2	28.3	28.3	28.4	28.6	28.9	29.2	28.6	28.7	26.9	28.3	26.8	26.8
Water temp. ('C) 2.0m	27.4	27.0	8.0	27.9	27.5	28.0	28.0	28.0	28.5	28.8	28.3	28.1	26.7	27.6	26.7	26.7
DO(mg/l) 0.5m	5.7	5.7	5.6	5.8	5.9	6.4	6.4	6.5	6.5	6.3	5.1	6.5	8.1	6.8	6.7	6.9
DO(mg/l) 1.0m	5.7	5.7	5.6	5.8	5.9	6.4	6.5	6.5	6.5	6.4	6.1	6.6	8.0	7.0	6.7	7.2
DO(mg/l) 2.0m	5.3	5.6	5.6	5.6	5.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.4	5.3	6.2	7.8	7.3	6.9	7.2
DO(%) 0.5m	73.4	73.6	71.5	74.8	76.7	83.8	83.6	84.8	86.3	84.3	77.9	85.3	106.9	88.0	85.0	89.0
DO(%) 1.0m	72.2	73.2	71.1	74.9	76.2	83.2	83.9	84.8	85.6	84.4	79.5	86.1	105.8	89.0	86.0	88.0
DO(%) 2.0m	67.9	70.2	70.4	72.7	63.6	77.2	78.5	78.8	80.2	83.6	69.1	80.0	107.6	90.0	83.0	91.0
pH 0.5m	8.6	8.5	8.1	8.8	8.9	8.9	8.9	9.0	9.2	9.1	8.9	9.1	8.2	8.5	8.6	8.5
pH 1.0m	8.5	8.4	8.1	8.8	8.8	8.8	8.9	9.0	9.1	9.1	8.9	9.1	8.2	8.6	8.5	8.5
pH 2.0m	8.0	8.2	8.0	8.5	7.8	8.3	8.5	8.7	8.8	9.1	8.0	8.8	8.2	8.6	8.2	8.5
Salinity (‰) 0.5m	0.5	0.5	0.4	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	10.2	18.7	25.5	30.7
Salinity (‰) 1.0m	0.5	0.5	0.4	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	10.3	27.7	31.5	31.6
Salinity (%) 2.0m	0.7	0.6	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	0.8	10.3	30.9	31.6	31.7
SS (mg/l)	5.8	5.3	5.7	6.0	5.7	5.3	6.3	4.8	5.3	4.4	5.4	6.0	3.4	3.4	3.3	0.9
*Chi-a (µg/l)	38.5	31.0	28.4	34.2	27.5	38.6	42.3	33.3	32.3	20.7	29.9	39.6	12.7	12.6	8.7	2.3
*Chi-b (µg/l)	1.5	0.7	1.8	1.6	0.7	1.4	1.8	1.4	1.8	0.8	0.4	1.8	0.6	0.8	1.2	0.4
*Chł-c (µg/i)	7.0	6.5	9.2	8.6	4.1	8.3	8.0	7.0	6.9	3.8	7.5	8.8	3.1	3.4	3.8	2.3
*Carot. (µg/l) 4E₄80	16.9	12.7	11.2	15.1	11.9	13.6	14.3	11.7	12.7	9.8	13.1	13.8	5.1	4.1	2.2	0.4
*Carot. (µg/l) 10E480	42.2	31.9	28.1	37.8	29.8	33.9	35.8	29.2	31.8	24.5	32.9	34.4	12.8	10.1	5.5	1.0
**Chl-a (μg/l)	36.3	28.1	24.8	28.3	30.6	35.0	35.9	26.9	30.7	18.6	22.2	37.2	9.4	10.7	4.8	1.1
**Phaeo. (μg/l)	4.2	5.2	7.5	10.9	-	6.2	10.9	11.2	5.3	3.6	13.6	4.5	5.7	3.6	6.9	2.2

**Phaeo. (µg/I) 2 * Unesco (1966) method **Lorenzen (1967) method

付表 6. 宍道湖における水質調査データ(1997 年 9 月 24 日) Appendix 6. Raw data of water quality research in Lake Shinji, Sep.24, 1997.

1997/9/24	L.Shinji											
Sampling Point	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	S2-2	S2-3	\$2-4	S2-5	S4-1	S4-2
North latitude	35'27.32'	35 26.83'	35 26.33'	35'27.84'	35 25.37	35 28.01'	35 27.58	35 27.05	35'26.58'	35 26.09	35-27.37	35 26.08'
East longitude	132-54.91	132 55.05	132 55.08	132 55.22	132 55.29	132 59.63	132 59.82	132 59.82	132 59.98	133'00.04'	132 56.74	132 58.31
Time (Begin)	9:10	9:18	9:25	9:31	9:37	10:40	10:35	10:28	10:22	10:15	9:48	10:03
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Time (End)	9:15	9:21	9:27	9:34	9:34	10:42	10:37	10:30	10:24	10:15	9:51	10:05
Water depth(m)	4.0	5.2	5.3	5.3	5.2	4.8	4.8	5.0	5.1	4.8	2.5	5.4
Secchi disk depth (m)	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	1.1	1.1	0.7
Water temp. ('C) 0.5m	19.7	20.7	21.8	21.4	21.7	20.8	21.7	21.7	21.2	21.2	21.6	21.0
Water temp. ('C) 1.0m	19.7	20.7	21.8	21.4	21.7	20.8	21.6	21.7	21.2	21.3	21.6	21.0
Water temp. (°C) 2.0m	19.7	20.8	21.8	21.4	21.7	20.8	21.7	21.7	21.2	21.3	21.6	21.0
DO(mg/l) 0.5m	8.3	7.9	7.6	7.1	6.8	6.5	6.4	6.6	6.6	6.7	6.6	6.8
DO(mg/l) 1.0m	8.4	8.0	7.5	7.1	6.8	6.0	6.4	6.5	6.6	6.7	6.6	6.8
DO(mg/l) 2.0m	8.3	7.9	7.5	7.1	6.9	5.9	6.4	6.5	6.6	6.7	6.6	6.8
DO(%) 0.5m	90.3	88.4	86.4	79.9	77.4	67.5	72.5	74.7	74.0	75.9	74.5	76.4
DO(%) 1.0m	90.7	88.7	85.5	80.4	78.1	67.0	73.1	74.5	74.2	75.8	74.8	76.6
DO(%) 2.0m	90.4	88.5	110.7	80.2	78.2	66.3	73.0	74.3	74.0	75.8	74.5	76.1
pH 0.5m	7.5	7.4	7.5	7.5	7.6	7.8	7.9	7.9	7.6	7.6	7.4	7.5
pH 1.0m	7.4	7.4	7.6	7.6	7.7	7.7	8.0	8.0	7.7	7.6	7.5	7.6
pH 2.0m	7.4	7.4	7.7	7.6	7.7	7.7	8.0	8.1	7.7	7.7	7.6	7.6
Salinity (%) 0.5m	0.2	0.5	1.1	0.9	1.0	0.5	0.8	0.9	0.8	1.0	1.1	0.8
Salinity (%) 1.0m	0.2	0.5	1.1	0.9	1.0	0.5	0.8	0.9	0.8	1.0	1.1	0.8
Salinity (%) 2.0m	0.2	0.5	1.1	0.9	1.0	0.5	0.8	0.9	0.8	1.0	1.1	0.8
SS (mg/l)	10.3	6.3	13.0	10.7	8.5	7.3	9.9	10.3	8.6	7.8	5.5	8.8
*Chi-a (µg/l)	9.6	18.4	28.0	19.1	25.2	10.3	24.0	34.2	14.0	15.2	16.5	12.8
*Chl-b (µg/l)	1.1	2.8	3.6	2.1	3.1	1.2	2.5	4.2	2.1	2.5	2.9	3.2
*Chl-c (µg/l)	2.8	3.3	5.3	4.6	4.6	3.2	3.6	4.2	4.7	1.8	3.3	9.7
*Carot. (µg/l) 4E480	2.5	5.0	8.0	5.8	7.5	2.9	7.6	10.3	2.4	4.6	4.2	1.0
*Carot. (µg/l) 10E480	6.3	12.6	20.0	14.5	18.8	7.2	19.1	25.6	5.9	11.4	10.5	2.6
**Chl-a (µg/l)	6.2	-	19.7	6.2	17.2	-	16.7	30.4	8.0	7.8	8.5	-
"Phaeo, (ug/l)	6.0	37.2	15.7	22.8	15.3	19.4	13.1	7.8	11.1	13.0	14.5	24.5

* Unesco (1966) method **Lorenzen (1967) method

付表 7.	宍道湖における水質調査データ(1997 年 10 月 9 日)
Appendix 7.	Raw data of water quality research in Lake Shinji, Oct.9, 1997.

1997/10/9	L.Shinji and	1 L.Nakaumi																
Sampling Point	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	S2-2	\$2-3	S2-4	S2-5	S4-1	S4-2	NU1	NU2	NU3	NU4	NU5	NU6
North latitude	35"27.37"	35*26.84'	35'26.34'	35'27.37'	35'25.36'	35°28.02'	35-27.60	35.27.08	35-26.59	35 '26.07'	35 27.39	35 26.096	35 30.83'	35 30.22	35 29.18	35 28.50	35 28.30'	35-29.05'
East longitude	132 54.98	132*55.03'	132 55.11	132°54.98	132 55.30	132 '59.64'	132-59.76	132 59.86	132-59.97	133.00.04	132 56.75	132 58.29	133 09.74	133 08.89'	133 09.06	133'09.69'	133 11.19	133 12.41
Time (Begin)	8:58	9:10	9:23	9:37	9:50	11:22	11:09	11:03	10:57	10:49	10:10	10:27	10:05	9:51	9:36	9:09	8:51	8:25
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Time (End)	9:05	9:18	9:33	9:45	10:01	11:30	11:18	11:05	10:59	10:53	10:16	10:39	10:12	9:58	9:43	9:17	9:00	8:39
Water depth(m)	5.3	5.3	5.3	5.3	5.1	4.5	4.7	5.0	5.0	4.8	2.5	5.3	6.0	6.5	6.6	5.8	7.5	7.4
Secchi disk depth (m)	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	0.7	0.8	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	1.3	1.5	1.8	1.2	1.1	1.1
Water temp. (°C) 0.5m	19.7	19.8	19.7	19.8	20.0	20.5	20.9	•			20.0	20.2	20.5	20.6	20.4	19.3	19.0	19.0
Water temp. ('C) 1.0m	19.7	19.7	19.7	19.7	19.8	20.1	20.3	-			19.8	20.0	20.4	20.6	20.2	19.3	20.0	19.0
Water temp. (C) 2.0m	19.5	19.6	19.6	19.6	19.6	19.8	19.9	•	•	•	19.3	19.8	20.4	20.3	20.2	20.1	19.5	19.6
DO(mg/l) 0.5m	10.0	10.2	10.5	10.6	10.6	12.0	11.4	-			10.2	11.2	8.3	7.7	9.0	10.0	10.1	9.9
DO(mg/l) 1.0m	10.0	10.2	10.5	10.6	10.7	11.6	11.7	-		•	10.3	11.0	8.3	7.4	8.9	9.8	10.0	9.8
DO(mg/l) 2.0m	9.7	10.0	10.1	10.6	10.2	10.9	10.8	-	-	-	8.5	10.8	8.2	7.2	8.5	9.1	9.5	9.5
DO(%) 0.5m	100.0	112.1	115.2	116.3	116.5	133.3	128.7		-	•	112.9	124.0	97.5	90.4	105.4	114.3	114.1	110.4
DO(%) 1.0m	109.7	112.0	115.0	116.4	117.2	128.8	130.2		-		113.8	121.4	96.7	86.6	103.8	111.6	112.3	110.5
DO(%) 2.0m	106.4	109.9	110.7	115.5	111.3	119.4	118.9	-	-	-	92.9	119.0	96.1	84.5	98.3	105.2	108.3	109.8
pH 0.5m	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	9.5	9.4		-		9.1	9.2	8.4	8.3	8.6	8.7	8.8	8.9
pH 1.0m	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	9.4	9.4	-	-		9.1	9.2	8.4	8.2	8.6	8.7	8.8	8.9
pH 2.0m	9.0	9.0	9.1	9.1	9.1	9.3	9.3		-		8.4	9.1	8.4	8.2	8.5	8.6	8.8	8.8
Salinity (%) 0.5m	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	-			0.7	0.7	9.0	9.0	8.8	8.2	7.9	7.7
Salinity (%) 1.0m	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	-		-	0.7	0.7	9.0	9.0	8.8	8.3	8.0	7.8
Salinity (%) 2.0m	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	-	-	-	0.7	0.7	9.0	9.1	8.8	9.5	8.1	8.2
SS (mg/l)	11.2	10.2	9.0	7.3	7.5	10.5	9.3	11.0	10.2	7.1	6.8	7.5	3.8	2.9	4.2	7.7	7.1	6.1
*Chl-a (µg/l)	47.2	53.4	50.2	48.3	51.6	68.8	55.6	83.8	62.6	36.7	39.0	47.5	10.2	5.9	10.4	27.0	20.7	17.4
*Chl-b (µg/l)	0.4	1.0	0.1	1.7	0.9	2.2	1.3	-	0.5	1.8	0.9	1.5	0.8	0.4	0.5	2.9	0.4	0.6
*Chi-c (µg/i)	9.4	12.8	10.2	12.5	9.9	17.1	10.1	12.5	13.3	9.1	8.7	14.1	5.8	1.8	5.2	13.4	5.5	5.9
*Carot. (µg/l) 4E480	16.7	19.3	16.9	16.0	18.9	31.5	21.7	37.7	25.1	13.4	13.5	16.2	5.8	2.6	5.4	9.2	7.1	5.9
*Carot. (µg/l) 10E480	41.8	48.4	42.3	39.9	47.2	78.7	54.3	94.3	62.9	33.5	33.8	40.4	14.4	6.4	13.6	23.1	17.6	14.6
**Chl-a (µg/l)	42.9	44.9	46.5	37.0	47.2	61.2	54.2	85.0	60.6	32.6	34.2	37.2	8.2	5.0	8.4	25.1	15.0	10.7
**Phaeo. (µg/l)	7.7	15.7	6.8	20.0	8.0	14.2	3.4	-	4.2	7.6	8.9	18.5	3.5	1.4	3.6	3.4	9.7	11.5
* Unesco (1966) metho	d																	

**Lorenzen (1967) method

付表 8. 宍道湖における水質調査データ(1997 年 10 月 13 日) Appendix 8. Raw data of water quality research in Lake Shinji, Oct. 13, 1997.

1997/10/13	L.Shinji and	d L.Nakaumi																
Sampling Point	\$1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S2-1	S2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S4-1	\$4-2	NU1	NU2	NU3	NI I4	NU5	NUE
North latitude	35°27.45'	35'26.84'	35'26.35'	35'25.88'	35*25.35'	35'28.08'	35*27.16'	35'27.16'	35'26.60'	35'26.10'	35 27.38	35'26 08'	35'30 85'	35 '30 21'	35-20 10	35 28 40'	35 38 34	35-20 08
East longitude	132 '54.94'	132 55.03	132 55.09	132°55.22	132'55.22'	132°59.60	132 59.89	132 59.89	132'59.98'	133.00.04	132 56 79	132 58 34	133.09.75	133 08 89	133:09 04	133-00 73	133111 17	122-12 44
Time (Begin)	8:58	9:23	9:34	9:52	10:06	11:44	11:33	11:21	11:10	10:57	10:23	10:39	10:19	10:02	9:45	9.13	10:58	11:16
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	10102	1	0.10	10.50	11.10
Time (End)	9:05	9:29	9:48	10:02	10:14	-	11:39	11:28	11:17	11:04	10:28	10:46	10.26	10:10	9.55	9.30	11:05	11:26
Water depth(m)	3.7	5.2	5.4	5.5	5.3	4.7	4.9	5.0	5,1	4.8	2.5	5.4	7.0	7.0	7.2	6.5	7 9	8.2
Secchi disk depth (m)	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.8	1.8	1.8	2.4	1.0	1.7
Water temp. ('C) 0.5m	17.1	17.4	18.2	18.4	18.5	18.2	18.3	18.6	18.3	18.2	18.5	18.6	19.3	19.3	19.1	18.6	17.9	18.1
Water temp. (*C) 1.0m	17.0	17.4	18.1	18.3	18.5	18.2	18.3	18.6	18.3	18.2	18.4	18.5	19.1	19.1	19.0	18.4	17.5	19.1
Water temp. (°C) 2.0m	17.3	17.6	18.1	18.1	18.3	18.2	18.3	18.6	18.3	18.1	18.3	18.4	19.1	18.8	18.9	18.9	17.0	19.7
DO(mg/l) 0.5m	10.9	10.9	9.6	9.8	10.2	10.1	10.3	10.3	10.5	9.8	9.5	10.2	8.5	8.2	8.5	8.4	0.3	0.4
DO(mg/l) 1.0m	10.9	10.8	9.6	9.8	10.1	10.2	10.3	10.3	10.5	9.8	9.5	10.3	8.5	8.2	0.5	8.0	0.0	0.0
DO(mg/l) 2.0m	10.4	10.6	9.4	9.4	10.1	10.2	10.4	10.3	10.6	9.7	9.0	10.3	8.4	8.2	9.1	8.0	9.2	9.2
DO(%) 0.5m	113.3	113.7	103.0	104.0	108.0	108.0	110.0	111.0	112.0	104.0	101.0	110.0	97 3	94.1	97.0	0.0	3.1	104.9
DO(%) 1.0m	112.6	113.2	102.0	106.0	108.0	109.0	111.0	109.0	112.0	105.0	102.0	111.0	96.6	94.0	95.0	94.9	104.7	104.0
DO(%) 2.0m	108.3	110.8	101.0	100.0	109.0	109.0	112.0	111.0	112.0	102.0	98.0	111.0	95.3	62.2	02.4	100.1	103.2	07.0
pH 0.5m	9.0	9.1	-				-	-			-	-	83	8.2	81	8.0	101.5	97.9
pH 1.0m	9.0	9.1	-		-		-		-			-	8.2	0.2	8.0	0.0	0.0	0.7
pH 2.0m	9.0	9.0	-		-		-					-	8.2	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0
Salinity (%) 0.5m	0.5	0.5	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	11	1.0	0.9	1.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.5
Salinity (‰) 1.0m	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	0.0	9.1	5.2	11.1	10.6	10.4
Salinity (%) 2.0m	0.6	0.6	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	9.2	0.1	5.5	11.4	10.6	10.4
SS (mg/l)	9.7	10.1	8.5	8.6	13.7	8.5	9.7	8.8	9.5	7.0	9.5	8.3	3.2	5.2	3.3	F 0	10.9	11.6
*Chl-a (µg/l)	44.1	46.7	46.7	49.0	89.1	41.5	41.1	45.4	47.6	30.6	38.0	10.6	0.2	3.0	4.7	5.2	3.7	2.9
*Chl-b (µg/i)	0.7	0.6	0.7	0.0		0.4	0.0	0.2	0.4	2.8	0.4	40.0	9.0	4.5	7.2	4.1	1.1	1.1
*Chl-c (µg/l)	8.3	8.4	7.1	5.0	5.1	9.1	6.3	7.0	7 1	1.8	6.3	5.0	10.7	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1
*Carot. (ug/l) 4E482	13.5	14.2	15.2	17.9	34.2	13.8	15.0	17.5	17.1	10.9	14.4	14.0	2.7	2.1	3.1	2.2	2.7	2.0
*Carot. (µg/l) 10E480	33.8	35.4	38.1	44 8	85.5	34.5	37.4	43.0	40.9	10.0	14.4	14.0	3.6	2.1	2.7	1.7	2.8	2.2
**Chl-a (uo/l)	43.9	46.5	47.7	50.7	03.3	40.0	20.9	45.9	46.0	21.0	35.9	34.9	9.6	5.1	6.8	4.3	7.1	5.5
**Phaeo, (µg/i)	-	0.4		55.7	20.0	40.9	39.8	45.0	40.1	29.9	38.9	39.4		3.8	7.6	0.5	5.1	5.7
· Upesco (1966) motho	d					2.0	2.3	1.0	2.4	1.5	0.7	2.4	30.0	1.2	-	6.2	4.6	3.6

* Unesco (1966) method **Lorenzen (1967) method

付表 9. 宍道湖・中海における衛星・水質データセット (1995~1997 年)

Appendix 9. Satellite and water qulity data set in Lake Shinji and Lake Nakaumi, 1995-1997.

No.	Date	Satellite or	Sensor	Cloud	Resolution
		Airborne		cover.(%)	(m)
1	11 Aug.1995	LANDSAT-5	ТМ	100	30*30
		SPOT-2	HRV	70	20*20
2	13 Aug.1995	JERS-1	OPS	70	20*20
3	7 Nov.1995	SPOT-2	HRV	20	20*20
4	13 Aug.1996	LANDSAT-5	ТМ	40	30*30
5	11 Oct.1996	SPOT-2	HRV	0	20*20
6	3 Jun.1997	JERS-1	HRV	50	20*20
7	8 Aug.1997	SPOT-2	HRV	30	20*20
8	9 Oct.1997	SPOT-2	HRV	0	20*20
		Airborne	MSS	0	12.5(Nadir)