

宍道湖・中海における 国土交通省自動観測水質データの検証

野中崇志¹・松永恒雄²・梅干野晁¹・中山大介³・瀬戸浩二³

Validation of water quality data measured using automatic monitoring sensor in Lake Shinji and Lake Nakaumi

Takashi Nonaka¹, Tsuneo Matsunaga², Akira Hoyano¹, Daisuke Nakayama³ and Koji Seto³

Abstract: Data on water quality of Lake Shinji and Lake Nakaumi were obtained at one hour intervals using an automatic water quality monitoring device provided by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Government of Japan. Out of the various parameters measured, the data on water temperature, salinity and chlorophyll-a were validated by comparing with the field data obtained through *in situ* measurements during 1999–2001. The difference between the automatically measured sensor data and the field data was estimated by comparing these data without considering the vertical variations. The results show that the difference between the two datasets of water temperature is $0.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ in Lake Shinji and $-0.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ in Lake Nakaumi, that of salinity is 0.2 ± 0.1 psu in Lake Shinji and 0.0 ± 0.3 psu in Lake Nakaumi and that of chlorophyll-a is 0.3 ± 2.1 mg/m³ in Lake Nakaumi (excluding the middle layer value).

Key words: validation, automatic water quality measurement data, Lake Shinji, Lake Nakaumi

はじめに

宍道湖と中海をあわせた一連の水域は、我が国最大の汽水域を形成している。境水道を通じて中海に流入する海水は、陸域からの有機物や栄養塩が豊富に含まれた河川水と混合される。そのため、湖は富栄養化しており、中海では赤潮が、宍道湖ではアオコが発生することもある。このように陸と海の接点である汽水域は、環境の時空間変動が非常に激しい。そのため宍道湖や中海では、時空間分解能が高い湖の水質データを得ることが必要とされてきた。

水質の空間変動の把握については、リモートセン

シングを利用したクロロフィル a 濃度推定のアルゴリズムの構築が近年なされており、可能になってきている(作野ほか, 1999 a; 作野ほか, 1999 b)。一方で、水質の時間変動の把握については、宍道湖では 1988 年より、また中海では 1993 年より 1 時間おきに自動観測を行い始めたことによって可能となってきている。

本研究では、1999 年から 2001 年までの宍道湖と中海における現地調査データを利用して、これらの国土交通省自動観測データのうちで水温、塩分、クロロフィル a 濃度の検証を行ったので、その報告をする。なお本研究で使用したデータとは異なるが、

¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究所 Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Yokohama 226-8502, Japan

² 国立環境研究所社会環境システム研究領域 Social and Environmental System Division, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305-8506, Japan

³ 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. 国土交通省自動観測水質観測サイトの位置と測定水深。

Table 1. Locations and depths where data on water quality were obtained using automatic monitoring sensor.

Site	Position	Depth
Lake Shinji	N35° 26' 50", E132° 57' 45"	0.5m, 1.0m, 3.0m, 4.96m, 5.26m (at 0.2m water level)
Lake Nakaumi	N35° 27' 48", E133° 11' 38"	0.5m, 1.0m, 3.5m, 5.5m, 6.0m (movable)
Yonago Bay	N35° 25' 44", E133° 18' 10"	0.5m, 1.0m, 2.1m, 3.2m, 3.7m (movable)
Matsue Ohashi	N35° 27' 45", E133° 03' 21"	1.0m (at 0.3m water level)

国土交通省河川局は、2001年6月1日よりインターネットや携帯電話を通じて、リアルタイムデータとして、1時間おきの水質データの公開も始めている(河崎, 2001)。

国土交通省データとその仕様

1. 宍道湖と中海における観測地点

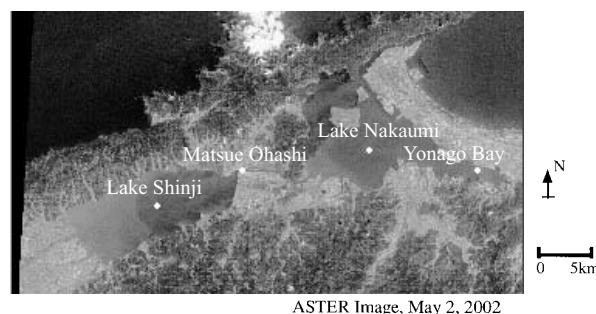
建設省(現国土交通省)は、宍道湖湖心では1988年より、中海湖心では1993年より1時間おきの水質データの取得を始めた(以後、中海、宍道湖と略して記述する)。当初の目的は、河川環境の計画立案、河川工事の実施、河川の維持管理に必要な水文データを得ることであった。測定項目は、水温、電気伝導度、pH、溶存酸素、濁度、COD(宍道湖のみ)、クロロフィル a 濃度である。

本研究で検証は行わないが、この他にも米子湾や松江大橋においても観測を行っている。これらの観測位置を図1に示す。

測定水深は、観測サイトによって異なる表層から底層までの5水深(松江大橋は表層のみの1水深)である(以下、これらの5水深を水面から順に表層、上層、中層、下層、底層という)。表1に各観測サイトの測定位置と水深を示す。中海と米子湾では、水位によって採水深度を調整する移動式採水を行い、測定水深を水面からの高さで一定となるように調整している。一方で、宍道湖と松江大橋では測定水深は固定されているため(表中の測定水深は、宍道湖の水位が0.2m、松江大橋の水位が0.3mのときの水面からの深度である)、潮汐などに起因する水位変動によって水面からの深度は変化する。

2. 国土交通省データの仕様

表2に中海と宍道湖に米子湾と松江大橋も加えた国土交通省データの仕様(国土交通省中国地方整備局出雲工事事務所)を示す。中海と宍道湖では、測定項目によっては機器の設置時期等の違いにより、異



ASTER Image, May 2, 2002

図1. 宍道湖・中海における水質の自動観測地点。

Fig. 1. Automatic water quality measurement points in Lake Shinji and Lake Nakaumi.

なる機器を使っている。そのため測定範囲や精度に違いが見られる。なお塩分は、中海では電気伝導度と水温からUNESCO(1981)に基づき塩分に換算されるのに対し、宍道湖では一度塩素量を推定した後に、塩分に換算(UNESCO, 1962)される。

次に水温、電気伝導度、クロロフィル a 濃度について、その測定方法と校正方法を簡単に説明する。水温は白金抵抗法により測定し、1点校正を行っている。校正頻度は、水温に限らず全ての項目で月1回である。電気伝導度は、中海では電磁誘導法による測定であるのに対し、宍道湖では交流4極法を用いている。電磁誘導法は、塩化カリウム標準液による校正、または電気伝導度計・卓上型塩分計による校正を行っている。一方で交流4極法は空気中と塩化カリウムによる2点校正を行っている。クロロフィル a 濃度は、蛍光光度法による測定を行い、純水によるゼロ校正と標準液によるスパン校正を行っている。なお本研究で使用した宍道湖と中海のデータは、国土交通省出雲工事事務所より提供を受けた検定前の水温、塩分、クロロフィル a 濃度(中海のみ)の各水深のデータである。

検証方法

1. 測定機器

表 2. 国土交通省自動観測水質データの仕様.

Table 2. Specifications of the automatic water quality measurement data.

Parameter	Site	Range	Accuracy
Water Temperature	S	-5~50℃	±0.2℃
pH	S	0~14pH	±0.2pH
	N, Y, M	2~12pH	
DO	S, M	0~20mg/l	±1%FS
	N, Y		±0.4mg/l
Turbidity	S, M	0~200mg/l	0~100mg/l ±5%FS,
			100~200mg/l ±10%FS
	N, Y	0~200mg/l	0~100mg/l ±2%FS,
			100~200mg/l ±5%FS,
Electric Conductivity	S	0~30mS/cm	±2%FS
Chloride	N, Y	0~60mS/cm	±3%FS (NaCl at 25℃)
	M	0.10~25.00g/l	±0.1g/l
COD	S	0~0.5	±2%FS
		0~1.0 · 0~2.0	
Chlorophyll -a	N, Y	0~200µg/l	0~50µg/l ±10%FS,
			50~200µg/l ±5%

S:Lake Shinji, N:Lake Nakaumi, Y:Yonago Bay, M:Matsue Ohashi.

本報告で検証のために使用した機器は、水中投下式クロロフィル測定装置（アレックス電子製、ACL 1151-DK、島根大学汽水域研究センター所有）である。表 3 に機器の仕様を示す。

本装置には、水深、水温、電気伝導度、光量子、及びクロロフィルセンサが装着されており、水深 0.1 m ごとに各種水質データを取得することができる。クロロフィル a 濃度は、中山ほか(1999)に従い、クロロフィルセンサが測定した蛍光強度と現場で採水した水をアセトン抽出・吸光度法により測定した値を使って検量線を作成し、その換算式より推定した。本手法によるクロロフィル a 濃度の推定精度は 2.7 mg/m³ 程度である(作野ほか, 1999), なお中山ほか(2000)は、宍道湖において本手法で用いた蛍光光度法と吸光度法によるクロロフィル a 濃度の鉛直分布を比較して、蛍光光度法の有効性を示している。

表 3. ACL 1151-DK の仕様.

Table 3. Specifications of ACL 1151-DK.

Parameter	Range	Accuracy
Depth	0~30m	±0.06m
Water Temperature	5~40℃	±0.05℃
Electric Conductivity	0~60mS	±0.05mS
Photon	0~2000	±0.5%
Chlorophyll	0.1~200µg/l	-

表 4. 検証に使用したデータと測定時刻.

Table 4. Date and time of field data obtained for the validation of the automatic water quality measurement data.

Date	Time	
	L. Shinji	L. Nakaumi
Jul. 15, 1999	7:59	13:53
Aug. 13, 1999	9:58	16:30
Sep. 13, 1999	8:14	11:40
Oct. 7, 1999		12:02
Dec. 12, 1999	8:55	
Jan. 10, 2000		12:45
Feb. 13, 2000	8:57	12:28
Mar. 14, 2000	8:43	12:25
Jun. 8, 2000	8:34	12:53
Mar. 14, 2001	8:46	10:52
Apr. 9, 2001	8:29	10:53
Jul. 15, 2001	8:27	11:46

2. 使用したデータの概要

表 4 に検証に用いたデータとその測定時刻を示す。1999年7月から2001年7月までの12回にわたる調査によって取得したデータを利用した。なお表中の空欄は、国土交通省データが得られなかったため、検証を行わなかったことを表している。測定位置は、湖底の光ケーブルの都合により、宍道湖では自動観測を行っている地点の南側で、また中海では北~東側であり、ともに数 10 m (最大で 50 m 程度) 離れている。

図 2 に宍道湖、中海それぞれについて、水温、塩分、クロロフィル a の鉛直方向の変化を示す。これらのデータには、表 4 に示した観測日のデータで、

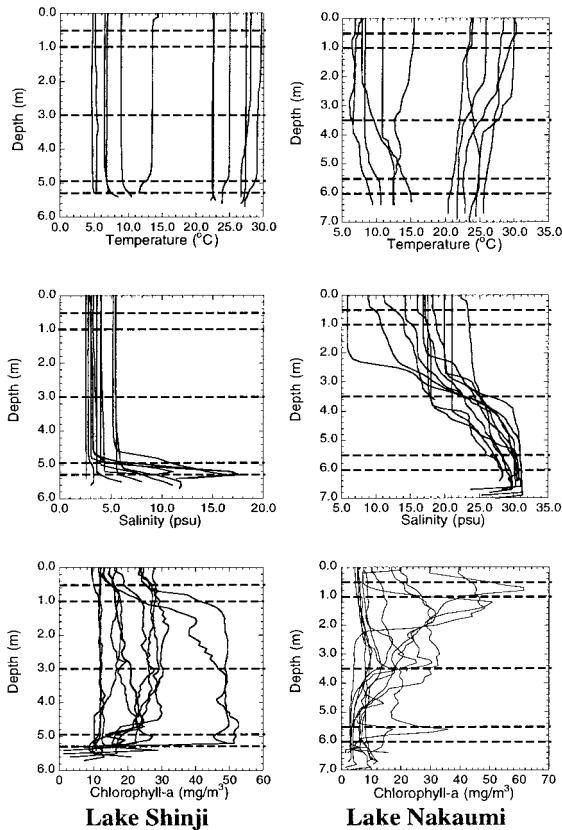


図2. 宍道湖・中海における水温、塩分、クロロフィル a 濃度の鉛直分布。

Fig. 2. Vertical profiles of water temperature, salinity, and chlorophyll-a in Lake Shinji and Lake Nakaumi.

国土交通省データが得られなかったために、検証には使用しなかったデータも含まれている。点線は各観測サイトにおける国土交通省データの測定水深を示す(宍道湖は水位が0.2 mの場合)。

宍道湖の水温は、表層から底層にかけてほとんど変化が見られず一定である、塩分は下層から底層にかけて、中海からの高塩分水の流入による塩分躍層が見られる場合がある。一方で、中海の水温、及び塩分の鉛直変化は宍道湖よりも大きい。特に塩分は、中層付近において顕著な塩分躍層が見られる。

クロロフィル a 濃度は、宍道湖では表層から底層までほぼ均一であるパターンが多いのに対し、中海では表層や亜表層においてピークがあるパターンが多い。これらの傾向は、中山ほか(1999)と整合している。

3. 検証方法

宍道湖、及び中海における国土交通省データの検証は、以下の方法によって現地調査データと比較することによって行う。

1) 測定機器の水深測定誤差やデータのノイズ等も考慮し、国土交通省データの測定水深の前後0.1 m (ACL 1151-DKの深度精度相当)のデータも含めた平均値を計算し、各水深における現地調査データとする。

2) 毎時の国土交通省データのうち、測定を行った時刻に近い方のデータと比較する。

測定を行っている場所が実際の観測位置と最大で50 m程度離れているため、水平方向に変動がある場合は、誤差が生じる。また前節で述べたように、宍道湖の塩分は下層から底層で、また中海の塩分は中層付近で変動が特に大きいことや、クロロフィル a 濃度の鉛直方向の変動のパターンに注意する必要がある。なお今回は図2に示すように宍道湖において、下層から底層の塩分を除き、鉛直方向に大きな変化が見られなかったため、水位による影響は小さいと仮定し、測定水深の水位による補正は行わない。

結 果

図3に宍道湖と中海の各深度における水温、塩分、クロロフィル a 濃度の国土交通省データと現地調査データの関係を示す。また表5に測定項目、水深ごとに国土交通省データと現地調査データの差の平均値及び標準偏差を、さらに図4に測定項目ごとの両データの差の頻度分布を示す。また参考のために、表6に検証日の12時の松江の気象条件を示す(全日射のみ米子のデータ)。

なお2001年7月15日の中海の塩分は、各深度において他の観測日より大きい系統的な差があったので、解析から除外する。以下、検証結果及びその考察を項目ごとに記述する。

1) 水温

国土交通省データと現地調査データの温度差は、宍道湖において $0.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 、中海において $-0.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ である(ただし以下に述べる99年8月13日の中海中層のデータと01年3月14日の宍道湖のデータは取り除く)。以下、宍道湖と中海の結果を個別に検討する。

宍道湖において、国土交通省データと現地観測データの温度差は、01年3月14日のみ全ての水深で 1°C 程度と大きかった。この原因として、水温に鉛直方向の大きな変化が見られなかった(図2)ことから、自動観測機器、あるいは検証に使用したクロロフィル測定装置の不調などが考えられる。

表 5. 国土交通省データと現地調査データの差.

Table 5. Difference between the automatic water quality measurement data and field data.

Lake Shinji

	W. Temp. (°C)	Salinity (psu)	Chlorophyll-a (mg/m ³)
All Layer	0.0±0.5	0.0±1.9	
Top	0.0±0.6	0.2±0.1	
Upper	0.0±0.6	0.2±0.1	
Middle	0.1±0.5	0.3±0.3	×
Lower	-0.1±0.6	0.0±2.6	
Bottom	-0.1±0.5	-0.4±3.7	

Lake Nakaumi

	W. Temp. (°C)	Salinity (psu)	Chlorophyll-a (mg/m ³)
All Layer	-0.2±0.3	0.2±0.8	0.3±2.1*
Top	-0.2±0.1	0.3±0.7	-1.0±3.2
Upper	-0.2±0.3	0.1±0.3	0.7±2.2
Middle	-0.2±0.5	0.8±1.1	6.0±6.0
Lower	-0.1±0.2	-0.4±0.6	0.7±1.1
Bottom	-0.2±0.3	0.3±0.7	0.7±0.5

*without middle layer.

次に宍道湖における水位変動による両データの測定水深の違いの影響を評価するために、各測定水深の前後 0.3 m の水温の変動と両データの温度差の関係を調べた。水温の変動は下層と底層で平均 0.5°C の変動が見られたが、それ以外では 0.1°C 以下と極めて小さい。さらに図 4 や表 5 より両データの温度差に水深依存性が見られないことから、宍道湖においては水温の鉛直変動によって生じる温度差は小さいといえる。

一方中海では、99年8月13日のみ国土交通省データと現地調査データの温度差が 1°C を超えた (1.6°C)。この理由は、観測時刻において、中層 (水深 3.5 m) の上下 0.3 m 間に 2°C を超える温度変化があることから説明することができる。

2) 塩分

塩分については、宍道湖と中海では傾向が異なる。

表 6. 検証を行った日の気象条件.

Table 6. Meteorological conditions at 12:00 on the validation day in Matsue (Solar radiation data are from Yonago).

Date	Air Temperature (°C)	Wind Direction	Wind Speed (m/s)	Solar Radiation (MJ/m ² /hr)
Jul. 15, 1999	25.5	W	5.9	1.35
Aug. 13, 1999	28.5	WNW	2.8	3.26
Sep. 13, 1999	30.5	W	1.9	2.60
Oct. 7, 1999	24.1	W	4.8	2.42
Dec. 12, 1999	11.0	W	7.1	1.09
Jan. 10, 2000	9.9	NW	7.7	0.74
Feb. 13, 2000	9.0	WSW	1.5	1.06
Mar. 14, 2000	10.8	WNW	5.8	1.45
Jun. 8, 2000	27.9	W	2.8	1.85
Mar. 14, 2001	17.9	SW	5.7	2.93
Apr. 9, 2001	20.5	ENE	3.1	1.20
Jul. 15, 2001	31.8	S	2.5	2.83

宍道湖では、下層と底層において、国土交通省データと現地調査データの差が大きい点が見られる。図 5 に宍道湖の下層～底層間の塩分の最大値と最小値の差との関係を示す。この結果より、塩分躍層の大きな日は、国土交通省データと現地調査データの塩分に大きな差が生じる場合があることが分かる。

また中海では、中層において両データの差が他の深度よりも若干大きい値となっているが、全体に深度依存性が小さい (図 4)。これは、中海では測定水深を水位とともに変化させていることに起因する。よって塩分躍層を形成する中層においても、宍道湖と比較して国土交通省データと現地調査データの差が小さい。

最後に国土交通省データの精度を塩分の鉛直変化が見られない日の表層と上層のデータから評価した結果、宍道湖が 0.2±0.1 psu、中海が 0.0±0.3 psu 程度である。これらの値は、自動観測機器の精度 (それぞれ塩分換算で、0.4 psu, 1 psu 程度) より小さい。

3) クロロフィル a 濃度

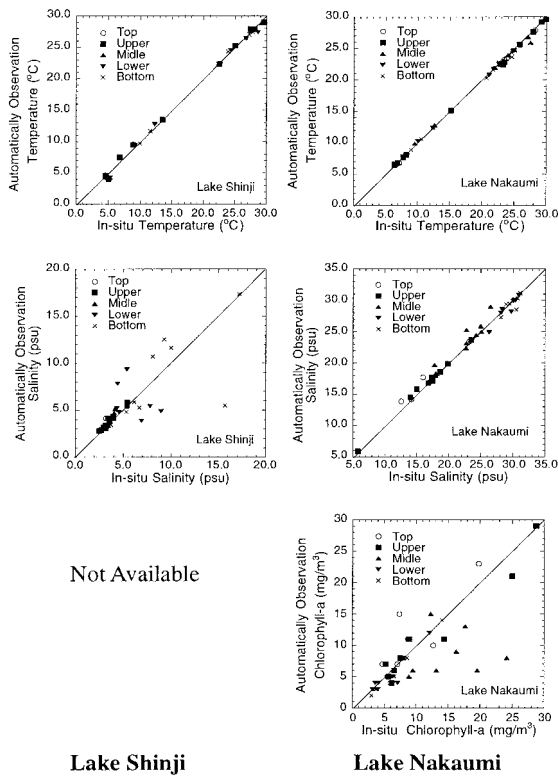


図3. 宍道湖・中海における水温、塩分、クロロフィル a の国土交通省データと現地調査データの比較。
Fig. 3. Comparison of water temperature, salinity, and chlorophyll-a between automatic measurement data and field data in Lake Shinji and Lake Nakaumi.

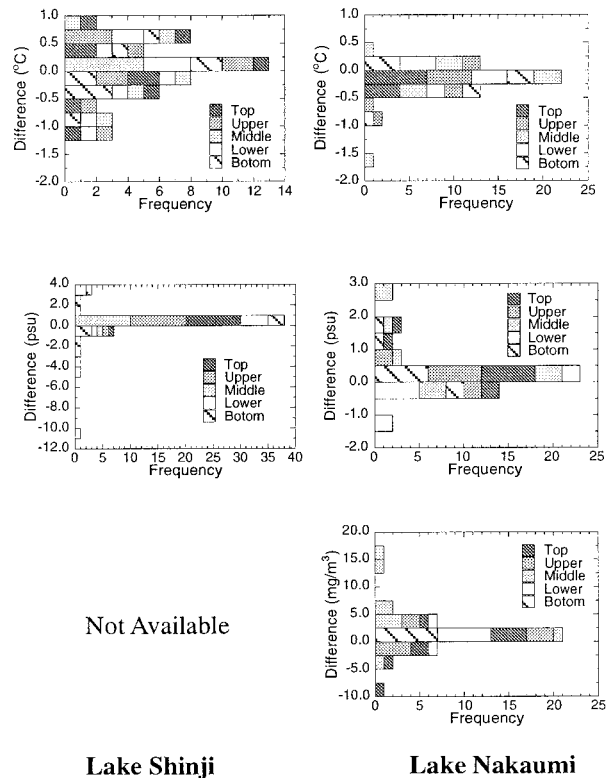


図4. 国土交通省データと現地観測データの差の頻度分布。
Fig. 4. Frequency of the difference between automatic measurement data and field data in Lake Shinji and Lake Nakaumi.

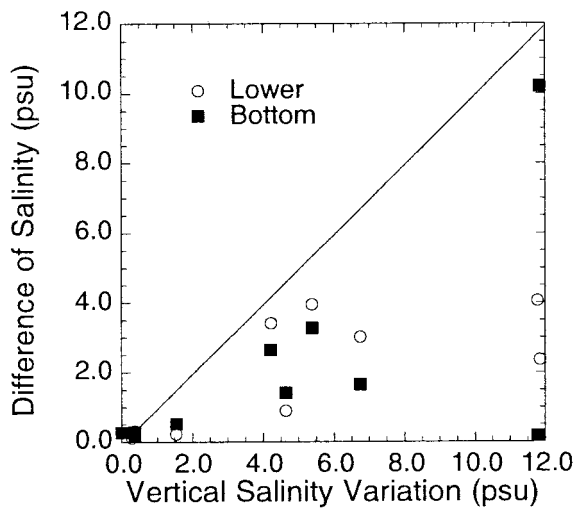


図5. 宍道湖における(下層底層間の)塩分の変動と国土交通省データと現地調査データの差の関係。
Fig. 5. Relationship between vertical variation of salinity (between lower layer and bottom layer) and the difference of the salinity between automatic measurement data and field data in Lake Shinji.

クロロフィル a 濃度は、中海のみの比較である。データ数が十分ではないが、国土交通省データと現地調査データの差は $0.3 \pm 2.1 \text{ mg/m}^3$ (中層を除く) であった。これは、国土交通省データの精度 5 mg/m^3 ($0 \sim 50 \text{ mg/m}^3$ では FS の 10%) や現地調査データの精度 2.7 mg/m^3 から説明できる。また全体的な傾向として、高濃度になるほど両データの差が大きくなっている。

中層では、国土交通省データが現地調査データよりも低い傾向が見られる。これらの差が大きいときには、次の2つの場合があった。

- a) 表層で高濃度であり、下層で急速に減少している場合に、中層で国土交通省データが現地調査データより低く見積もる。
- b) 中層にピークがあるときに、国土交通省データがそのピークを反映せずに、低く見積もっている。

これらの要因については、データを増やすなどして、さらに検討が必要である。

ま と め

宍道湖と中海の湖心で測定した水温、塩分、クロロフィル a 濃度の鉛直データを利用して、国土交通省の自動観測データの検証を行った。検証データは少ないが、以下のような知見が得られた。

- 1) 水温は、国土交通省データと現地調査データの差は宍道湖では $0.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 、中海では $-0.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 以下であり、深度による依存はなかった。
- 2) 塩分は、宍道湖において下層、底層で国土交通省データと現地調査データの差が大きかった。これは塩分躍層の影響であると考えられる。塩分の精度を躍層が見られなかった表層や上層の結果から評価した結果、宍道湖、中海ともに 0.3 psu 程度であった。
- 3) クロロフィル a 濃度の国土交通省データと現地調査データの差(中海のみ)は、中層を除き測定機器の精度である 5 mg/m^3 以下であった。

謝 辞

宍道湖と中海における国土交通省データは、国土交通省中国地方整備局出雲河川事務局から提供して頂いた。ここに深く感謝の意を示す。

引 用 文 献

河崎和明 (2001) IT を活用した防災。建設オピニオ

ン, 10月号: 36-39.

国土交通省中国地方整備局出雲工事事務所. 水質自動観測装置管理台帳.

中山大介・作野裕司・松永恒雄・高安克己・國井秀伸 (1999) 宍道湖・中海の鉛直クロロフィル a 濃度分布特性. LAGUNA (汽水域研究), 6: 217-222.

中山大介・大塚泰介・瀬戸浩二・山口啓子 (2000) アオコ発生時における現場蛍光法によるクロロフィル濃度測定の問題点. LAGUNA (汽水域研究), 7: 71-76.

作野裕司・中山大介・松永恒雄・高安克己・六川修一・中村幹雄・國井秀伸 (1999 a) 衛星リモートセンシングによる中海・宍道湖の水質マッピング (その2) - 1998年3月の調査 -. LAGUNA (汽水域研究), 6: 205-216.

作野裕司・松永恒雄・中山大介・六川修一・高安克己・國井秀伸・中村幹雄・山室真澄 (1999 b) SPOT/HRV データによるアオコ発生時の宍道湖表層のクロロフィル a 濃度分布の推定. 日本リモートセンシング学会誌, 19. 2: 20-36.

UNESCO (1976) First and second reports of the Joint Panel on the Equation of State of Seawater

UNESCO (1981) Tenth report of the Joint Panel Oceanographic Tables and Standards, Sidney, B. C., September 1980. Unesco Technical Papers in Marine Science, 36: 25.