

中海湖心部における湖底の水中映像(その4):2004年と2006年の比較

野村律夫*

Ritsuo NOMURA *

Bottom floor pictures in Lake Nakaumi (part 4):
Comparative study of bottom condition in 2004 and 2006

ABSTRACT

A long-term monitoring waterproof camera was set up in the bottom of Lake Nakaumi at a depth of 6.5m, over 2.5 weeks of Nov. 9- Nov.26, 2004. There were several times to record a wind speed of over 10m/s. However, no bottom water turbulence occurred in such a wind speed within a one hour wind blowing. Wining of bottom sediments occurred in the condition of the wind speeds > 10m/s and >5~6 hours blowing, in November 12 and 26. The bottom water turbulence was not only controlled by the wind speed, but also a period of duration. The quality of water is also influenced by a wind stress. A mixing of upper and middle waters occurred after 6~8 hours on both days. Bottom water, however, was very stable without the mixing of upper water.

The water dynamics and lake floor condition that responded to a wind stress were compared with those of 2006. The response of the water and bottom sediment to wind stress was not always the same; there were different responses of the upper and middle waters and different water clarity. A subtle change of lake environments makes it difficult to reconfirm the influence of wind stress.

【キーワード：長期設置型水中カメラ，光触媒，長期生態監視，水中映像，水中動態】

はじめに

筆者は、さきに中海の湖底に設置した長期設置型水中カメラがとらえた湖底の長期変化の様子を部分的に報告してきた(野村ほか, 2007; 野村・瀬戸, 2008)。年間を通して、湖底を観察し続けると、国土交通省の定期水質観測による数値情報を補う多くの発見が認められる。数値情報のみでは理解が容易でない観測情報も映像による視覚情報で補完することができれば、より自然現象の理解が深まるものと考えられる。そのためには、水中に長期設置可能な水中カメラを開発することが重要となる。2004年にしまね振興財団の助成により目的とする水中カメラの作製を行った。この助成研究で水中カメラが捉えた2004年11月の中海の湖心部の様子を記録することができたが、その映像による湖底の動態については口頭発表で留めていた。今回、風速と湖底堆積物の攪乱について、2006年11月の状況と比較しながら、風速の変化が湖底へ与えた影響についてまとめたので報告する。

1. 長期設置型水中ビデオカメラと記録時間

長期間にわたって観測機器を水中に設置した場合、付着生物によるカメラの窓面への妨害が最大の問題である。生物付着には藻類の付着とフジツボのような大型生

物の付着がある。藻類の付着は、粘土鉱物とともに映像を曇らせ、大型生物は観察視野を遮蔽してしまう。そのため最近応用化が進んでいる酸化チタン光触媒技術をハウジング窓面に適用した水中ビデオカメラを作製して観察を行った。酸化チタンによる光触媒効果については、水槽内で約1ヶ月間珪藻類を繁殖させてガラス面への付着の程度について検証を行った(野村, 2008)。映像をより鮮明にするため、ビデオカメラの画素数は60~80万画素にした。

設置場所は国土交通省が中海湖心部に設けている自動水質観測所(水深6.5m)を利用し、交流電源の供給を同観測施設から受けた。映像記録期間は2004年11月9日から12月10日まで記録した。11月26日18時に、水中カメラの窓面の石英ガラスが投光器の熱による影響と見られる膨張・収縮によって破損したために、水中カメラハウジング内へ海水が侵入し、実際の映像記録は11月9日から26日までの2.5週間であった。その間、水中の映像は5分間を1コマとして、2時間間隔で録画した。1日当たり、12コマ計1時間の記録となっている。

2. 2006年11月で得られている結果の概要

風速の変化は、水中の塩分や溶存酸素濃度の深度分布に大きく影響を及ぼす。10m/sを越す風速が発生すると、

* 高根大学教育学部自然環境教育講座
高根大学汽水域研究センター

上層水と中層水の混合が約3時間後に起きる。底層水は攪乱し、湖底泥を巻き上げている。風速が12~13m/sを超えると濁りは著しくなるが、下層・底層水と中・上層水との混合は起こらない。風速が15m/sを超えると、約2時間後に下層・底層水と中・上層水との混合が起こる。風速が13~17m/sになると、湖底での攪拌は激しく、湖底泥の巻き上げや2~3cm程度の粒子状堆積物の舞い上がりも起こる。

ここで使用している水深別の名称は、国土交通省出雲河川事務所が中海で区分している名称に従っており、それぞれの水深は、2.0m (上層水), 3.5m (中層水), 5.5m (下層水),そして湖底から0.5m上 (底層水) である。また、風速に対する名称は、気象庁風力階級に従った: 軽風 (1.6

~3.3m/s), 軟風 (3.4~5.4m/s), 和風 (5.5~7.9m/s), 疾風 (8.0~10.7m/s), 雄風 (10.8~13.8m/s), 強風 (13.9~17.1m/s), そして疾強風 (17.2~20.7 m/s)。

3. 2004年11月の風速変化による湖底の状態変化

水中カメラを設置した11月9日から26日までの間に、風速が10m/sを超す日は、10日と11日, 12日, そして26日にあった。10日と11日の場合, 10m/sを超す風の継続時間は~1時間以内であったため, 湖底の様子には大きな変化は認められなかった。しかし, 10m/sを超す風が数時間継続した12日と26日の場合, 風の営力が湖底や水質に影響を与えている。

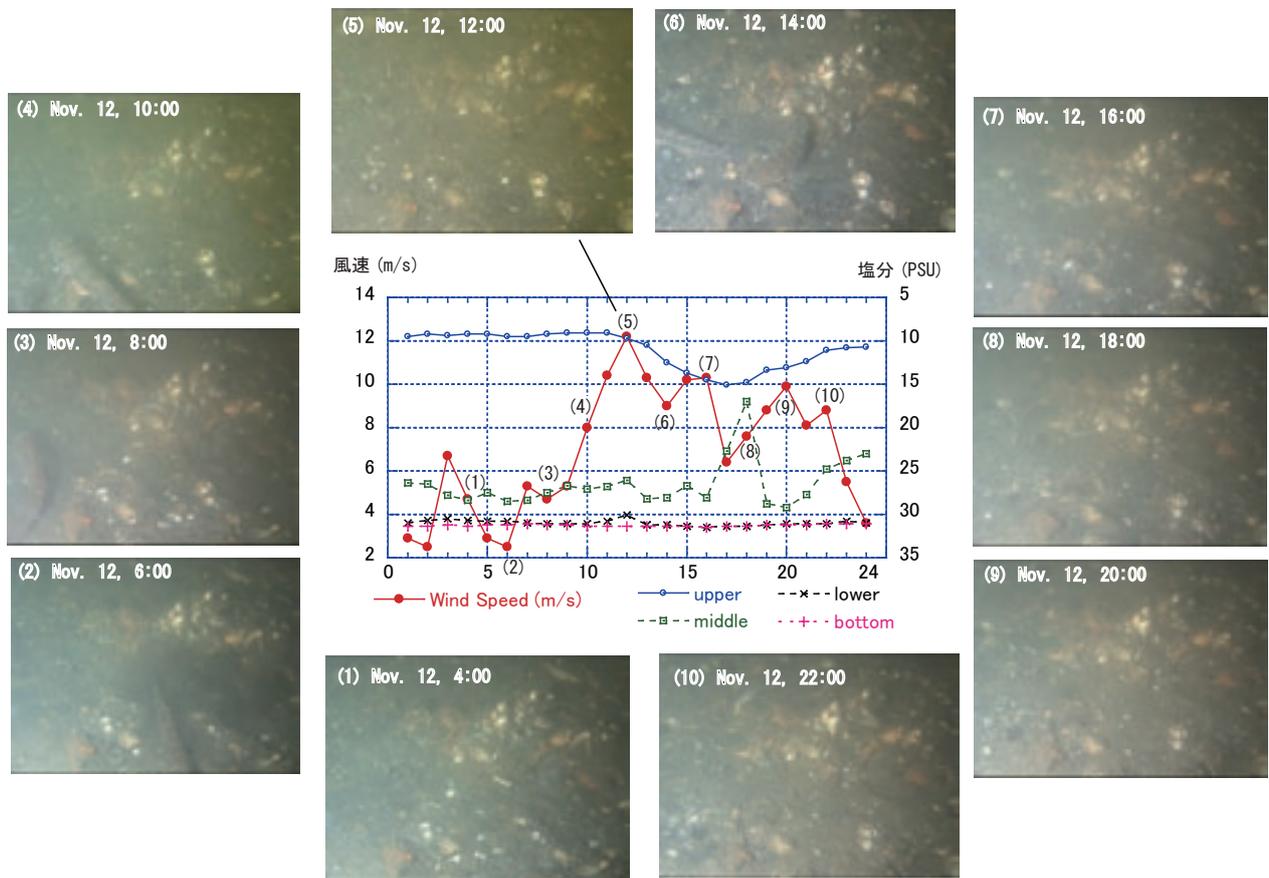


図1. 2004年11月12日の風速変化に伴った湖底の状態と水深別の塩分変化. 約60cm前方の湖底を2時間間隔で撮影. グラフ中の番号は映像のスナップショットの番号に相当. 風速および水質データは国土交通省による.

Fig. 1. Bottom snapshots corresponding to the wind speed and the salinities at different depths.

【11月12日】11時より16時の約5時間, 270° 方向の風が吹いた。10時まで軽風~軟風状態にあったが11時には10.4m/s, そして12時には12.2m/sとなった。14時には少し下がり9 m/sとなったが, 15時から16時まで10m/s程度の風速が続いた。そして, 17時以降には軽風状態となった。

この間の湖底の状態を記録した映像のスナップショットを図1に示す。疾風状態の8 m/sの風が吹き始める10時までは, 弱い層流がみられるが, 顕著な濁りが無い状

態である。11時に10m/sを超え, 12時に12.2m/sとなったときには, 層流もより強くなり, 湖底に堆積していた1~2cm台の粒子を巻き上げる現象が確認された。しかし, 一般的に見られる強い濁りを伴っていない状況であった。続く14時以降, 巻き上げを伴う乱流の発生はなくなる。このように湖底の攪乱は12m/sに達したときのみであった。

次に水の動態を塩分の時系列変化からみると, 10m/sの風は明らかに上層から中層までの水質へ影響を

与えている。10m/sを越す風が吹き始めると、1～2時間後には上層水の塩分が上昇しはじめ、10m/sの風が5～6時間続いて低下したところで上層水の塩分が最も高くなっている。塩分の変化は10‰から15‰への上昇であった。中層水は、上層水の塩分が最も高くなる時とほぼ呼応して塩分が低下している。上層水が塩分の高い中層

水へ混入したもので、明らかに10m/sを少し超える程度の風が5～6時間続くと、上層水と中層水の混合が行われていることを示している。しかし、中層水へ混入した上層水の分離は短時間の内に分離し、もとの成層構造へもどってしまう。この間、約2時間ほどである。また、雄風状態では下層水までの混合作用は起こらなかった。

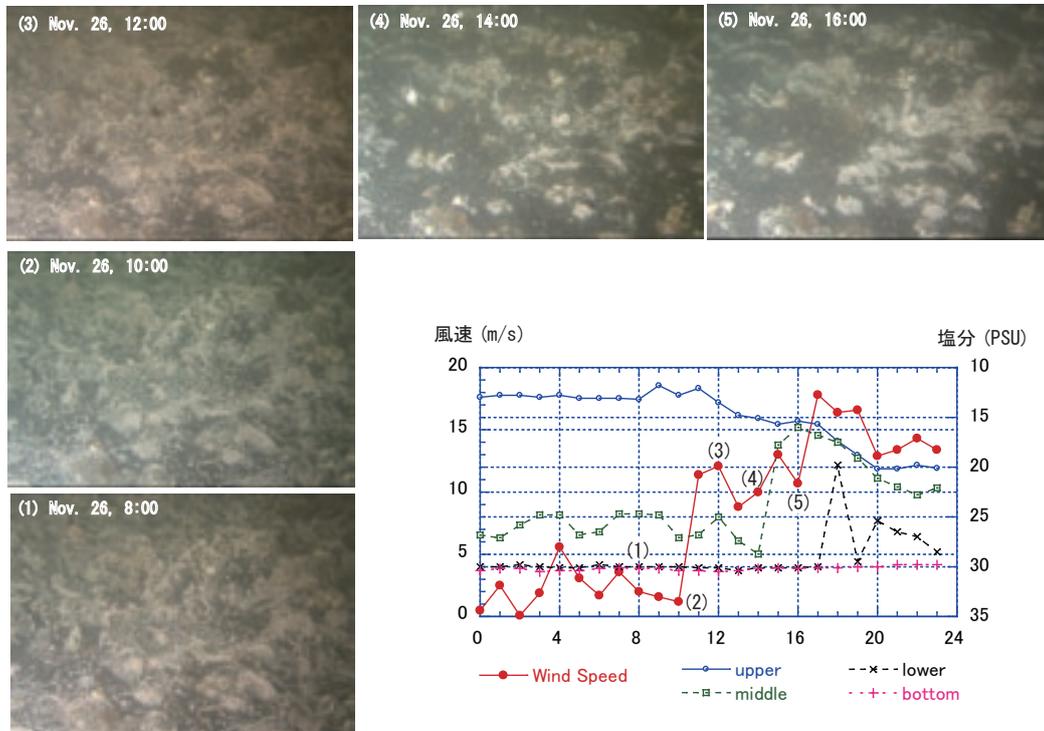


図2. 2004年11月26日の風速変化に伴った湖底の状態と水深別の塩分変化。湖底が白く見えるのはバクテリア・マットによるもの。約60cm前方の湖底を2時間間隔で撮影。グラフ中の番号は映像のスナップショットの番号に相当。風速および水質データは国土交通省による。

Fig. 2. Bottom snapshots corresponding to the wind speed and the salinities at different depths.

【11月26日】26日に発生した風速は10m/sを越す時間帯が長かったため、湖底での攪乱作用が確認された。10時まで微風～軽風状態であったが急激に冬型の気圧配置になり11時に10m/sを越す西風が吹き始める。17時には18m/sの疾強風となり、翌日まで10m/sを越す風が続いた。

この間、8時から16時までのスナップショットを図2に示す。10時まで微風状態にあった湖底は、極めてゆっくりとした流れであったため、硫酸バクテリアの白いマットが形成されている状態であった。12m/sの風が吹いている12時には、層流が発生しており、マットの一部が剥離される状態が観察される。しかし、より顕著なマットの剥離は、風速がやや低下したなかでも発生しており、14時以降に顕著になる。14時と16時の映像には、マットの剥離と同時に湖底粒子の巻き上げも起こっており、かなり強い乱流が起こっている。

水の動態を時系列変化からみると、風速が10m/sを超え、12m/sの風が吹き始めると、表層水の塩分が高くな

り始める。前述のように塩分の高い中層水の混入が起こり始めたことによる。しかし、中海の湖心部では、上層水と中層水の混合作用は、約5時間たって起こりはじめる。この混合作用は、風速がさらに強くなる16時～20時の間も続き、やがて徐々に分離していく。上層水と中層水の分離は風速が12m/sを超えているなかでも起こっている。下層水は、中層水の混入を受けているのが17時に疾強風の18m/sの風が吹いて約1時間後に起こっている。すなわち、風速が18m/sになるような風の場合、中層水まで攪拌することができる。しかし、底層水の塩分変化は起こっていない。一方、溶存酸素濃度の水深別変化も同様な傾向を示している。水の攪拌に伴って酸素の溶け込みが時間差をおいて下層へと進行していることが明瞭である。10m/sの風が吹き始めて5時間後に上層水と中層水の混合作用が起こり、下層水と底層水中の酸素濃度も緩慢に上昇していく。さらに18m/sの風が吹いた1時間後には下層水の溶存酸素濃度が急に上昇し始める。しかし、風速の低下に呼応して溶存酸素濃度も低下していく(図3)。この場面の湖底の映像は、水中カメラ

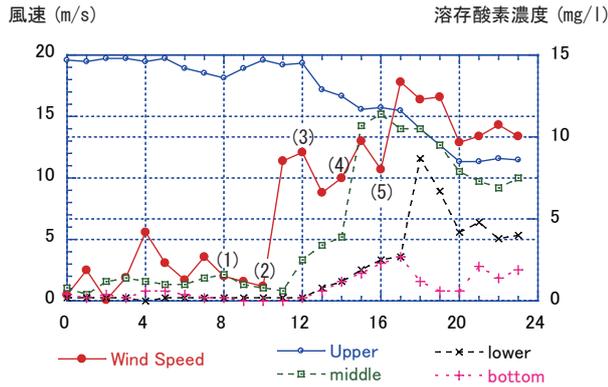


図3. 2004年11月26日の風速変化に伴った水深別の溶存酸素濃度の1時間ごとの変化. グラフ中の番号は図2に示す映像のスナップショットの番号に相当. 風速および水質データは国土交通省による.

Fig. 3. Relationships between the wind speed and the dissolved oxygen contents at different depths.

ラの破損によって撮影することができなかったが, 底層水への酸素の拡散は10m/s以上の風速が必要である.

4. 考 察

宍道湖・中海の水質が風によって影響を受けることは以前から指摘されてきた(橋谷ほか, 1992). たとえば, 強風にとまう栄養塩類の上層への回帰と赤潮の発生要因(Kondo et al., 1990). 塩分躍層附近での上層・中層の混合作用(奥田, 1997)や水の流れの変化過程(Godo et al., 2001). 湖底堆積物の攪乱と湖水中への浮遊物拡散の証拠(野村・瀬戸, 2004). などがある. いずれも, 湖水の化学的性質や生態系は風力と密接に関連している証拠が示されている. しかし, このような現象がどのような過程で起こったのか, そのプロセスの説明は十分であるとはいえない. 風の営力による湖水動態は必ずしも明確ではない状況にある.

2006年11月に記録された風による湖底の動態については先に特徴を記した. この状況と比較すると, 風による湖底や水質への影響は極めて複雑なことが明らかである. 今回の映像で明らかになったことは, 2006年の場合, 風速10m/sで湖底泥が攪乱され, 濁りが発生することに対して, 2004年の場合, 顕著な濁りの発生が見られなかった. また湖底の攪拌も2004年の場合は風速12m/sになって起こっていることである. 2006年の湖底は, 濁りが発生しやすい環境が形成されていたことが影響しているかもしれない.

2006年には, 上層水と中層水の混合が, 風速10m/sを超えると3時間後に起こっていたが, 今回の場合は約6~8時間後に起こっている. 同じ風向の風でも極めて長い時間がかかっている点は, 今回のように時間当たりで平均した風速では読み取ることができない風の吹き方が影響しているものと考えられ, 複雑な状況の違いがある.

風速が湖水を攪拌する能力は雄風状態の12~13m/sの風速では, 下層水と中層水の混合作用は簡単に起こらないことが確認される. しかし, 2006年に確認した15m/sを越す強風による下層水・底層水と中層水の混合は, 今回の場合(26日16時~19時の間)は確認できなかった. 2004年11月の底層水は極めて安定した状態にあった.

このように, 11月の湖底を2006年と2004年とを比較して, 風の営力に対する湖底の反応には同程度の動態が再現されにくいことが明らかとなった. 大局的には風の影響は湖底の攪乱や水質の混合を促していることは明らかであるが, 再現性を求めることは湖底の状態が異なっている場合においては極めて困難である. 野村・瀬戸(2008)は風に対する湖底泥の巻き上げの程度も季節によって異なることを指摘した. 夏季~秋季にかけて湖底に貧酸素状態が続いた場合, バクテリア・マットが形成される. 冬季にはバクテリア・マットは形成されない. このマットの形成は湖底泥をネット上に被覆するため, 風の営力に対して, 湖底泥の巻き上げを止める役目をする. したがって, 同じ風速でもマットが形成されない冬季の方が巻き上げによる濁りが発生しやすい. このように, 季節によって風の営力に対する反応は異なっている. 今回の映像にはハゼが頻繁に観察されるのに対して, 2006年の映像には全くハゼが観察されなかった. このことからみても, 明らかに湖底の環境が生態的にも異なっていると, 湖底の濁りの発生条件も異なっていると考えられる.

このような環境そのものが変化していくなかで複雑な湖水環境を再生し, また保全するためには, 多くの自然現象の変則性を理解したうえで観察事例を積み重ねることが重要であると考ええる.

謝 辞

水中を長期にわたって観察することの意義を理解していただき, 水中カメラの作製に多大なご協力いただいた元しまね振興財団の堀江 譲氏に感謝いたします.

引用文献

- Godo, T., Kato, K., Kamiya, H. and Ishitobi, Y., 2001, Observation of wind-induced two-layer dynamics in Lake Nakaumi, a coastal lagoon in Japan. *Limnology*, 2: 137-143.
- 橋谷博, 奥村稔, 藤永薫, 近藤邦男, 清家泰, 山田佳裕, 1992, 宍道湖・中海の水質変動に与える気象・海象の影響-(その2) 1982~1991年の水質変動と気象5因子. *山陰地域研究(自然環境)*, 8: 69-86.
- Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y., 1990, Red tides in the brackish lake Nakaumi (II), Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 37: 19-34.

- 野村律夫・瀬戸浩二, 2004, 有孔虫の産状からみた2003年春季の赤潮発生期の中海の海況. *Laguna* (汽水域研究), **11**: 125-130.
- 野村律夫・瀬戸浩二, 2008, 中海湖心部における湖底の水中映像 (その2): 冬季の季節風に対する底層水の動態. *Laguna* (汽水域研究), **15**: (印刷中).
- 野村律夫, 2008, 水中ビジュアルモニタリングによる技術による汽水域の環境解析. *環境技術*, **11**: 6-11.
- 野村律夫・瀬戸浩二・堀江 譲・高田裕行, 2007, 中海湖心部における湖底の水中映像 (その1): 風速変化に対する底層水の動態. *Laguna* (汽水域研究), **14**: 17-24.
- 奥田節夫, 1997, 汽水湖における水塊の移動と混合過程. *沿岸海洋研究*, **35(1)**: 5-13.

