

ベトナム・ハノイの浅い富栄養湖における水質環境計測*

東北大学 大学院工学研究科 梅田信

Thuyloi University Le Thi Thanh Thuy

Thuyloi University Nguyen Trung Viet

1. 序論

発展途上国の中において、近年のめざましい経済発展に伴い、種々の環境問題が顕在化しており、対策が必要とされている水域が多い。このような状況は、過去の日本においても、高度経済成長期に多くの公共用水域でひどい水質悪化が生じていた経験があり、それと類似した様相を呈しているとも言える。しかし、特に閉鎖性水域については、一度顕著に水質が悪化すると、環境の回復には時間が必要であることから、我が国でも数十年という長い時間を掛けて、徐々に改善されてきているところである。

このように、閉鎖性水域の水環境再生には、多大な労力と時間がかかることから、本来ならば予防的措置を行うことが望ましいところである。しかし、すでに問題が生じている水域に対処する場合、既存の経験を活かせば、最適な施策の検討のときだけではなく、環境回復までの長期的な経過の予測・展望を行うことが可能であると考えられる。また、このような技術が確立されれば、環境対策についての順応的管理におけるモニタリング調査の精度向上や、効率的な追加措置の検討が可能になると考えられる。

本研究の対象は、ベトナムの首都ハノイの市街地北部に位置する Tay 湖である。この湖は、市街地にあり、湖岸に沿って飲食街、高級ホテル、遊園地などが建ち並び、市民のレクリエーションおよび観光地として有名である。しかし、水環境の悪化は急速に進み、1990 年代には中栄養程度で十分に良好であった水質が、わずか 10 年ほどで過栄養レベルにまで至ってしまった (Luu et al.2008)。行政や PFI 事業により、下水処理場建設などの対策が、現在進められつつある状況であるが、より精度の高い水環境解析技術を用いた対策の最適化や効果検討が望まれているところである。

本論文では、この湖に対して基礎的な水環境調査を実施し、湖内水質の概況を把握することができたので、その内容について報告する。

2. 研究対象地と現地観測方法

ベトナムの首都ハノイの市街地北側に位置する Tay 湖が、本研究の対象である (図-1)。この湖は、近くを流れる Hong 川の河跡湖として形成されたものである。したがって、最大水深で約 2m と浅い湖である。また Hong 川との交流も途切れており、大きな河川流入も無いことから、湖水の滞留時間も長い。そのため、湖のそもそもの諸元として富栄養化しやすい傾向を持っていると言える。

*Measurements of water quality in a shallow eutrophic lake in Hanoi, Vietnam by Makoto Umeda, Le Thi Thanh Thuy, and Nguyen Trung Viet

このような湖自体の水理学特性に加え、市街中心部にあるために、湖岸の際まで飲食街やホテルが密集しており、これらの施設からの雑排水が、未処理で垂れ流しされている。近年の経済発展も重なり、湖の環境悪化が、この十数年で急速に進行した。現在の水質状況は、クロロフィル *a* が約 $40 \mu\text{g/l}$ 、COD が約 20mg/l 程度 (Le et al. 2014) と、過栄養湖に区分されるほどの状態である。

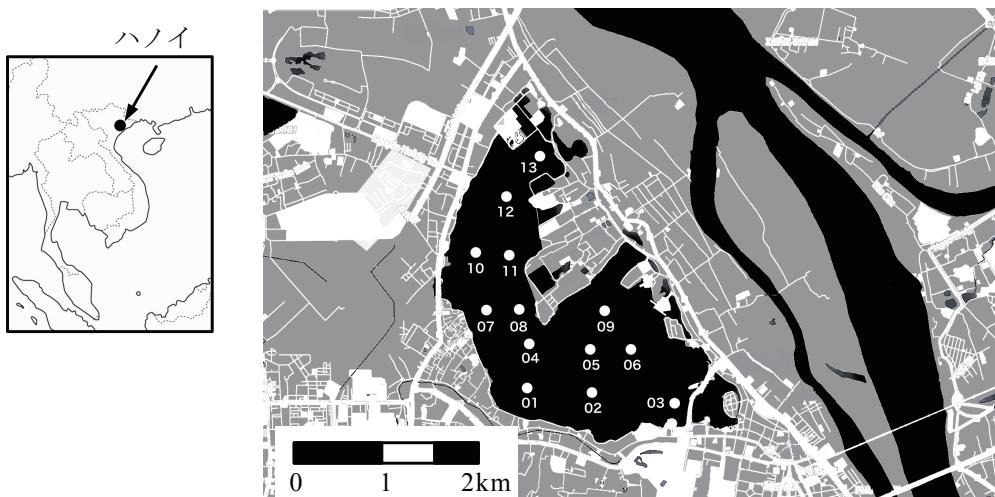


図-1 研究対象地の Tay 湖とその周辺 (Hong 川を含む)

黒色部分：水面、白色部分：道路、敷地等

図中央部が Tay 湖で、その中に調査地点を白丸で示した。

観測は 2014 年 9 月 25 日に実施した。観測は、湖内の多地点（図-1 に示した 13箇所）において、水温、クロロフィル *a*、濁度、DO の鉛直分布計測を行った。測定には、JFE アドバンテック社製 RINKO Profiler を用いた。また、表層水を採水し窒素、リン、TOC、DOC の測定を行った。

3. 観測結果

図-2 に全地点の水温と DO の観測結果を示す。湖内の水深は、最大で 2m（地点 06, 10）であったことから、非常に浅い湖であることが分かる。また本研究で設定した観測地点での深度分布からは、比較的平坦な湖底形状をしていると言える。

水温は、全地点の概ね全水深にわたって、約 30°C の一様な水温分布であった。DO は、主に上層において、10 から 15mg/l 程度の値を示しており、過飽和な状況であった。これは、後述するクロロフィル *a* 濃度の状況からも、高濃度に増殖した植物プランクトンの光合成によるものであると推測される。下層は、上層よりも低下している傾向が見られるが、多くの地点では飽和に近い溶存酸素濃度であった。ただし、湖北部の地点 12, 13 においては、貧酸素状態ではないものの、下層で約 4mg/l まで低下していた。

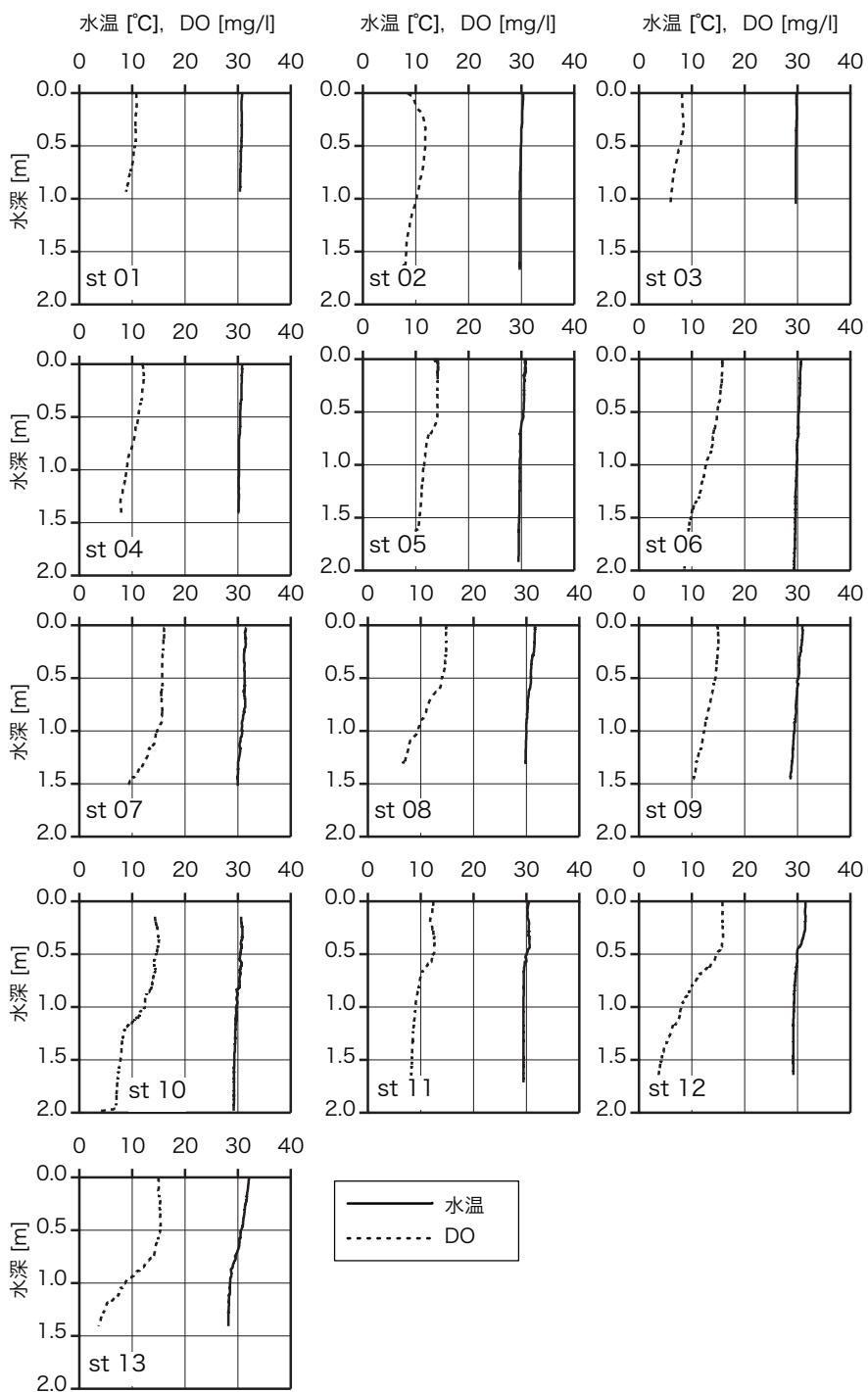


図-2 水温と DO の観測結果

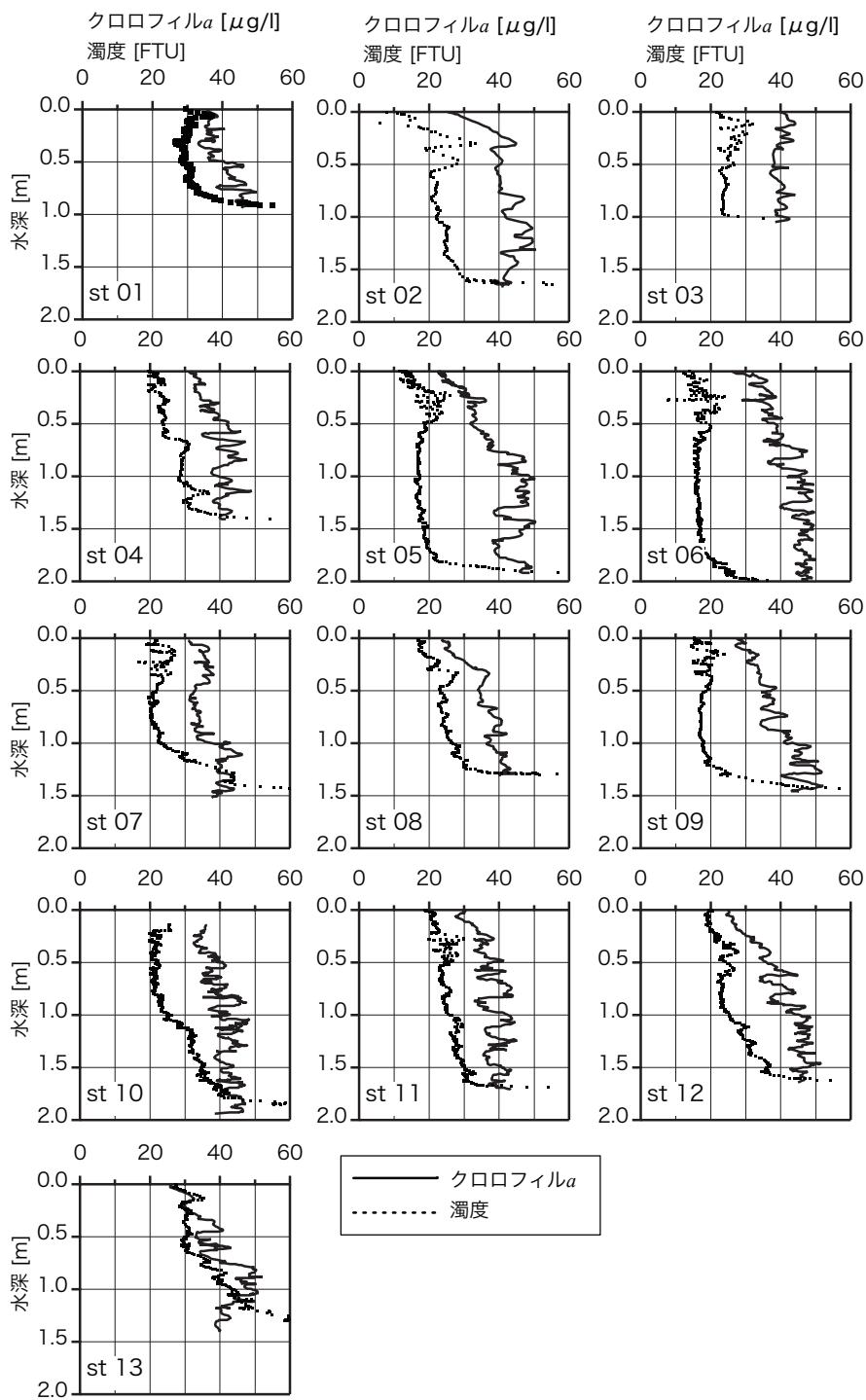
図-3 クロロフィル*a*と濁度の観測結果

図-3は、クロロフィルaと濁度の観測結果である。クロロフィルaについては、強光阻害のためと考えられるが、表層でやや低い値を示す。水深0.5m程度より下層においては、概ね40μg/l前後の値を呈している。観測した鉛直分布にランダムな変動が大きく見られるのは、群体化してフロック状になった藻類が浮遊していたため、その時々の藻類の浮遊状況によりセンサーが反応したためであろうと推測される。

濁度は、概ね20度以上を示している。目視における湖水は、緑色であったことから、この濁りの主な原因は浮遊している植物プランクトンであると考えられる。ただし、例えば地点10に見られるように、クロロフィルaは鉛直的に一様的な値を示しているのに対し、濁度は下層で高くなっているような地点もある。これは、植物プランクトン以外の湖水流動等の影響出ていると推測される。流量的には大きくないものの、湖の周辺から雑排水の流入が場所によりあるため、そのような水の到達が影響している可能性も考えられる。また、地点13は全層的に濁度が高い。これも、入り江状になった湖端部での流動環境などが影響していると推測される。

表-1に採水分析の結果を示す。無機態栄養塩については、採水作業上の都合により、全地点は計測できなかったが、計測下限値未満の結果となったところが多い。これは、植物プランクトンの増殖により利用され、無機態栄養塩が概ね枯渇するような状況になったと考えられる。しかし、無機態窒素に関して、硝酸態窒素(NO3-N)は測定した全地点で検出されなかつたのに対し、アンモニア態窒素(NH4-N)が複数地点で観測されている。またアンモニア態窒素濃度が最大濃度を示した地点03においては、亜硝酸態窒素(NO2-N)も検出されている。これらについては、湖周囲からの廃水流入による影響であると考えられる。

表-1 採水分析の結果

	TOC [mgC/l]	DOC [mgC/l]	NO3-N [mgN/l]	NO2-N [mgN/l]	NH4-N [mgN/l]	TN [mgN/l]	PO4-P [mgP/l]	TP [mgP/l]
ST01	12.69	5.14	<0.01	<0.01	<0.01	2.31	<0.01	0.105
ST02	12.56	-	-	-	-	2.682	-	0.166
ST03	11.48	4.16	<0.01	0.041	0.269	3.431	<0.01	0.228
ST04	12.37	-	-	-	-	2.610	-	0.177
ST05	12.57	4.66	<0.01	<0.01	<0.01	2.601	<0.01	0.179
ST06	12.15	-	-	-	-	2.579	-	0.173
ST07	12.94	-	-	-	-	2.586	-	0.172
ST08	12.28	4.95	<0.01	<0.01	0.030	2.358	<0.01	0.132
ST09	12.37	5.27	<0.01	<0.01	0.034	2.513	<0.01	0.164
ST10	13.21	-	-	-	-	2.533	-	0.169
ST11	12.88	-	-	-	-	2.655	-	0.180
ST12	13.25	4.69	<0.01	<0.01	0.036	2.558	<0.01	0.168
ST13	12.52	-	-	-	-	2.573	-	0.169

4. 結論

本研究では、人為的な富栄養化現象が顕著に発生しているベトナム国ハノイ市内のTay湖を

対象に、富栄養化現象の現状把握を実施するための基礎的な現地調査を実施した。浅い湖であることから、水温成層は見られなかった。クロロフィル *a* 濃度は概ね $40 \mu\text{g/l}$ と植物プランクトンの増殖が非常に顕著で、過栄養レベルであると言える。そのため、DO も過飽和になっていることが観測された。そのため、湖水の貧酸素化は見られなかつたが、一部の地点では、下層でやや低酸素傾向な状態が観測された。栄養塩環境については、総窒素、総リンはかなり高いレベルでやはり過栄養状態であると言えるような値であった。しかし、無機態栄養塩については概ね枯渇しており、植物プランクトンの増殖に利用されていると考えられる状態であった。

本研究の調査により、湖内の水質環境がある程度把握することができた。今後、水質改善のための対策検討へつなげていく必要がある。

5. 参考文献

- Le Thi Thanh Thuy, Hoang Thi Ngoc Anh, Nguyen Manh Duc, Nguyen Trung Viet, Hitoshi Tanaka
Study on water quality and hydrodynamics in West Lake, Hanoi by using mathematical model and field
investigations, Proceedings of 19th Congress 19th IAHR-APD Congress, 2014.
- Luu Lan-Huong, Bui Thi-Hoa, Do Van-Thanh, Nguyen Thi-Thanh-Nga The current state on water
quality, eutrophication and biodiversity of West Lake (Hanoi, Vietnam), 2008.