

# 植物プランクトン生息物理環境指標としての実用的混合水深評価手法構築の試み

埼玉大学大学院理工学研究科 正会員 ○古里 栄一  
 埼玉大学大学院理工学研究科 学生会員 Tulaja Gurung  
 環境システム株式会社 鮎川和泰  
 神戸大学大学院 正会員 中山 恵介  
 島根大学エスチュアリー研究センター 清家 泰  
 独立行政法人水資源機構総合技術センター 今本 博臣  
 独立行政法人水資源機構総合技術センター 久納 誠

表-1 山城池の概要

	項目	数値	単位
山城池	湛水面積	0.028	km <sup>2</sup>
	流域面積	0.7	km <sup>2</sup>
	堤高	11	m
	総貯水容量	142,000	m <sup>3</sup>
	越流部標高(満水位)	EL. 77.76	m
	最大水深 <sup>*1</sup>	7.5	m

\*1: 満水位と貯水池最深部標高から算定した。

## 1.はじめに

ダム貯水池の水質管理において、有害植物プランクトンの増殖制御は重要な問題である。気泡循環対策は、水温成層構造の人為的制御によりアオコ抑制を可能にする有用な対策の一つであるが、この対策の工学的な適用における問題点の一つが、対策の直接的な効果である、水温成層構造の評価手法が確立されていないことである。本発表では、実用性を考慮した、植物プランクトンの生息環境としての混合水深評価手法構築の試みについて述べる。

## 2.材料と方法

本研究は、沖縄県久米島の山城池(表-1, 図-1)に設置した水温水質自動観測装置のデータを用いた。本装置は、水温、DO等の現地機器計測可能な項目を2時間間隔で自動ウインチによる測定するものである。本研究では、鉛直混合や乱流構造を評価するために1cm毎の鉛直分布を測定できるよう、ウインチや測定データの処理システムを制御した。また、測定装置・ウインチが設置された浮体も、波浪による振動を防ぐために、重量および浮力の大きい、港湾で用いる浮き桟橋のフロートを用いた。台風来襲時のビデオ観測により、強風時の波浪条件においても浮体の振動は認められなかったことから、本研究で用いた通常気象条件においては、水深方向1cm間隔のデータは、実際的水温、水質の微細構造を取得していると考えられる。

混合水深の評価方法は、乱流エネルギーとポテンシャルエネルギーを用いた手法によるラグランジュタイプの湖沼貯水池数値解析モデルも古くから開発されているが(Imberger 1985)、工学的適用の観点からは、現地で機器観測可能な指標から簡易に評価できる手法が有効である。ウェッダーバーン数を用いて、この数値が1となる条件の等価水深を混合水深として扱う先行研究も存在するが(Visser et al. 1996)、貯水池現地データにおける安定成層要求性の強い藍藻類の出現状況から考えると、この手法ではプランクトンハビタットとしての混合状態の評価において問題があることが指摘されている(梅田ら 2006)。本指標は混合外力として風のみを対象としていることも議論が必要な点であろう。一方、水理学的には問題はあるのは自明であるものの、鉛直混合の有無は、水温や水質パラメータの水深方向の一様化により判断できるはずであるというシンプルな仮定に基づき、臨界水深(Sverdrup 1953, 古里ら 2017)の基礎概念である混合水深を評価する

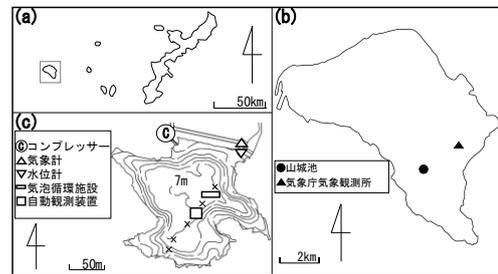


図-1 山城池と実験施設の位置

\* (c) における×は、縦断水温分布調査地点を示す。

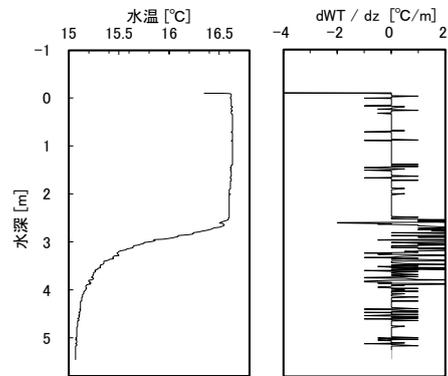


図-2 山城池(最深部)の水温(左)および局所水温勾配(右)の鉛直分布(2017年2月25日午後0時)

試みも行われている。表層と当該水深の水温やDO等の値の差分が一定以下の値となる最大水深を混合水深として評価するものである。そのパラメーターとしては、水温(Tedford et al. 2014, Obata et al. 1996, de Boyer Montegut et al. 2014, Anis & Moum 1994)、密度(Smith & Jones 2015, de Boyer Montegut et al. 2014, Brainerd and Gregg, 1995)、DO(Morales & Kaiser 2012)等の事例がある。本研究では、上述した時空間的に詳細な、特に水深方向に1cm間隔の水温やDO、EC等の測定データや水面付近の気象データを活用して、混合水深の評価を行った。

### 3. 結果と考察

図-2, 3に本観測装置の計測例を示す。図-2は、水温やDOの表層との差分評価にあたって、その原因としての混合が実際に生じていたかを評価するための材料の一つとして用いる水温微細鉛直分布と1cm毎の水温差である。混合の源である乱流は本来であれば流速測定結果から乱れエネルギーの散逸率を評価する等が必要であるが、いくつかの先行研究(Batchelor 1959)に従いこうした解析を行った。図-3は関連諸量の時系列変化の一例である。これは成層期初期の3月(沖縄では本土よりも成層開始が早い)のデータであるが、混合外力として想定される風や水面冷却による水温やDOの水深方向の一様化の特性が伺える。これらより、現地における植物プランクトンの生息時間スケールにおける混合水深評価を、混合駆動外力の影響を含めて行った。発表においては現時点における結果を用いて、会場との意見交換を行いたい。

### 4. 課題

本報告で用いたデータに基づき、乱流解析と植物プランクトン生息環境との関係について十分な学術的背景を構築した上で、気泡循環対策の管理指針のための合理的な混合水深評価手法を確立するとともに、これを達成するための適切な気泡循環施設の設計指針と合わせた包括的工学指針を作成し、社会実装に繋げる必要がある。

#### 謝辞

本研究の一部は、公益財団法人 河川財団の河川基金助成事業、公益財団法人 高橋産業経済研究財団研究助成、独立行政法人水資源機構総合技術センターの受託研究、琉球大学国際沖縄研究所 共同利用・共同研究事業により行われた。本研究は久米島

町と第一著者との間での研究協定(山城池の水質研究に関する協定書)に基づいて実施された。ここに記して謝意を示す。

#### 【参考文献】

Anis, A. & Moum, J.N. 1994. Prescriptions for heat flux and entrainment rates in upper ocean during convection. *Journal of Physical Oceanography*, 24

Batchelor, G. K., 1959: Small-scale variation of convected quantities like temperature in turbulent fluid. *J. Fluid Mech.*, 5, 113-139.

Brainerd, K.E. & Gregg, M.C. 1995. Surface mixed and mixing layer depths. *Deep Sea Research*. 42(9), 1521-1543

de Boyer Montégut, C., Madec, G., Fischer, A.S., Lazar, A. & Iudicone, D. 2004. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile based climatology. *Journal of Geophysical research*, 109.

古里栄一・他, 新しい臨界水深評価手法としての修正Sverdrup式—気泡循環の吐出水深設計指針として—, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, No. 4, L\_985-L\_990, 2017.

古里栄一・他, 強い気泡循環により受熱期に生じる水温成層形態変化の現地観測と広域流分類区分の提案, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74(投稿中), 2018.

Imberger, J. 1985. The diurnal mixed layer. *Limnol. Oceanogr.* 30(4), 737-770.

Morales, K.C. & Kaiser, J. 2012. Using dissolved oxygen concentrations to determine mixed layer depths in Bellingshausen sea. *Ocean Sci.*, 8, 1-10.

Obata, A., Ishizarka, J. & Endoh, M. 1996. Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data. *J. Geophys. Res.*, 101(C9), 20657-20667.

Smith, W.O. and Jones, R.M. 2015. Vertical mixing, critical depths and phytoplankton growth in the Ross sea. *ICES J. Mar. Sci.*, 72(6), 1952-1960.

Sverdrup, H. U.: On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton, *J. Cons. int. Explor. Mer.*, Vol. 18, No. 3, 287-295, 1953.

Tedford, E.W., MacIntyre, S., Miller, S.D. and Czikowsky, M.J. 2014. Similarity Scaling of turbulence in a temperate lake during fall cooling. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 4689-4713.

Visser, P.M., Ketelaars, H.A.M. & van Breemen, L.W.C.A.: Diurnal buoyancy changes of *Microcystis* in an artificially mixed storage reservoir, *Hydrobiologia*, 331, 131-141, 1996

梅田信・古里栄一・浅枝隆, 富栄養化したダム湖におけるアオコ発生指標としての水温成層安定性, *ダム工学*, Vol.16, pp.269-281, 2006

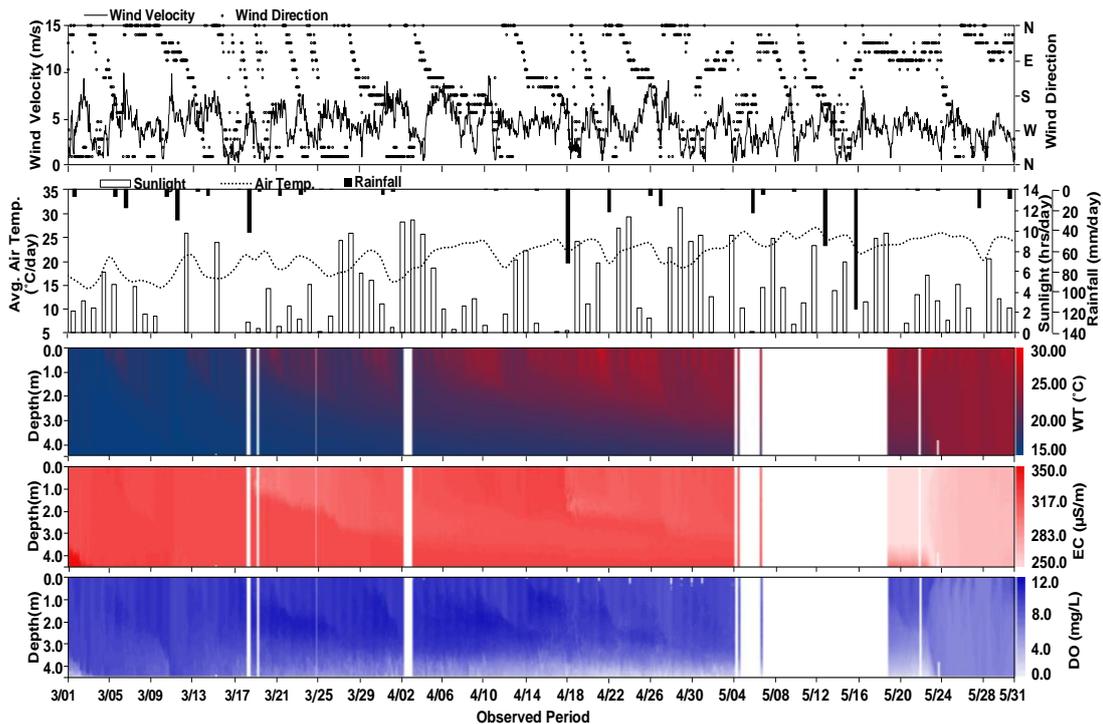


図-3 山城池における気象および水温 DO 鉛直分布の実験期間中における時系列変化(白色部は欠測)