

カンボジア・トンレサップ湖における水温変動解析 -Google Earth Engine を活用して-

Long-term variations of water temperature in Tonle Sap Lake using Google Earth Engine

○藤原洋一・奥山浩気・星川圭介・藤井秀人・中村恭志・Sambo Lun

○Y. Fujihara, K. Okuyama, K. Hoshikawa, H. Fujii, T. Nakamura, and S. Lun

1. はじめに カンボジア・トンレサップ湖は、東南アジア最大の淡水湖である。乾季は水がメコン川に流出するのに対して、雨季は水がメコン川から逆流して流入し、湖面積が乾季の6倍にも拡大する。このユニークな水文循環によって、600種類以上の魚類が生息しており、この湖から獲れる魚類はカンボジア国内のタンパク質摂取量の約60%を占めている。このため、トンレサップ湖の環境保全はカンボジア国における最重要課題であるが、継続的な現地水質観測は不十分であるのが実状である。とくに、湖の水温は湖沼管理にとって最も基本的なパラメータであるが、長期間水温を観測したデータはなく、湖の水環境がどのように変化しているのかはほとんど分かっていない。そこで、本研究では、表層水温を衛星データから推定し、水温変動の特徴や変動の要因を解明することを試みた。

2. 研究方法 表層水温データにはMODISのプロダクトの一つであるMOD11A1を用いた。空間解像度は1kmで日単位のデータを利用することができる。はじめに述べたように湖面積は季節によって大きく変化するが、本研究では通年を通して水域であるエリアのみを解析対象とすることとした。水温の変化の要因を調べる変数として、地上気温および降水量に注目することとした。これらのデータには再解析データの一つであるERA5-Landを利用した。空間解像度は0.1度である。時間単位のデータも利用可能であるが、本研究では月単位データを解析に使用した。なお、MOD11A1およびERA5-Landデータについては、クラウドベースのGoogle Earth Engine (Gorelickら(2017))から直接呼び出して解析に利用した。また、湖の水位は乾季には2mを下回り、雨季には10mを超える。このような水位変化は水質に大きな影響を与えることが報告されており(たとえばHoshikawaら(2019))、本研究では湖の日水位データも利用することにした。

3. 水温・水位の長期変動 水温の季節的な特徴を調べたところ、地上気温は4月に最高となっているのに対して、水温は一ヶ月遅れの5月となっていることが分かった。また、地上気温は12月に最低となるのに対して、水温は一ヶ月遅れの1月となっていることが分かった。次に、年最高水温、年平均水温、年最低水温といった水温特性の長期変動を調べた。MOD11A1は日単位のデータであるが、雲の影響を受けている画像は利用することができない。そこで、1年間365枚の画像を用いて、ピクセル毎に95パーセントイル値、中央値、5パーセントイル値を求め、さらにこれらの湖エリア内の平均値を求めることによって、年最高水温、年平均水温、年最低水温を求めた。水温の長期変動をFig.1に示す。これを見ると、年最高水温は10年あたり約0.2℃の上昇トレンドとなっている。一方、年最低水温については、近年の気候変動にともなう温度上昇に反して、低下トレンド(10年あたり約0.8℃)となっていることが分かった。また、2010年あたりから年最高水温と年最

低水温のレンジが大きくなっており、水温の変動が大きくなっていることも分かる。次に、年最高水位、年平均水位、年最低水位の長期変動を Fig.2 に示す。これを見るといずれの変数も低下トレンドであるが、年最高水位の低下が最も顕著であることが分かる。

4. 水温の変動要因の分析 年最高水温が上昇する一方で年最低水温が低下する現象が生じており、この要因について分析する。まず、年最高水温、年最低水温、さらに、年平均気温、年降水量、年平均水位、年最高水位、年最低水位、前年の年平均水位、前年の年最高水位、前年の年最低水位との相関関係を調べた。その結果、年最高水温は年平均気温、年最低水位などとの相関が強かった。また、年最低水温は、前年 (PY) の平均水位との相関が強いことが分かった。

年最高水温および年最低水温と代表的な変数間の散布図を Fig.3 および Fig.4 に示す。Fig.3 を見ると年平均気温が高いと年最高水温は高くなり、年最低水位が低いと年最高水温は高くなる関係になっている。一方、年最低水温と年平均気温は無相関であり、前年 (PY) の平均水位が低いと年最低水温は低く、前年 (PY) の平均水位が高いと年最低水温は高くなる関係になっている (Fig.4)。これは、水位が低い (水量が少ない) と湖の熱容量が小さくなり、湖の水温は地上気温の変化をより大きく受けるようになっていると解釈できる。この様に湖の熱容量が小さくなることによって、年最高水温が上昇する一方で年最低水温が低下するという現象が生じていると考えられ、カンボジア・トンレサップ湖は季節によって湖面積・水位が大きく変化することからこのような特異な水温変動が生じている。

引用文献 1) Gorelick et al. (2017) Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, Remote Sensing of Environment, 202: 18-27. 2) Hoshikawa et al. (2019) Characterization of total suspended solid dynamics in a large shallow lake using long-term daily satellite images, Hydrological Processes, 33(21): 2745-2758.

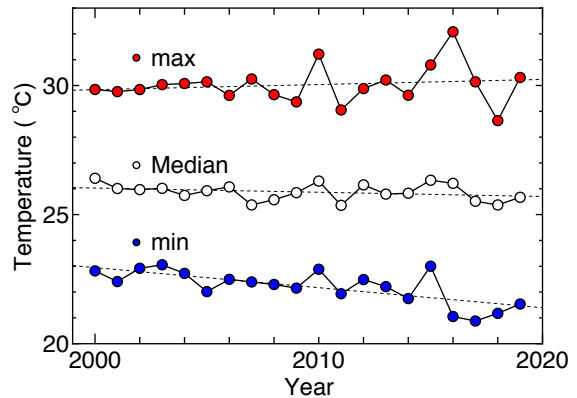


Fig.1 Long-term variations of water temperature

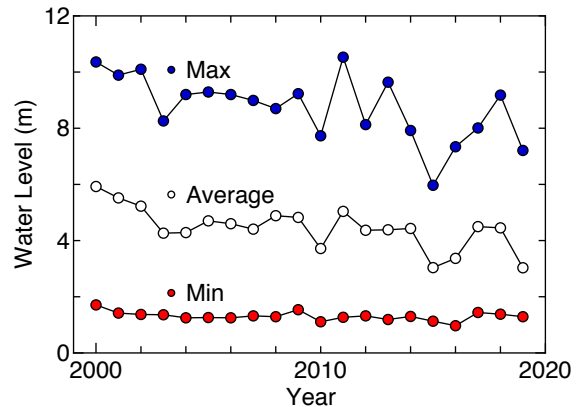


Fig.2 Long-term variations of water level

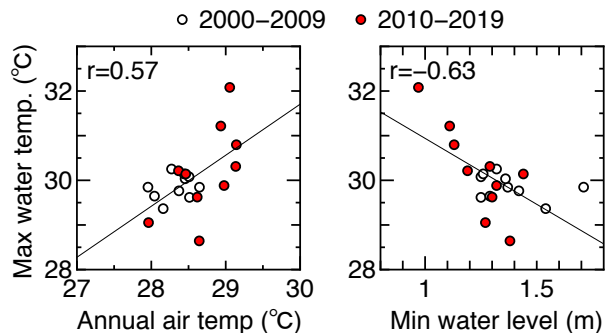


Fig.3 Relation between max. water temp. and air temp./min. water level

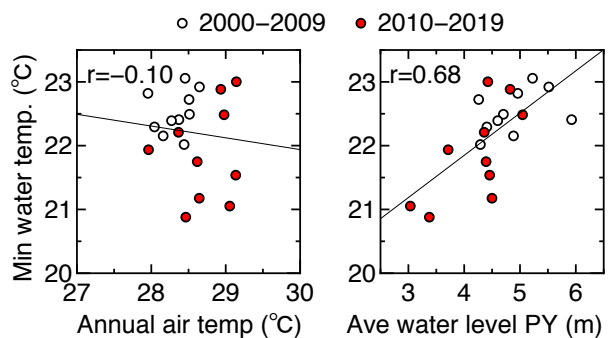


Fig.4 Relation between min. water temp. and air temp./ave. water level PY