

東アフリカの湖

— ビクトリア湖の過去と現在 —

中西正己*

はじめに

ビクトリア湖は、予てから一度訪れたいと思っていた湖である。大学院生の頃、現在、Royal Society of London の会員である J.F. Talling 著のビクトリア湖の水温・水中の光環境の時空間的变化に伴う植物プランクトンの光合成活性の応答に関する論文 (Talling, 1957, 1965) との出会い、植物プランクトンの生活を光合成と呼吸過程を通して理解するという方法論により研究を進めていた自分にとって大きな励みになった。2010年、ILEC (International Lake Environmental Committee, 国際湖沼環境委員会) から東アフリカにおける生態系保全と持続可能な利用をめざした「統合的湖沼流域管理 (ILBM, Integrated Lake Basin Management)」に関する情報収集を含めた現地調査のお誘いを受け、Talling の論文に接してから45年目にビクトリア湖を実感した。現地での聴取と収集した論文等を基にビクトリア湖について紹介する。

ビクトリア湖のあらまし

ビクトリア湖は、アフリカ大地溝帯にあり、地殻の褶曲によって誕生した構造湖であると言われている。この大地溝帯には、地殻の断層によって出来たもうひとつの構造湖、タンガニカ湖やマラウイ湖など多くの湖沼が存在する (図1)。ビクトリア湖の年齢は、200万年、40万年とも言われているが、湖底堆積物の分析によると干陸化した時期があり、現在のビクトリ

ア湖は2.5-3.5万年前に生まれたという説もある (Aqwange & Ong'ang'a, 2006)。標高1,134mに位置するビクトリア湖は、表面積、68,800km²、最大深度、84m (平均深度: 40m) 水量、2,760km³を有し、世界の淡水湖ではスペリオール湖に次いで2番目に大きな湖である (表面積、水量は琵琶湖の約100倍の大きさ)。その流域は、ケニア、ウガンダ、タンザニア、ルアンダ及びブルンジの5カ国に及んでおり、184,000km²にも達する。ビクトリア湖には、24の流入河川があるが流出河川はウガンダのジンジャ地区にあるビクトリア・ナイル川だけである。

ビクトリア湖は、水資源 (飲料水、工業・農業用水としてナイル川を通してスーダン、エジプトにまで広く利用されている)、発電、舟運、漁獲漁業 (2007年の漁獲高、100万トン/年は淡水湖で世界一、琵琶湖の漁獲高は2千トン/年)、建築材 (砂・礫)、エコツアーの拠点として人と係わりを持ってきた (Aqwange & Ong'ang'a, 2006)。

ビクトリア湖周辺には、広大な湿地が分布している。その面積は、10,235km² (ケニア: 2,169km²、ウガンダ: 3,846km²、タンザニア: 4,220km²) で、流域面積の約5.6%に相当する。ビクトリア湖周辺の湿地は、パピルス (*Cyperus papyrus*) を優占種とする抽水植物群落の発達した湿地であり、1) 河川等から流入する汚濁物質を物理・化学・生物学的過程を

*京都大学名誉教授

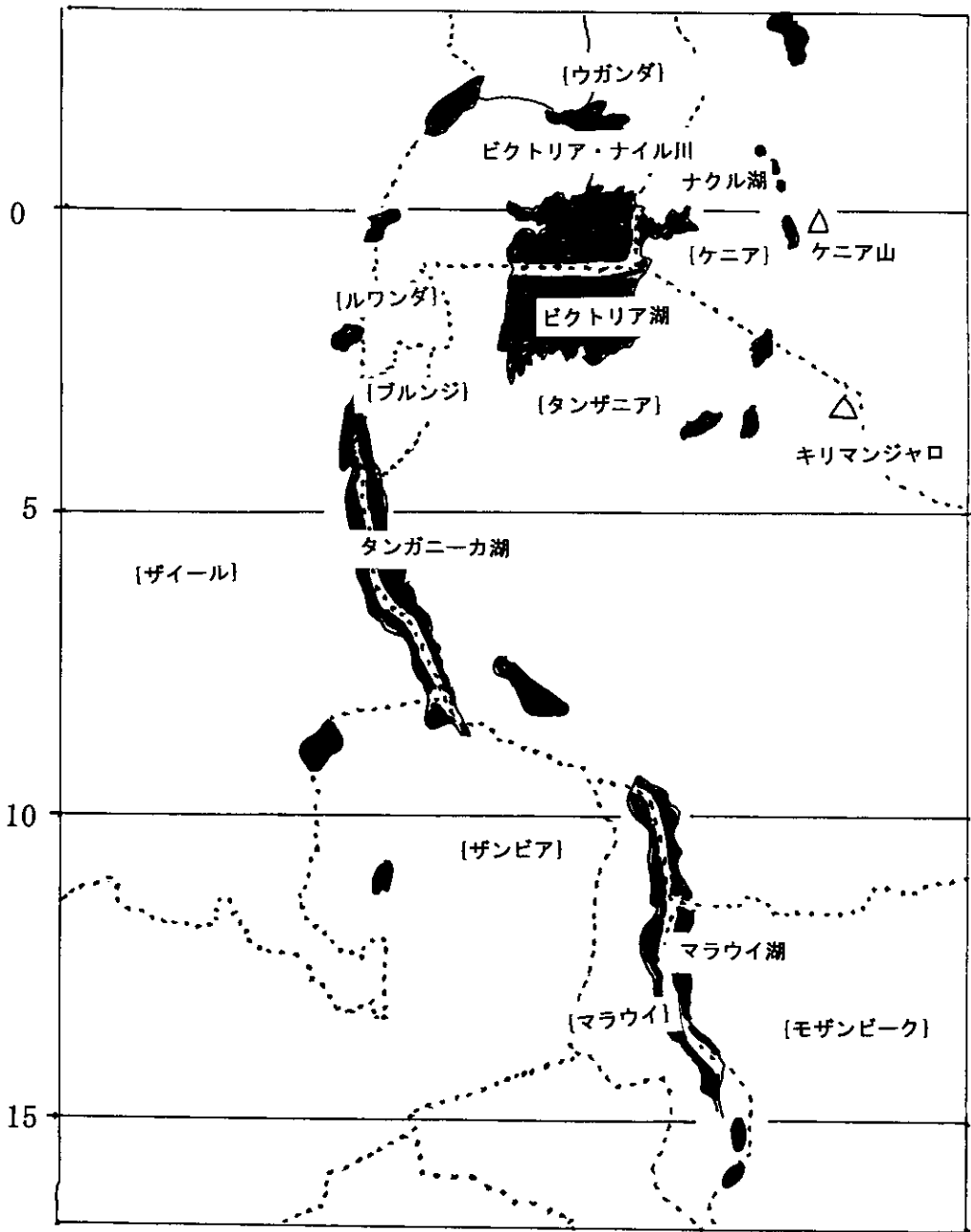


図1. ビクトリア湖, タンガニーカ湖及びマラウイ湖に代表されるアフリカ大地溝帯の湖沼群

通して濾過・トラップし除去する機能を備えておりビクトリア湖の化学的攪乱（富栄養化・有害化学物質汚染など）の制御，2）洪水調節機能を有し，湖の物理的攪乱の緩和，3）湖に生息する多くの魚類の産卵，仔稚魚の生育の場として不可欠な存在であり湖の生物的攪乱（生物多様性の劣化など）の制御に大きな役割を担っている。また，これら湿地は，地域住民との係わりも大きく農業（乾季に野菜など無施肥栽培など），漁獲漁業の場として，湿地に生育する抽水植物は薬・工芸品・屋根の材料，燃料，家畜の餌として広く利用されてきた（Kiwango, 2007）。

環境問題

ビクトリア湖における深刻な環境問題として次の四つが挙げられる。

1. 前述のようにビクトリア湖の生態系機能の維持に大きな役割を担っている「湿地の乱開発」である。外資系企業などの参入による湿地の大規模農耕地化や都市化に伴う道路建設などが進行しており，湿地のもつ多様な機能の劣化が懸念されている。更に，工芸品の材料・燃料などの需要拡大によるパピルスなど抽水植物の乱伐や砂利採取による湿地の荒廃も問題化している（Aqwange & Ong'ang'a, 2006, Kiwango, 2007）。
 2. 流域からの水質汚染物質の負荷量の増大による「富栄養化・有害化学物質汚染」が大きな問題になっている（Scheren et al, 2000）。
- 2-1. 「富栄養化」を引き起こす栄養塩（窒素・リン）の負荷量の増大は，1）流域人口の激増による都市排水増，2）砂糖・魚加工・蒸留酒・植物油・製紙・皮なめし・金精錬など多種にわたる製造工場からの廃水量増，3）農耕地からの残留化

学肥料などの流出量増，及び，4）高地にあるルワンダ，ブルンジの大規模農耕地化政策による森林焼却に起因する大気経由の多量に窒素・リンを含む降下物の増大によってもたらされてきた。1993-96年頃，ビクトリア湖へ供給された窒素・リンの全量の90%以上が大気降下物（窒素：全負荷量の72%，リン：全負荷量の22%）及び農耕地（窒素：全負荷量の22%，リン：全負荷量の55%）起源であったことは日本の湖沼の富栄養化過程と大きく違うように思われる。

- 2-2. 「有害化学物質汚染」に関する具体的な数値は得られていないが，皮なめし工場から流出するクローム（Cr）やタンザニアの小規模金精錬場から流出する水銀（Hg）による重金属汚染や，砂糖・蒸留酒・植物油製造工場からの廃水中に大量に含まれる溶存有機物汚染も深刻な環境問題として取り上げられている。東アフリカでは，衛生環境改善を目的として先進国の援助で下水処理施設が設置されているが，その殆どが機能しておらず都市排水，工場排水は処理されず河川を通して湖沼に流入している状態である。
3. 外来魚「ナイルパーチ」と外来水生植物「ホテイアオイ」の定着による生態系攪乱が大きな問題になっている（Sitoki, et al., 2010）。

- 3-1. 「ナイルパーチの導入」：ナイルパーチは，1985年頃，現金の増収を目的として意図的に導入された。ナイルパーチが導入される以前，1980年頃のビクトリア湖の生態系は500種を超える在来種，カワスズメ科の魚類（ビクトリア湖の魚類生物量の80%以上を占めていた）を核と

した多様な食物網構造によって機能していた。1985年に市場価値の高い魚食魚、ナイルパーチが導入されて4年後の1989年頃からナイルパーチによる高い捕食圧の影響を受け、動・植物プランクトン食のカワスズメ科魚類が激減し、従来の食物網構造が崩壊し不安定な構造に変化した。カワスズメ科魚類個体群の激減による摂食圧の低下は、植物プランクトンの増加を招き、貧酸素水域の拡大に繋がった。1989年を境にしてナイルパーチの漁獲高（全漁獲高の75%）は減少傾向を示し、2009年には全漁獲高の15%以下に低下した。一方、1989年以降、在来魚、カワスズメ科魚類の個体群が回復の兆しを示した。現在のビクトリア湖では、ナイルパーチをトップ捕食者としたカワスズメ科魚種・コイ科魚種—動物プランクトン—植物プランクトンという新しい比較的安定した生食連鎖が定着しつつある。

ナイルパーチ個体群の減少の原因には二つの説がある。一つは、ナイルパーチの「乱獲」と「富栄養化により生じた嫌気的水域の拡大（ナイルパーチの生息環境の悪化）」によるという説である（Kolding, et al., 2008）。もう一つは、「乱獲」と「自然に起こる生態学的適応—食う・食われる関係のバランスが復元する過程—」によるという説である（Sitoki, et al., 2010）。ナイルパーチが導入され、その捕食圧により動・植物プランクトン食のカワスズメ科魚類の個体群が激減した結果として植物プランクトンの異常増殖を招いた富栄養化現象は、ダム化により浸水した周辺の土壌に含まれる大量の栄養塩が流出し、ダム湖が一

時的に富栄養化する現象に似ているという解釈である。この富栄養化現象は、ダム湖が時間と共に安定する過程で栄養塩も生物間、生物と物理・化学環境間の相互作用により一定の濃度まで低下する初期過程であるという説明である。ナイルパーチの導入による食物網構造の単純化による生態系攪乱からの回復には、ビクトリア湖は空間的に大きく、カワスズメ科魚類が捕食者から逃避し生息できる十分に広く且つ多様な物理的環境を備えていたことも一つの大きな要因であると考えられる。

3-2. 「ホテアオイの定着」：ホテアオイは可憐な紫色の花を愛でる観賞用水生植物として凡そ100年前に南米から導入された。そのホテアオイが1989年、ビクトリア湖で繁殖しているのを確認され、その後、急速に分布を拡大していった。1998年には、その分布は沿岸水域を中心に200km²を超えた。ホテアオイの駆除策として、天敵の昆虫を放したが、その効果は一時的であり、現在もホテアオイの繁殖水域は広がっている。ホテアオイの繁茂は、水中の光環境の悪化、無酸素水域の増大を招くだけでなく水を介して感染する住血吸虫の宿主である巻貝の繁殖の場にもなっている（Ofulla et al., 2010）。また、沿岸水域や湿地に生育する在来の沈水植物の消滅・劣化をも引き起こしている（Gichuki, et al., 2001）。

4. 「水位低下」：ウガンダのジンジャ地区に位置するビクトリア・ナイル川への流出口に1959年、ナルバーレ・ダム（Nalbaale Dam）が建設された後、1999年ウガンダの電力供給

のためにナルバーレ・ダムの下流1.3kmのところに新しくダムが建設された。これら二つのダムの稼働によりビクトリア湖の水位が2.5m低下し、湿地は干陸化しビクトリア湖に生息する魚類の産卵、仔稚魚の成育の場の激減を招き、湿地から湖へ移動する魚類個体数は水位低下以前の20%にまで減少した(Kiwango, 2007)。更に干陸化は抽水植物群落の劣化をも引き起こしている。人為的な水位低下は、それぞれ湖沼・河川固有の物理・化学環境の季節性に適応した生活史をもって生きている生物にとっては大きな問題でありビクトリア湖に限らず世界の多くの水域の大きな環境問題にもなっている。

水温上昇による深層水の嫌気的環境の改善

ビクトリア湖の水温がはじめて測定されたのは1927年である(55地点で測定)。1927年から2008年にかけて水温は上昇を続けている。1927-2000年の73年間の平均水温上昇率は、表層水で0.005°C/年、深層水(> 50m)で0.008°C/年であったが、2000-2008年では、表層水で0.079°C/年、深層水(> 50m)で0.094°C/年と2000年以降の水温上昇率は著しく高くなっている。2000年の成層期(2・3月)、23.9°Cであった深層水の水温は、2008年には25.1°Cに上昇し、水温成層の弱体化が進行している。その結果、成層期に見られた深層水の嫌気的環境が減少した(表層水中の溶存酸素/深層水中の溶存酸素比 = 3.2 (2000-2001年) から1.2 (2006-2008年) に低下)。ビクトリア湖では、「温暖化-深層水の温度上昇-水温成層弱体化-深層水の嫌気的環境の改善」というシナリオが出来上がりつつある(Sitoki, et al., 2010)。

植物プランクトンの質・量的変化

1960年代のビクトリア湖は、循環期(8・9月)には全層を通して珪藻が優占し、成層期(2・3月)の表層水では藍藻が優占する植物プランクトン群集であったが、1985年頃から循環期に優占していた珪藻が激減し、年間を通して藍藻の優占する群集構造に姿を変えた。この原因の一つとして、人間活動による栄養塩の負荷量の増大など水質の変化が考えられている(Lung'ayia et al., 2000)。植物プランクトンの現存量の指標であるクロロフィルa量は、1960-1970年では沖帯水域、沿岸水域で3.0-4.8mg/m³と比較的低い値であったが、1985年には沖帯水域で40mg/m³、沿岸水域で60mg/m³と一桁高くなっている(沿岸水域で得られた最大クロロフィル濃度は650mg/m³)。1990年代に入ると、沖帯水域のクロロフィルa量は徐々に減少し、2000年代には1960年代の濃度よりやや高い値、6-9mg/m³にまで低下している。しかし、沿岸水域のクロロフィルa量は55-70mg/m³と依然として高い値が維持されている。

栄養塩濃度の変化

ビクトリア湖の沖帯水域の硝酸態窒素(NO₃-N)及び溶存リン酸態リン(PO₄-P)濃度は、植物プランクトンのクロロフィルa量が40mg/m³に達した1985年頃(NO₃-N: 0.2-2.3ug/l)を除いて増加傾向にある(NO₃-N: 1960-1961年, 0-10ug/l, 2008年, 130-140ug/l, PO₄-P: 1960-1961, 9-50ug/l, 2008年, 70ug/l)。植物プランクトンの増殖に必要なNO₃-N及びPO₄-Pの濃度が増加しているにも係わらず何故1990年以降クロロフィルa量が減少を続けているのかその原因は明らかではない。クロロフィルa量の減少傾向は、ナイル

パーチ個体群の減少 — プランクトン食のカワスズメ科魚類個体群の回復が見られた時期にほぼ一致し、カワスズメ科魚類による摂食圧も一つの原因と考えられる。

ビクトリア湖は、窒素に比べリン濃度の高い湖である。この傾向が、 $\text{NO}_3\text{-N} : \text{PO}_4\text{-P}$ 比にも見られる。2008年の沖帯水域の $\text{NO}_3\text{-N}$ (99 $\mu\text{g/l}$) : $\text{PO}_4\text{-P}$ (70 $\mu\text{g/l}$) 比は 4 : 1 (モル比) と Redfield 比に比べると極めて低い値である (2009年の琵琶湖北湖盆沖帯水域の全窒素 : 全リン比は 65-81 : 1, $\text{NO}_3\text{-N} : \text{PO}_4\text{-P}$ 比は 36-80 : 1, 両湖の窒素 : リン比は対照的である)。

その他

栄養塩濃度など化学物質の負荷量の増大によりビクトリア湖の電気伝導度は高くなると予測されていたが、過去50年間殆ど変化せず、100 $\mu\text{S/cm}$ 前後の値を維持している。その理由の一つとして、流入する陽イオン量とビクトリア・ナイル川から流出する陽イオン量がバランスしているためと考えられる (琵琶湖の電気伝導度は 130 $\mu\text{S/cm}$ 前後)。

この他、近年、流域の農耕地拡大により、土壌粒子の流入量が増大し河川・ビクトリア湖の光環境の悪化や魚類の窒息死が問題化している。

引用文献

Aqwange, J.L. & O. Ong'ang'a (2006): Lake Victoria-Ecology, Resources and Environment -Springer Verlag, Berlin. pp. 354
Gichuki, J., F.D. Guebas, J. Mugo, C.O. Rabuor, L. Triest & F. Dehairs (2001): Species inventory and the local uses of the plants and fishes of the Lower Sondu Miriu wetland of Lake Victoria, Kenya. *Hydrobiologia*. 45: 99-106

Kiwango, Y.A. (2007); The role of Papyrus plants (*Cyperus papyrus*) and internal wave in the nutrient balance of Lake Victoria, East Africa. Master thesis in Water and Coastal Management. Univ. Algarve. Pp 88

Kolding, J., P. van Zweiten, O. Mkumbo, G. Silsbe & R. Hecky (2008): Are the Lake Victoria Fisheries threatened by exploitation or eutrophication? in Biamehi, G. & H.R. Skjoldal (eds): The Ecosystem Approach to Fisheries. CAB International London. 309-354

Lung'ayia, H.B.O., A. M'harzi, M. Tackx, J. Gichuki & J.J. Symoens (2000) Phytoplankton community structure and environment in the Kenya waters of Lake Victoria. *Freshwater Biology*. 43: 529-543

Muyodi, F.J., R.E. Hecky & J.M. Kitamirike (2009): Trend in health risks from water-related diseases and cyanotoxins in Uganda portion of Lake Victoria basin. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 14: 247-257

Ofulla, A.V.O., D. Karanja, R. Omondi, T. Okurut, A. Matano, T. Jembe, R. Abila, P. Boera & J. Gichuki (2010): Relative abundance of mosquitoes and snails associated with water hyacinth and hippo grass in the Nyanza gulf of Lake Victoria. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 15: 255-271

Scheren, P.A.G.M., H.A. Zanting & A.M.C. Lemmens (2000): Estimation of water pollution sources in Lake Victoria, East

- Africa: Application and elaboration of the rapid assessment methodology. *Journal of Environmental Management*. 58: 235-248
- Sitoki, L., J. Gichuki, C. Ezenkiel, F. Wanda, O.C. Mkumbo & B.E. Marshall (2010): The environment of Lake Victoria (East Africa): Current status and historical changes. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 95: 209-223
- Talling, F.J. (1957): Diurnal changes of stratification and photosynthesis in some tropical African waters. *Proc. R. Sci. (B)*. 147: 57-83
- Talling, F.J. (1965): The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 50: 1-32