

クッチャロ湖及び周辺河川におけるメタンの動態

吉 田 磨^{1,2)}・大 類 壮 央^{1,3)}・佐々木 崇¹⁾・小 西 敢⁴⁾

Methane in the Lake Kutcharo and its surrounding waters

Osamu YOSHIDA^{1,2)}, Masahiro OORUI^{1,3)}, Takashi SASAKI¹⁾ and Kan KONISHI⁴⁾
(Accepted 22 July 2010)

1. はじめに

1.1. メタン

メタン(CH₄)は、対流圏の温暖化に寄与する重要な気体である。全球的な大気中のメタン濃度は、工業化以前の約 715 ppb から 2005 年には 1774 ppb となっており、過去 65 万年の自然変動の範囲(320-790 ppb)をはるかに上回っている [IPCC, 2007]。自然湖沼、湿地から年間 120 Tg のメタンが放出されていると見積もられ、これは全球的メタン放出量の 1/4 を占める値となる [Matthews and Fung, 1987; Aselmann and Crutzen, 1989]。図 1 に示すように、湖沼からのメタン放出過程は様々であるが [Bastiviken et al., 2004]、メタン放出の 98% がバブリングによって放出され [Keller and Fung, 1994]、メタンによる温室効果への負荷は年間約 1 % 増加傾向にあるとされている [Khalil and Rasmussen, 1990; Blake and Rowland, 1988; Steele et al., 1987]。有機物が嫌気状態で醗酵する際にメタンは生成され、有機性の廃棄物の処理過程や、水田、湖沼の底泥、家畜排泄物、下水汚泥の分解過程等から発生する。大気中メタンは二酸化炭素の約 1/200 の濃度しか存在しないが、単位質量あたり約 25 倍の温室効果をもたため、大気へ放出されれば二酸化炭素より温室効果を促進させることになる [IPCC, 2007]。

1.2. 湖沼の特徴

一般に湖沼環境は流入と流出の影響を受けやすい。流入水は集水域の降雨や湧水に依存し、水量や水質は、集水域の土地利用、地質、植生、腐植堆積物、人工的な汚濁負荷などの影響を強く受ける [吉田ら, 2009b]。北海道の湿地、湿原は腐植栄養型が多く、平均水深は 1.6 m と浅く、腐植質に富んで褐色をおびて弱酸性から中性を示している [吉田ら, 2009b]。

1.3. クッチャロ湖

クッチャロ湖は、北海道北部枝幸郡浜頓別町北東部(北緯 45 度 09 分, 東経 142 度 20 分)に位置し、クッチャロ湖小沼、大沼から形成されている。周囲約 27 km で面積 13.30 km²、平均水深 1.5 m の低層湿地で海拔 1 m のため海水が河川を通じて流入し汽水湖となっている。1989 年に日本で 3 番目にラムサール条約登録湿地に登録され、1999 年に東アジア地域ガンカモ類重要生息指定地に指定された湖沼である。コハクチョウの中継地としては日本有数で、10-11 月のピークでは数千羽が飛来する。また、クッチャロ湖周辺に広がる森林にはオジロワシが生息し、豊かな生態系が広がっている。

多くの渡り鳥が飛来し越冬を行う場合、糞が湖底に堆積し、堆積した糞による還元環境下で温室効果気体であるメタンが他の湖沼と比べて多く生成されていると考えられる。また、クッチャロ湖周辺に広

¹⁾ 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境地球化学研究室

Laboratory of Environmental Geochemistry, Department of Biosphere & Environmental Sciences, Faculty of Environment Systems, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学大学院酪農学研究科酪農学専攻

Graduate school of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

³⁾ 現在、株式会社マリン・ワーク・ジャパン海洋科学部海洋調査室海洋化学課

Geochemical Oceanography Section, Office of Marine Research, Department of Marine Science, Marine Works Japan, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan

⁴⁾ 浜頓別クッチャロ湖水鳥観察館

Hamatombetsu Lake Kutcharo Waterfowl Observatory, Hamatombetsu, Hokkaido 098-5739, Japan

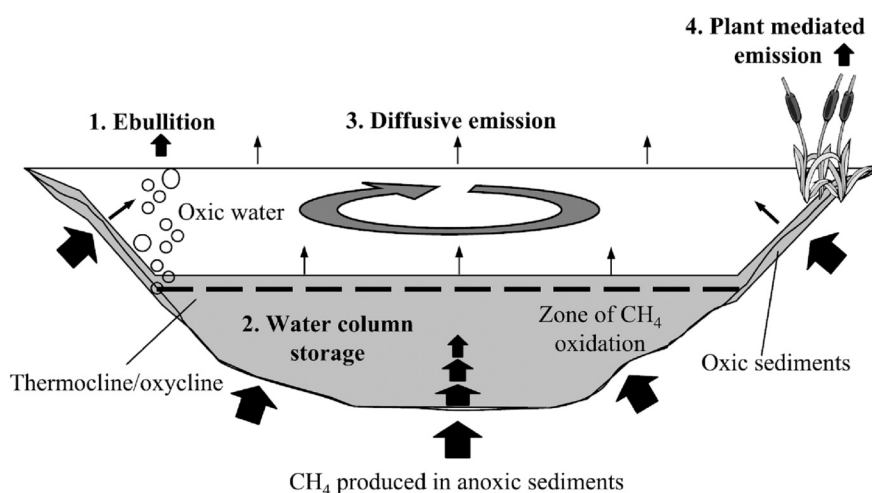


図 1. 湖沼における様々なメタン放出 [Bastviken et al., 2004]。

がる酪農地帯から飼料残骸や糞尿、農薬等が河川に流出している可能性が指摘されている [Chen et al., 2004]。農業地域における水質保全問題に関する報告は、大村 [1994] による堆肥場・農耕地から河川への栄養塩類の流出特性に関する研究や、井上ら [2000] による畑作・畜産を主とした複合型土地利用の農業流域河川の水質特性に関する研究等があげられる。

酪農等の農業活動による水系への栄養塩負荷は、硝酸等の窒素負荷が代表的であり、集水域の牛の飼育密度と河川中の窒素濃度との間に正の相関関係も報告されている [志村ら, 1997]。2008 年度の酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境地球化学研究室の卒業論文において、浜頓別町の一部河川の汚染原因はクッチャロ湖由来であると結論付けられた [土屋, 2009]。

そこで本研究では、クッチャロ湖が流出河川の懸

濁物質やメタンの供給源であるかを確認、渡り鳥の飛来によって水環境にどのような影響を与えるか物質循環の面から捉えることを目的とした。初年度の観測結果を速報として紹介する。

2. 方 法

2.1. 観測方法

観測は、2009 年 8 月 6 日、9 月 2 日、9 月 29 日、10 月 14 日の計 4 回行った。採水地点までは動力船で移動し表面採水用バケツと 2.5 L ニスキン採水器を用いて採水した。クッチャロ湖は水深が浅いため、横型ニスキン採水器を使用した。図 2 に示すように、クッチャロ湖大沼への流入から流出までのライン上に 3 点 (Stn. K01, K02, K03)、流出河川と合流する筑紫川の 1 点 (Stn. T01) の 4 測点で採水し、各測点で水深 0 m と 1 m において採水した。9 月 29 日の観測時には渡り鳥が飛来を始め、10 月 14 日に

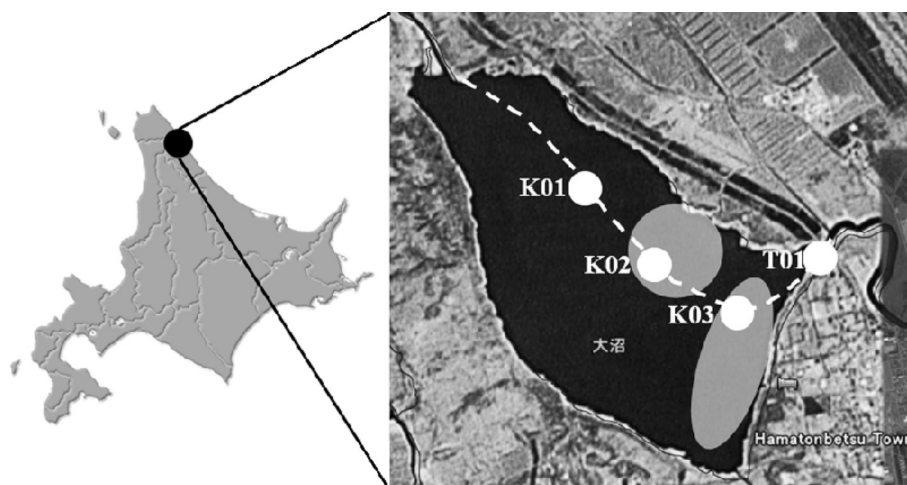


図 2. クッチャロ湖の位置と観測点。灰色内は 10 月 14 日に飛来数が多かった場所を示し、点線は測線を示す。

は多数の渡り鳥が飛来していた。10月の観測では、Stn. K02の周辺にコハクチョウが多数飛来し（図2）、Stn. K01へ移動することができなかったため、Stn. K01の試料は採取できなかった。

2.2. 分析方法

2.2.1. 浮遊懸濁物質（SS）

5連式マニホールドにアスピレーターを取り付け、濾紙（ADVANTEC・47 mm GS-25）で濾過した。まず、イオン交換水200 mLを濾過し、その濾紙を105–110℃で1時間乾燥させ、その濾紙の重さ(a)を計量した。次にサンプルを50 mL(v)濾過し、105–110℃で2時間乾燥させ、その濾紙の重さ(b)を計量した。これらを次式に代入し、SSの値を算出した。

$$SS [mg L^{-1}] = (b-a) \times \frac{1000}{v}$$

2.2.2. 濁度

濁度・色度・残留塩素測定器（SIBATA CONVENI TRIO TCR-10）を用いて測定した。イオン交換水をセルに入れブランク試験を行った後、サンプルを測定した。誤差を考慮して、1サンプルで3回測定し平均値を測定値とした。

2.2.3. 化学的酸素要求量（COD）

過マンガン酸カリウム酸性法（KMnO₄法）を使用した[田中ら, 2005]。サンプル30 mLとイオン交換水70 mLをあわせて100 mLとし、コニカルビーカーにいれ硝酸銀溶液（20 w/v %）5 mL、硫酸（1+2）10 mL、5 mM 過マンガン酸カリウム溶液10 mLを加えて30分加熱した。その後、1.25 mM シュウ酸ナトリウム標準液10 mLを入れ、5 mM 過マンガン酸カリウム溶液で滴定した。

2.2.4. 溶存酸素（DO）

検定済みの容積約100 mLのDOビンに、採水チューブから少量の試水で、DOビンを共洗いし、気泡が入らないようにオーバーフローさせて分取した。デイスペンサーでI液：硫酸マンガン溶液（MnSO₄・5 H₂O）、II液：ヨウ化カリウム・水酸化ナトリウム混合液（NaOH・NaI）をそれぞれ1 mL加えて、静かに栓をして、20回程度よく振り、酸素を固定させた。DO瓶を静置し、直射日光を避けて数時間沈殿を熟成させた[気象庁, 1999]。

分析は、紀本電子工業株式会社製の溶存酸素滴定装置DOT-05を用いて行った。スターラーチップをDOビンに入れ、沈殿をよく攪拌させ、ヨウ素を遊離させて、ヨウ素酸カリウム（KIO₃）で標定した～0.14

Mのチオ硫酸ナトリウム（Na₂S₂O₃・5 H₂O）を滴下して測定を行った。

2.2.5. メタン濃度（CH₄）

空気に触れないように30 mLバイアル瓶に2倍量オーバーフローした後試水を分取し、サンプリング後直ちに飽和塩化水銀（II）溶液を20 μL加え[Tilbrook and Karl, 1995; Yoshida et al., 2004]ゴムキャップとアルミシールで密封し、冷暗所にて保存した。試料を研究室に持ち帰り脱気・精製し、水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフ（Gas Chromatograph; GC）（SHIMADZU, GC-8A）を用いてメタン濃度を分析した[Yoshida et al., 2004]。

2.2.6. 栄養塩

300 mLのポリボトルに分取し、研究室に持ち帰り0.45 μmのヌクレポアフィルターにかけた後、冷凍庫で保存した。

栄養塩分析を行うために、恒量化した硝酸カリウム（KNO₃）、亜硝酸ナトリウム（NaNO₂）、リン酸カリウム（KH₂PO₄）、ケイフッ化ナトリウム（Na₂SiF₆）を用いて硝酸塩（NO₃）、亜硝酸塩（NO₂）、リン酸塩（PO₄）、ケイ酸塩（SiO₂）の一次標準溶液（A-std.）を調製した[吉田ら, 2009a]。A-std.から更にNO₃・NO₂の混合二次標準溶液（B-std.）を調製し、それを更に塩分15の人工海水で希釈して検量線用三次標準溶液（C-std.）を4種類調製した。同様に、PO₄・SiO₂の標準溶液を調製した。

硝酸イオン（HNO₃⁻）は銅-カドミウムカラム還元法、亜硝酸イオン（NO₂⁻）はスルファニルアミド・ナフチルジアミン発色法、リン酸イオン（PO₄³⁻）およびケイ酸イオン（SiO₄⁴⁻）はモリブデン・ブルー法により[吉田ら, 2009a]それぞれ自動化学分析装置（BLTEC, オートアナライザー）を用いて分析した。

2.2.7. 塩分、pH、水温、風速、気温

塩分は、デュラン瓶にサンプルを入れ、デジタル塩分計（SEKISUI・SS-31A）を用いて測定した。

pHは、pHメーター（METOLER TOLEDO・SevenGO pH）を用いて測定した。塩分と同様に、デュラン瓶にサンプルを入れて測定した。また、水温はpHメーターで測定した値を使用した。

風速は、風速計（CusTom・WS-01）を用いて測定した。風速計のプロペラ部分を風上に向け、そのまゝの状態を保ち、平均値を使用した。気温も風速計を用いて測定した。

3. 結 果

各月の観測結果を測定項目ごとに示す。

3.1. SS

8月から10月にかけて Stn. K02 <0 m>, K03 の値が特に高くなっていた。

3.2. 濁 度

8月から9月29日にかけてほぼ値が減少していくが、10月14日に Stn. K02 <0 m>, K03 の値が高くなった。

3.3. COD

8月6日は比較的值が低いが、その後しだいに値が高くなっていた。Stn. K02 <0 m>, K03, T01 は、特に値が高くなっていた。

3.4. DO

COD の結果とは対称的に DO はしだいに濃度が減少した。

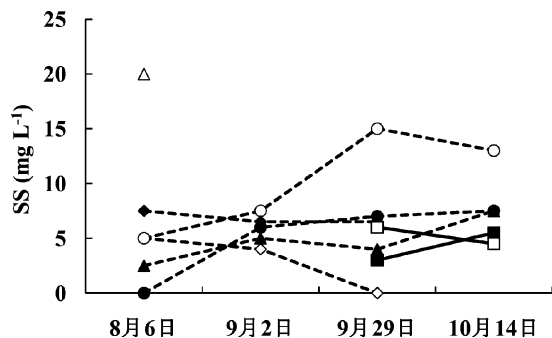


図3. クッチャロ湖の Stn. K01 (◆), K02 (▲), K03 (●), および筑紫川の T01 (■) における SS。各測点で 0 m (黒), 1 m (白) で示す。

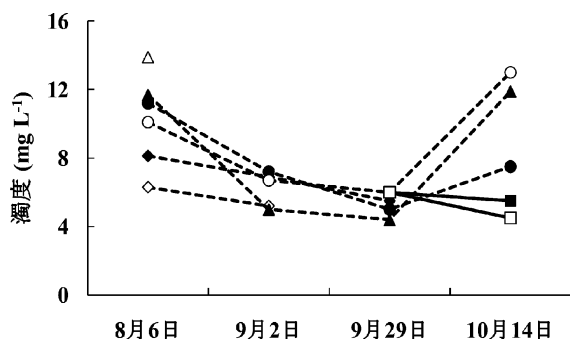


図4. 各測点における濁度。図3と同様に示す。

3.5. メタン

8月6日から10月14日にかけてクッチャロ湖内の濃度が高くなっていた。Stn. T01 筑紫川はクッチャロ湖内の平均値の約5倍の濃度が検出された。

3.6. 栄養塩

硝酸塩および亜硝酸塩濃度は、Stn. K02 <0 m>, K03 <0 m>, T01 で同様の変動を示した。ケイ酸塩濃度は8月6日から9月29日まで減少しているが、10月14日に Stn. K02 <0 m>, K03 で濃度が増加していた。リン酸塩は、湖内にはほとんど存在しないといえるが、Stn. T01 <0 m> では高い濃度が検出された。

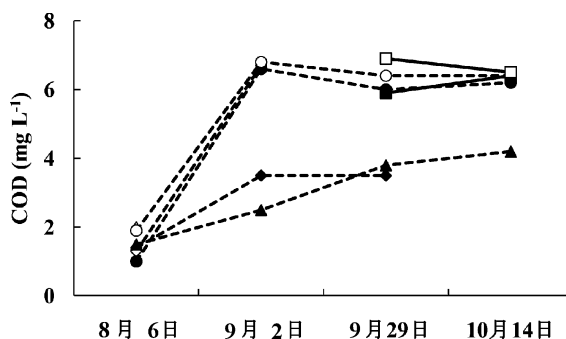


図5. 各測点における COD 測定結果。図3と同様に示す。

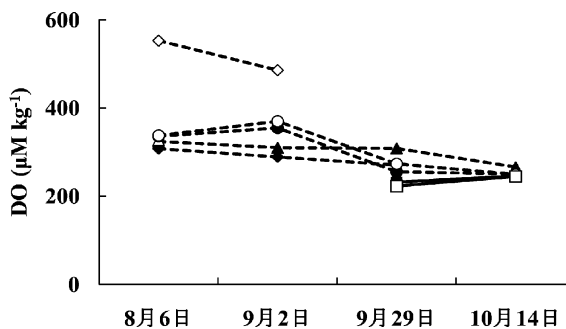


図6. 各測点における溶存酸素濃度。図3と同様に示す。

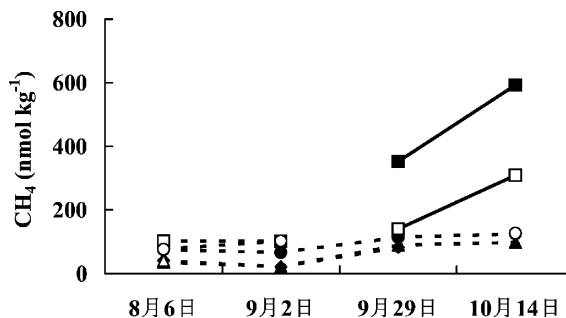


図7. 各測点における溶存メタン濃度。図3と同様に示す。

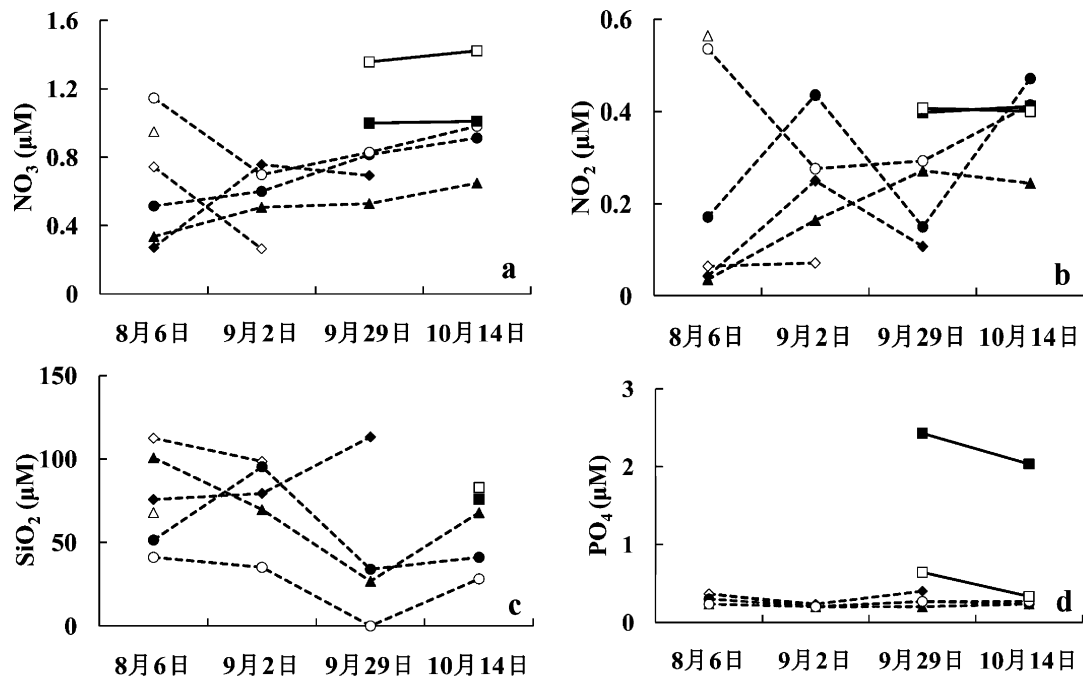


図 8. クッチャロ湖の Stn. K01 (◆), K02 (▲), K03 (●) および、筑紫川の T01 (■) における (a) 硝酸塩, (b) 亜硝酸塩, (c) ケイ酸塩, および (d) リン酸塩濃度。各測点で 0 m (黒), 1 m (白) で示す。

表 1. 塩分, pH, 水温, 風速, 気温, 天候

観測日	Station	塩分	pH	水温 (°C)	風速 (m s ⁻¹)	気温 (°C)	天候
8月6日	K01 <0 m>	5.0	6.66	28.0	2.6	26.6	晴れ
	K01 <1 m>	12	9.06	27.8			
	K02 <0 m>	5.0	6.20	28.1	3.4	28.2	
	K02 <1 m>	6.0	6.40	27.3			
	K03 <0 m>	9.0	6.85	28.3	3.1	28.6	
	K03 <1 m>	9.0	6.41	28.1			
	T01 <0 m>						
	T01 <1 m>						
9月2日	K01 <0 m>	8.0	7.46	21.3	5.3	19.8	晴れ
	K01 <1 m>	14	7.02	20.5			
	K02 <0 m>	10	6.83	20.5	4.4	20.4	
	K02 <1 m>						
	K03 <0 m>	13	7.94	20.0	0.7	22.3	
	K03 <1 m>	13	8.35	20.4			
	T01 <0 m>						
	T01 <1 m>						
9月29日	K01 <0 m>	0.60	8.05	16.5	5.2	17.0	雨後晴れ
	K01 <1 m>						
	K02 <0 m>	0.80	8.25	16.1	6.4	16.8	
	K02 <1 m>						
	K03 <0 m>	0.7	7.14	16.6	6.2	17.5	
	K03 <1 m>	0.7	7.79	15.9			
	T01 <0 m>	8.0	6.03	15.9	4.3	15.2	
	T01 <1 m>	9.0	7.44	16.5			
10月14日	K01 <0 m>						雨後曇り
	K01 <1 m>						
	K02 <0 m>	28	5.90	9.40	0.1	7.40	
	K02 <1 m>						
	K03 <0 m>	28	6.46	9.30	0.6	8.30	
	K03 <1 m>	28	5.33	9.20			
	T01 <0 m>	1.9	5.95	9.30	0.0	7.10	
	T01 <1 m>	2.5	6.15	9.20			

表 2. 浜頓別町気象データ [気象庁]

日付	降水量 (mm)	気温 (°C)	平均風速 (m s ⁻¹)	日照時間 (h)
8月4日	0.5	17.6	1.3	2.80
8月5日	0	18.1	1.8	10.7
8月6日	0	21.3	2.1	13.7
8月31日	0	18.2	2.3	11.0
9月1日	0	14.9	2.1	7.80
9月2日	0	15.1	3.0	11.6
9月27日	0	11.4	1.8	11.4
9月28日	4.5	13.4	2.2	3.70
9月29日	3.0	14.7	2.8	7.80
10月12日	0	11.3	4.8	9.40
10月13日	1.5	9.80	2.4	2.80
10月14日	3.5	5.40	2.2	3.30

表 3. カモ類、ハクチョウ類の飛来数

調査日	カモ類 (羽)	ハクチョウ類 (羽)
8月6日	0	0
9月8日	~1,000	1
9月30日	~29,000	0
10月16日	~32,500	690

3.7. 塩分, pH, 水温, 風速, 気温, 天候

4回の観測のうち2回が降雨の影響を受けていた(表2)。8月6日のK01<0m>でpHが高くなっているが、同日の他の採水点の数値からみて測定ミスの可能性が高い。

浜頓別町で観測された気象庁のデータを用いて、観測日及び前2日間の気象データを表2に示す。

3.8. 渡り鳥の飛来数

表3に、観測日付近にクッチャロ湖に飛来した渡り鳥の飛来数を示す。

表3に示すように、8月には渡り鳥は観測されなかったが、カモ類は9月から10月にかけて飛来数が増加した。ハクチョウ類は8月から9月まではほとんど観測されなかったが、10月には多くの飛来が観測された。

4. 考 察

SSは8月6日から10月14日にかけてStn. K02<0m>, K03<0m>, <1m>で値が高くなっていた(図3)。濁度は8月6日から9月29日までは値が低くなっていたが、10月14日にはSSの結果と同様にStn. K02<0m>, K03<0m>, <1m>で値が増加している(図4)。Stn. K02の湖底環境は細かい砂礫で、Stn. K03は泥が堆積した状態であった。4回の観測中、夏期の観測ではクッチャロ湖内に多数の

魚が確認でき、秋期の観測では降雨が多く風速が強い日があった。気象条件や湖内に生息する小型魚等の生物活動によって底泥が攪拌されるものと考えられる[Keller and Stallard, 1994]。10月14日はコハクチョウだけで数百羽飛来しているため、渡り鳥の糞の増加や、餌を探すために湖底を漁ったために堆積物が攪拌され、濁度が増加したと考えられる。水鳥が集団で飛翔する際に水面を蹴りながら移動する事も値を高める要因と考えられる。

図5, 6よりCODが増加しDOが低下する、逆相関関係がみられた。水中の酸素を消費して分解される有機物が湖水内で増加していると考えられる。図9に示されるようにCODとSSでは相関関係がみられた($R^2=0.6513$)。表3に示されるように、Stn. K02, K03はどちらも渡り鳥が多く飛来していたため、渡り鳥の糞が有機物として湖水中で増加したため、Stn. K02<0m>, K03<0m>, <1m>で湖水中の有機物を分解するために酸素が使われていると考える。また、観測日や前日に雨が降っている事から(表2)、降水による河川水の湖への流入量の変化や、堆積物の攪拌によって増加したことも考えられる[吉田ら, 2009b]。

クッチャロ湖内ではメタン濃度が、Stn. K03<0m>において8月6日の75.0 nmol kg⁻¹から10月14日の125 nmol kg⁻¹に増加していることから(図7)、渡り鳥の糞が湖底に堆積し、その還元環境下でメタンが生成されたと考えられる。また、観測日の前日・当日に雨が降った日があるため(表2)、降雨によって堆積物が攪拌され、堆積物中に存在していたメタンも湖水に溶け込んだ可能性もある。Stn. K03周辺の底質はヘドロ状の有機物が堆積していることもあり、より還元環境になり易い環境と考え

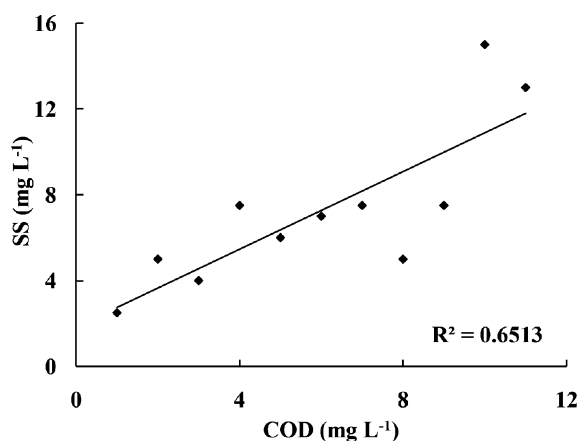


図 9. Stn. K02<0m>, K03におけるCODとSSの関係。

られる。筑紫川の Stn. T01 <0 m> で検出された高濃度のメタンは、クッチャロ湖で生成されたメタンと、筑紫川上流部で生成されたメタンが混合されたものと考えられる。図 10 に示すように、筑紫川の上流部には、酪農・農業地帯が広がっているため、周辺から流出した飼料残骸・糞尿等が影響している可能性もある [Chen *et al.*, 2004]。クッチャロ湖内の 8 月から 10 月までのメタン濃度の平均値は 129 nmol kg^{-1} となり、琵琶湖で観測されたメタン濃度の 70 nmol kg^{-1} と比較すると [Bastiviken *et al.*, 2004], 約 2 倍の値が観測され、9 月 29 日の Stn. T01 <0 m> で観測された 592 nmol kg^{-1} では約 8 倍の濃度であった。

硝酸塩および亜硝酸塩濃度は、Stn. K02 <0 m>, K03 <1 m>, T01 ではほぼ同様の挙動を示している (図 8a, b)。図 11 より硝酸塩、亜硝酸塩濃度に相関関係がみられることから ($R^2=0.543$)、クッチャロ湖内で硝化・脱窒が進行するのに加えて、湖外からの流入により窒素量が増加していると考えられるため、今後は全窒素濃度 (TN) も測定し、湖内外の窒素収支を把握する必要がある。

ケイ酸塩濃度は濁度と同様の変動がみられた (図 8c)。夏季から秋季にかけて減少する傾向にあるが、渡り鳥の飛来数の多い 10 月 14 日では濃度が高くなっている。ケイ酸塩を植物プランクトン由来と仮

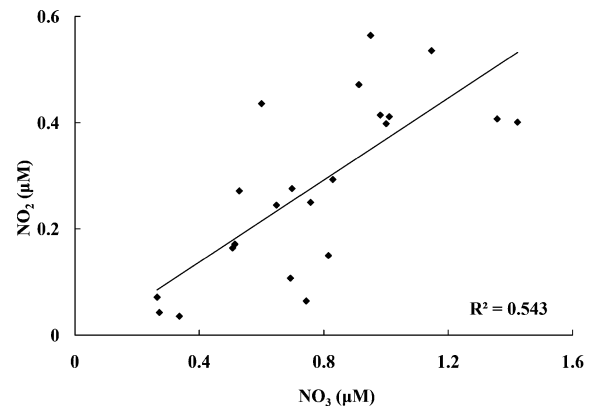


図 11. クッチャロ湖・筑紫川における硝酸・亜硝酸の関係。

定すると、夏季に活発だった植物プランクトンが水温の低下と共に活動を弱めていくが、渡り鳥の飛来によって最終的に糞由来の栄養塩が増加したことによって活動を再開したと考えられる。リン酸塩濃度については、クッチャロ湖内ではほぼゼロに等しい (図 8d)。クッチャロ湖と同様にラムサール条約登録湿地に指定されているウトナイ湖での観測値と比較しても、渡り鳥の飛来による値の増減は少ないといえる [吉田ら, 2009a]。しかし、筑紫川の Stn. T01 <0 m> ではクッチャロ湖の約 6 倍にあたる高い濃度が観測された。これは、筑紫川上流部に広がる酪農・

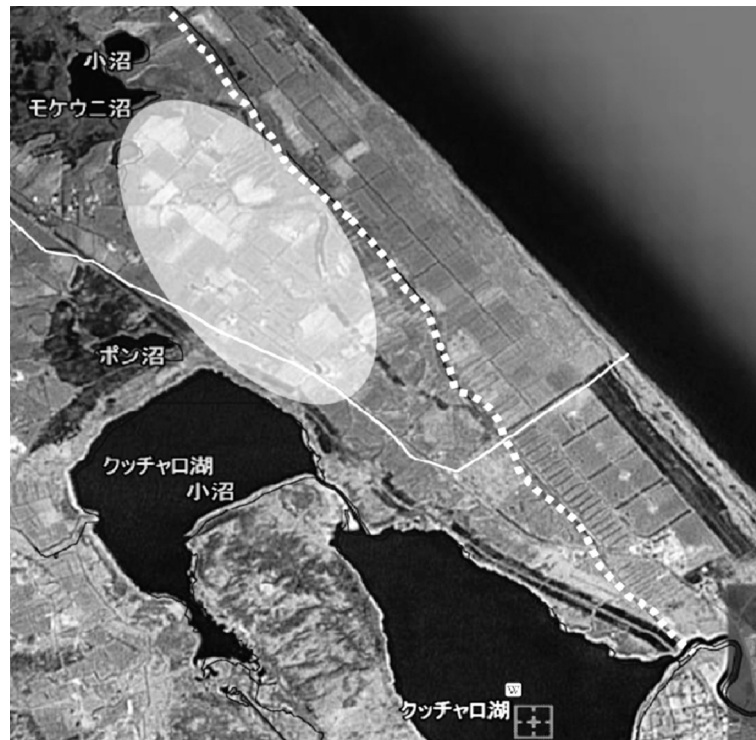


図 10. クッチャロ湖周辺図。筑紫川を点線で示し、酪農・農業地帯を白丸で示す。

農業地帯（図 10）から流出された飼料残骸等が原因の一つと考えられる。

本研究では、渡り鳥が本格的に飛来する 11 月に採水することができなかった。普段見慣れない動力船を用いた観測を行うと渡り鳥が逃げ去ってしまい、その場所には近寄らなくなることを避けるためである。10 月 14 日の観測時も、Stn. K01, K02 周辺に多数の渡り鳥が飛来していたため、採水できなかった。今後、飛来時期の観測方法を検討しなければならない。渡り鳥飛来時期の観測結果を加えることによって、はじめてクッチャロ湖を供給源とするメタン等の温室効果気体の動態を定量的に把握し、周辺河川や沿岸海洋、大気への放出を含めた収支計算が可能となる。

クッチャロ湖漁師さんからの情報によると、本研究で採水したラインとは別の場所で近年酪農由来と思われる水質変化が確認されている（図 12）。そのため、今後も継続的に観測を行い、別ラインの観測も考慮してクッチャロ湖全体の物質循環を考慮していかなければならない。また、クッチャロ湖は 1980 年代に流出河川であるクッチャロ川の河川拡張工事が行われ、それ以降湖内の底質環境が変化し、アオコが発生してスジエビの漁獲量が減少している。今後は、渡り鳥由来・酪農由来・工事由来の環境変化も考える必要がある。

野生生物の保全として、たくさんの渡り鳥を飛来させることは重要なことである。渡り鳥の飛来は浜頓別町の観光資源の一つであるため、多くの渡り鳥を継続的に飛来させることは町の活性化にも繋がるメリットとなる。しかし、渡り鳥の飛来によって温室効果気体であるメタンが増加し、湖内水環境も悪化しているため、デメリットも存在する。湖の環境

も悪化し続け、更に近年の温暖化によって環境そのものが大きく変化しては、自然資源としての渡り鳥にも将来的には悪影響となり得る。将来の環境も考慮した持続可能な生物の保全を目指して、物質循環解析をツールとして最善策を講じていかなければならない。

5. 結 論

渡り鳥の飛来によって、クッチャロ湖内の水環境は大きく変化している。糞の堆積によって還元環境下でメタンが多く生成され、河川へと流出している。メタンと同様に SS と COD、濁度の値も高かったことから、渡り鳥の活動が活発になることで流出河川に対して水質汚染を与えていると結論付けられる。これは、土屋 [2009] による結論を裏付ける結果となった。

クッチャロ湖水にリン酸塩がほとんど含まれていないことから、本研究で採水したラインでは酪農由来物質による汚染は少ないと考えられる。また、渡り鳥の集団飛来によってリン酸塩濃度が増加することもなかった。しかし、筑紫川の表層では高い値が検出されたことから、上流部の酪農地帯から流出したと考えられる飼料残骸や農薬などが河口域に水質汚染を与えている可能性が高い。

謝 辞

北海道宗谷支庁地域振興部環境生活課自然環境係（現宗谷総合振興局保健環境部環境生活課自然環境係）の廣田寿裕様には、北オホーツク道立自然公園特別地域内のクッチャロ湖における動力船の使用許可に際して御尽力くださいましたことを心より感謝申し上げます。菅生水産の菅生勇造様、菅生直子様には、クッチャロ湖の特徴や近年のクッチャロ湖の環境変化に関する情報をいただき、心より感謝申し上げます。

水質化学研究室の中谷暢丈准教授には、測定機器を提供していただき心より感謝申し上げます。学科臨時職員の森本陽子様には、分析に際してご助言いただいたことを心より感謝申し上げます。

酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境地球化学研究室の全ての学生には、準備・現場観測並びに分析・解析において多大なる協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

本稿の改訂に際し貴重なコメントを頂きました 2 名の校閲者に深く感謝致します。

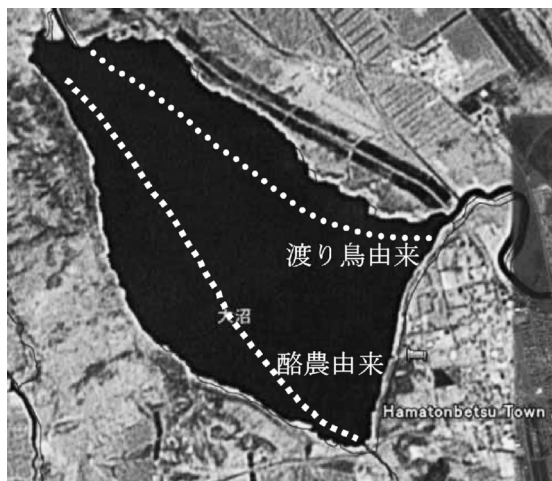


図 12. クッチャロ湖のライン別汚染由来の予想。

参考文献

- Aselmann, I., and P.J. Crutzen (1989), Global distribution of natural wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality, and possible methane emissions, *J. Atmos. Chem.*, **8**, 307-358.
- Bastviken, D., J. Cole, M. Pace, and L. Tranvik (2004), Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, *Global Biogeochem. Cycles*, **18**, GB4009, doi: 10.1029/2004GB002238.
- Blake, D.R., and F.S. Rowland (1988), Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987, *Science*, **239**, 1129-1131.
- Chen, J., D. He, N. Zhang, and S. Cui (2004), Characteristics of and human influences on nitrogen contamination in Yellow River system, China, *Environ. Monitoring Assessment*, **93**, 138-152.
- 井上和也, 戸田圭一, 市川 温, 多田彰秀 (2000), 1999 年福岡市における都市型水害について, *Annals of Disas. Prev. Res.*, **43**(B-2), 307-323.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), Summary for Policymakers, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, edited by Solomon, S. et al., Cambridge Univ. Press, New York.
- Keller, M., and R. F. Stallard (1994), Methane emission by bubbling from Gutun Lake, Panama. *J. Geophys. Res.*, **99**, 8307-8319.
- Khalil, M.A.K., and R.A. Rasmussen (1990), Atmospheric methane: Recent global trends, *Environ. Sci. Technol.*, **24**, 549-553.
- 気象庁 (1999), *海洋観測指針 第1部*, 48-97, 財団法人 気象業務支援センター, 東京.
- Matthews, E., and I. Fung (1987), Methane emissions from natural wetlands: Global distribution, area, and environmental characteristics of sources, *Global Biogeochem. Cycles*, **1**, 61-86.
- 大村邦男 (1994), 北海道中央部の農耕地における栄養塩類の流出特性, *土肥誌*, **65** (2), 187-189.
- 志村とも子, 田渕俊雄 (1997), 養牛地域における畜産と河川窒素濃度との関係 (畜産主体の集水域における窒素流出に関する研究 (Ⅳ)), *農業土木学論文集*, **189**, 45-50.
- Steele, L.P., P.J. Fraser, R.A. Rasmussen, M.A.K. Khalil, T.J. Conway, A.J. Crawford, R.H. Gammon, K.A. Masarie, and K.W. Thoning (1987), The global distribution of methane in the troposphere, *J. Atmos. Chem.*, **5**, 125-171.
- 田中俊逸, 田村紘基, 都築俊文, 工藤英博, 鈴木智宏, 笹木圭子 (2005), *水の分析*, 第5版, 290-296, 日本分析化学北海道支部. 京都.
- Tilbrook, B.D., and D.M. Karl (1995), Methane sources, distributions and sinks from California coastal waters to the oligotrophic North Pacific gyre, *Mar. Chem.*, **49**, 51-64.
- 土屋 愛, (2009), 畜産活動による河川環境汚染と温室効果気体の挙動に関する研究, 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境地球化学研究室卒業論文, 39-57, 北海道.
- Yoshida, O., H.Y. Inoue, S. Watanabe, S. Noriki, and M. Wakatuchi (2004), Methane in the western part of the Sea of Okhotsk in 1998-2000, *J. Geophys. Res.*, **109**, C09S12. doi: 10.1029/2003JC001910.
- 吉田 磨, 林えれな, 吉田剛司, 加藤康大, 室田欣弘 (2009a), 洞爺湖及び流出河川におけるメタンの分布, *J. Rakuno Gakuen Univ.*, **34**(1), 47-68.
- 吉田 磨, 今井 翔, 窪田千穂, 林えれな, 藤原沙弥香, 河島弘幸, 土屋 愛 (2009b), 環境地球化学で生命圏の環境を化学する, *加藤勲教授退職記念論文集—35年間の酪農学園に感謝して—*, 191-227, 北海道.

Abstract

This study has focused on the impact that migratory birds have on Lake Kutcharo. Lake Kutcharo is the northernmost wetland in Japan registered on the Ramsar lists, which means that most migratory birds have flown far from Siberia to reach it. Large amounts of the bird's organic matter is spread over and accumulated in the lake. The methanogenic bacteria convert carbon dioxide into methane, and the reduced amount of sediment can be a potential source for the methane. However, regional and global lake methane

emissions, contributing to the greenhouse effect, are poorly known. Dissolved methane was measured in the water column of Lake Kutcharo. Significantly high concentrations of methane ($>500 \text{ nmol kg}^{-1}$) were observed downstream in October, which is related to bird droppings and activity.