

霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会 講演報告集 — 8 —

Proceedings of the Conference on Limnological Studies
at the Kasumigaura Water Research Station, NIES. Part 8

福島 武彦 編
Edited by Takehiko Fukushima

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

序

霞ヶ浦臨湖実験施設は1984年3月完成以来、ちょうど10年目を迎えようとしている。この間、ほぼ毎年研究発表会を行い、1993年11月19日に第9回の発表会を開催した。昨年以來、外国人研究者の施設利用が増え、その成果の一部が今回5名より発表された。今後とも、英語による発表、英文の論文も積極的に受け入れたいと考えている。

今回の発表では16件の一般発表が行われたが、湖沼の水質汚濁の機構解明に加えて、地球環境への影響、生態系としての評価、汚濁防止の技術に関する話題もあり、湖沼の抱える問題が多様化していることがうかがわれた。

さらに一般発表に加えて、琵琶湖研究所から2名の研究者をお招きし、特別湖沼セミナーとして、最近の湖沼研究の話題をご紹介頂いた。中島拓男氏には湖沼の水草帯における物質循環、機能、そしてその保全の方向について、熊谷道夫氏には1993年夏、琵琶湖で行われた国際共同観測プロジェクトの概要と一部の成果についてご講演願った。関連分野の研究者にとっては多くの示唆が与えられ、このような情報交換を行い議論を深めることができれば、我々だけでなく湖沼研究全般のレベル向上にも役立つと思われ、今後の協力をお願いする次第であります。

発表会には総勢50名以上の方にご参加頂いた。遠路から参加され討論に加わって頂いた所外、所内の方々、開会のご挨拶をお願いした市川所長、この原稿の執筆や編集に携わった全員に深く感謝申し上げます。

1994年3月

地域環境研究グループ統括研究官

内藤 正明

目 次

I. 臨湖実験施設研究発表	
1. 国内湖沼からのメタン放出量	1
野尻幸宏・中村岳史・大槻 晃	
2. 霞ヶ浦底泥中のメタン濃度の変動	7
中村岳史・野尻幸宏・曾 毅強・大槻 晃	
3. アジサシ (<i>Sterna hirundo</i>) 及びコアジサシ (<i>Sterna albifrons</i>) の 霞ヶ浦への 飛来状況とコアジサシの激減について	9
春日清一	
4. ギンブナとブルーギルの形態と行動の相違に基づくオオクチバスの捕食選択	13
鷺山裕史・春日清一・斉藤隆史	
5. 昭陽湖における養殖場からのリン排出が湖水水質に与える影響	17
朴 斉哲	
6. 水耕栽培を利用した水質浄化に関する研究	23
相崎守弘・中里広幸	
7. 見た目アオコ指標による湖水環境評価	29
北村 光・相崎守弘・福島武彦	
8. 東京湾における青潮に関する研究V	33
田中秀之・相崎守弘・木橋邦男・中村泰男・竹下俊二	
9. 魚の水質変動に及ぼす影響	35
福島武彦・松重一夫・相崎守弘・朴 斉哲・石川慎二・孔 東壽	
10. Effects of aquatic animals on settling and decomposition of particulate materials	39
Dog-Soo Kong・T. Fukushima・T. Aizaki・R. Hussein	
11. pHとDOの連続測定による生産量の推定	47
松重一夫・福島武彦・R. Weisburd・河合崇欣・富田誠二	
12. Metabolic quotients in Lake Kasumigaura water research station experimental ponds	51
Richard S. J. Weisburd・T. Fukushima	
13. Relationship between urea, dissolved free amino acids and zooplankton biomass in outdoor experimental pond	55
Rokaya Hussein・M. Aizaki・T. Otsuki	
14. 湖水中の溶存フミン物質	61
今井章雄・福島武彦	
15. 農薬の霞ヶ浦における挙動とマイクロゾムを用いた生態系影響評価	65
高木博夫・橋本真理子・稲森悠平	
16. 生物活性炭流動床パイロットプラントによる霞ヶ浦湖水の高度処理	69
金 周永・近山憲幸・橋本貴行・高木博夫・稲森悠平	
II. 特別湖沼セミナー	
1. 水草の物質代謝	73
中島拓男	
2. 琵琶湖国際共同観測 (BITEX-93) を終えて	77
熊谷道夫	
III. 資料	
1. 臨湖実験施設実験用湖水の水質測定結果	83
2. 第9回霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会参加者名簿	91
3. 平成5年度施設利用計画	92
4. 施設を利用した研究成果の一覧	93

I . 臨湖実験施設研究発表

国内湖沼からのメタン放出量

野尻幸宏¹・中村岳史²・大槻 晃²

(¹地球環境研究グループ, ²東京水産大学)

1. はじめに

発表者らは、温室効果気体の一つであるメタンの天然水域からの放出量の見積もりを行うことを目的として、栄養度の異なる湖沼について、水中のメタン濃度の測定を継続してきた。これまでに、霞ヶ浦について、湖内の物質循環とメタンの関係について詳細に測定を続け、その生成・消滅過程を解析し、定量的な把握を可能とした。更に、その他の国内湖沼で調査の機会を得たものにつき、その濃度分布と変化の概略を把握した。この濃度実測値を用いて、国内湖沼の環境因子とメタン濃度の関係を明らかにすることで、国内の天然湖沼のメタン放出量の推定を試みた。

2. 観測と測定

1980年以来の国内の湖沼の調査時に、メタン測定用の湖水試料を採取した。摩周湖、田沢湖、十和田湖などの深い貧一中栄養湖を中心として調査があった。さらに、1992年度は、中栄養湖沼である野尻湖の毎月調査の機会を得て、5月以来測定を行った。霞ヶ浦は1990年4月以来、毎月1-2回の調査を継続中である。試料は水銀(II)で固定後冷蔵し、国立環境研究所臨湖実験施設で稼働している水中メタン濃度自動測定装置で定量分析した。

3. 結果と考察

酸化的な湖水中でのメタン生成能は極めて低いので、湖沼でのメタン生成は、生産された有機物の最終分解生産物として、主として嫌気的な底泥中で起こる。ただし、底層水が嫌気化した場合は、水中での生成も有り得る。酸化的な湖水中では、溶存酸素により微生物酸化分解を受けて濃度が低下するので、浅い湖盆で濃度が高いことが想像できる。湖沼表層の混合層では濃度は均一化する。湖底にソースがある時には、湖底付近に高い濃度勾配ができるはずである。また、湖内の浅い湖盆から水平移動して表層に高濃度層ができることもあり得る。酸化的な水中でメタンが生成するかどうかの知見はほとんどない

が、動物プランクトンなどの体内での生成が知られている。メタン生成量は、基質である有機物生産量であるところの湖沼の生産量に依存する。生物生産が大きいと、底泥への分解性有機物供給が大きくなり、生成量が大きくなる。すなわち、栄養度とメタン生成量は相関があると考えられる。生成量の季節性については、有機物生産量とメタン生成菌の活性によるので、水温や栄養塩類などの環境因子の変動に依存する。一般的には水温・生物活性の高い夏に高くなることが考えられる。あるいは、嫌気的な底層水を持つ湖沼では、蓄積されたメタンが混合期に一挙に放出される現象が見られる。

3. 1 深い湖沼でのメタンの鉛直プロファイル

摩周湖、田沢湖、十和田湖、中禅寺湖、屈斜路湖、奥日光切込湖、野尻湖で、溶存メタンの鉛直分布を観測した。秋期の切込湖を除くとこれらの湖沼は底層水が完全に嫌気化することはないが、いずれの湖沼でも水温躍層の直下に極大濃度が見られた。霞ヶ浦のような浅い湖沼では底層まで混合が進み、垂表層極大が観測されることはない。このことは、躍層以浅では大気へのガスの逸脱で濃度が低下することによる。表層でのガスの逸脱は、水温の上昇で加速される。水温躍層では拡散係数が小さく、躍層以深のメタンの放出が抑制される。また、垂表層極大値は、動植物プランクトン現存量極大と伴っているようでもある。極大部および表層のメタンの成因としては、酸化的な湖水中でのメタン生成と、湖沼の浅い部分からの水平移動が考えられる。この点は、メタン濃度の水平分布の詳細な調査やメタンの炭素同位体分析などから解明しなくてはならない。

火山性のカルデラ湖である摩周湖、十和田湖、屈斜路湖では、湖への火山性のメタン供給と考えられる濃度分布が確認された。摩周湖では湖底付近での濃度増大が見られた。十和田湖では、200mの深度にブルームの形状をした濃度異常が見られ、火山性のものと考えられた。屈斜路湖では、中深層で一様な高濃度が見られ、火山性の

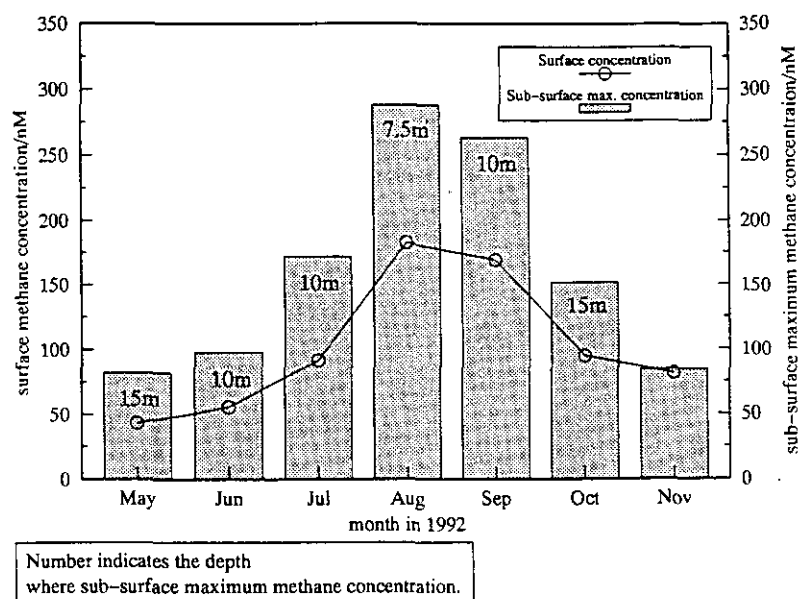


図1 野尻湖における湖水中メタン濃度の変動，表層濃度と亜表層極大濃度

メタン供給と考えられた。深い湖沼は毎年完全混合するわけでない。貧栄養湖深層水でのメタン酸化速度は極めて小さいので、底層水のメタン濃度変化は、循環期の湖水混合のインデックスとなる。最近、繰り返しの観測を行った田沢湖では、湖水混合の程度を表すと考えられる底層メタン濃度の変動現象が見られた。

3.2 野尻湖でのメタン鉛直分布の季節変化

図1に、野尻湖で1992年5月から11月までに観測されたメタン濃度プロファイルから表面混合層の平均濃度と亜表層極大濃度を求め、その両者の変化を示した。表層メタン濃度は8月に極大を持つ季節変化を示し、9月まではその亜表層極大値と表面湖水濃度の比率がほぼ一定であるという結果となった。夏季の高温期では水面での

ガス交換が活発なので、濃度増加以上にメタン生成・供給量増加があったはずである。湖底近傍では夏季からメタン蓄積が始まった。11月には混合の深さが大きくなって亜表層極大が消失するとともに、底層水は10 μ Mを越す濃度となった。12月の全層混合時には表層から底層まで約400 nMのほぼ均一な濃度分布となり、底層に蓄積したメタンが放出されることが明らかになった。この時期

の放出量を推定するには、底層から湖水の鉛直混合で表層にもたらされたメタンによって表層水が高濃度となる程度とその継続期間がどのくらいかを測定する必要があることがわかった。1993年9月にメタンの鉛直・水平分布の測定のための詳細なサンプリングを行い、その化学分析とデータの解析が進行中であるとともに、冬季の集中観測を予定している。

3.3 湖沼栄養度とメタン濃度の関係

湖沼栄養度とメタン濃度の関係について図2に示した。表層水のメタン濃度を対数で表現する限りにおいて、栄養度との顕著な関係が見られた。メタン濃度の亜表層極大値も栄養度の反映と考えられたが、表層濃度と比較すると相関関係がやや悪くなる。これは、亜表層極大に湖盆形態などの因子の影響があるためであると考えている。湖水面から大気へのメタンの拡散性フラックス（ガス交換フラックス）は、濃度、水温、風速の関数である。したがって、今までの調査で得られた関係を一般的な栄養度の因子である透明度、リン濃度、クロロフィル量などについての関数で表現することにより、湖沼からのメタン放出量推定ができる。

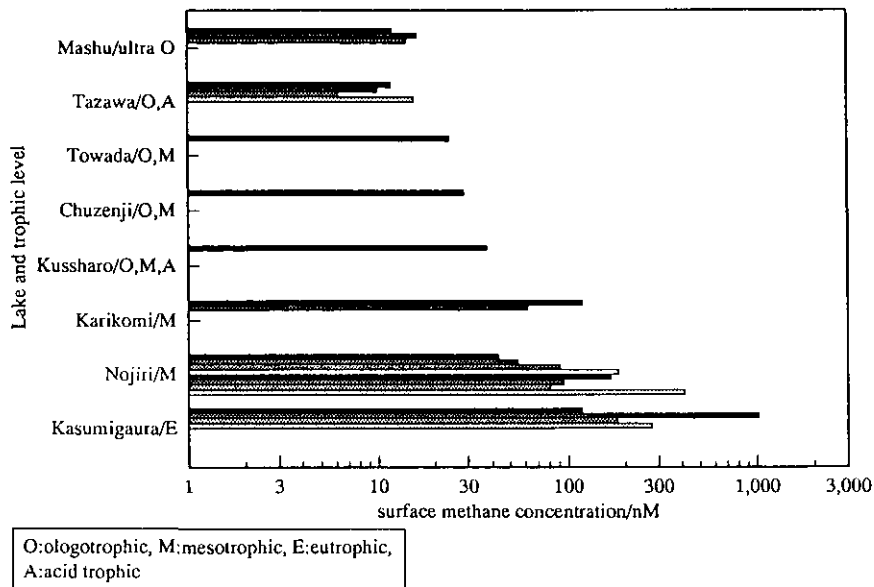


図2 日本の湖沼の表層湖水中メタン濃度

栄養度の指標として、観測を行った湖沼の全リン濃度を用いることとして、水中のメタン濃度との相関を示したのが図3である。霞ヶ浦湖心 (sta. 9) および他の貧一中栄養湖沼の表層メタン濃度とリン濃度の関係を丸で示した。但し、水温によるメタンの濃度差が認められたので、水温15°Cを境に低水温期と高水温期に分けて相関関係を得た。霞ヶ浦以外の湖沼では全リン濃度を、霞ヶ浦では粒子態のリン濃度を用いた。これは、中一貧栄養湖では溶存態のリン濃度が極めて低いために全リンが生産量と強く相関するが、霞ヶ浦では主に夏季に窒素制限状態となることがあり過剰のリンが生じて生産量の指標

とならないことがあるためである。霞ヶ浦については、3-5月を低水温期、8-10月上旬を高水温期として1990-92年のデータを分類した。関係はほぼリン濃度の対数とメタン濃度が直線の関係で表された。一方、さらに浅い湖沼では底泥の物理的な攪乱がより活発になり、底泥から水中へのメタンの移行効率が大きくなることが予想される。この効果は、図3の三角で示した霞ヶ浦の浅い湖盆であるstas. 1, 3のデータに示されている。やはり、3-5月と8-10月のデータを用いたが、時期による差は顕著でなかった。この結果から、浅い富栄養湖沼については、両対数リニアの関係であるとみなした。

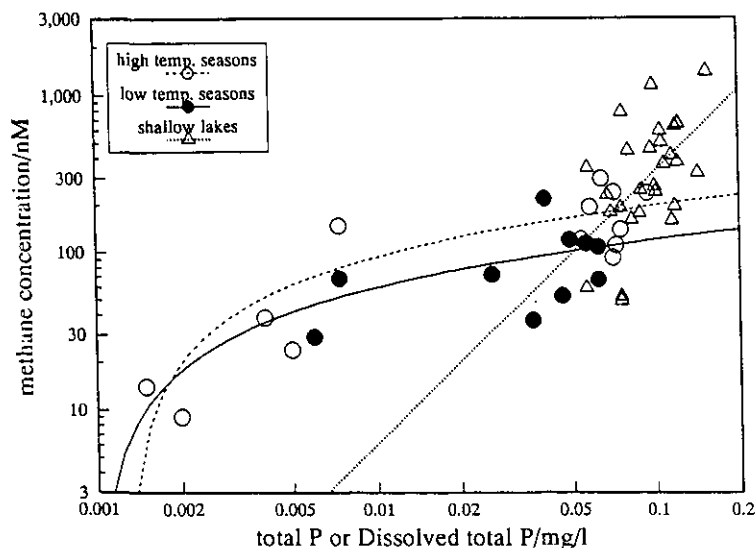


図3 湖沼の栄養度と表層湖水中メタン濃度との関係

表1 国内湖沼のメタン放出量の推定

	栄養度	面積 km ²	全リン 測定値 mg/l	全リン 濃度 注1 mg/l	メタン 測定値 nM	メタン 濃度 注2 nM	メタン フラックス		
							mg/m ² /d	g/m ² /y	kg/y
摩周湖	貧栄養	19.1	0.001-0.002	0.002	12- 16	17	0.10	0.036	680
十和田湖	貧-中栄養	61.5	0.003-0.004	0.005	24	41- 61	0.86	0.315	19000
野尻湖	中栄養	3.9	0.006-0.009	0.01	44- 410	59- 93	0.41	0.150	580
琵琶湖北湖	中栄養	686	0.007-0.017	0.01		59- 93	1.55	0.564	360000
琵琶湖南湖	中-富栄養	45	0.013-0.039	0.02		77-125	2.04	0.744	33000
六道湖	富栄養	80.9	0.031-0.056	0.05		101-166	2.73	0.996	81000
霞ヶ浦	過栄養	171	0.064-0.19	0.1	21-2580	330	6.88	2.511	430000
手賀沼	超過栄養	6.5	0.24 -0.54	0.2		1080	15.45	5.640	37000
国内積算		2438					1.80	0.656	1600000

注1：メタン濃度算出のための関係式に代入した数値

注2：メタン濃度算出のための関係式から得た数値

次に、田中¹⁾により作成された国内湖沼のデータ集を元に、その面積、栄養度、結氷期間などをデータベース化した。栄養度のデータとしては、全リンがデータ化されている最近の環境庁水質保全局による公共用水域水質年鑑²⁾に求めた。湖面からの拡散フラックスの算定にはSebacherによる実験式³⁾を用いた。フラックスは風速と水温に依存するが、各湖沼の現場の風速値を得ることが難しいので、すべての湖沼に同程度の風速を与えた。湖沼の大きさが小さい場合、周囲の地形で囲まれることにより湖面での実効的な風速が小さくなるので、その効果を湖沼の大きさによって調整した。具体的には>50km²、5-50km²、<5km²の3段階の大きさに湖面2cmの平均風速として2, 1.5, 1cm/sを与えた。これは、現在までに実測されている湖沼のガス交換速度⁴⁾に近い速度が得られるように調節した風速である。水温は高水温期について25°Cを与え、低水温期に10°Cを与えた。気象データ⁵⁾より、各湖沼の地域の月毎の水温を推定し、計算に用いた。結果として、代表的な湖沼に対して表1のようなメタンフラックスが推定された。国内の全天然湖沼を加算すると、1.6 Gg CH₄/yの放出量である。この量は、国内の全メタン放出推定量の0.1%程度⁶⁾に過ぎない。その中では、浅い富栄養湖である霞ヶ浦、中海、六道湖、面積の大きな琵琶湖北湖などの寄与が大きいことが推定された。

ただし、推定の問題点をまとめると次のようになる。

1. 湖表面でのガス交換の推定は、実測の交換係数に基づいていないので風速の与え方で大きく推定値が変わる。
2. 結氷期はガス放出が無いものとして算定したが、解氷期には大きな放出が有り得る。
3. 非常に浅い湖沼お

よび沿岸帯では、底泥から気泡の発生があり、直接的に大気に放出され得るがその効果を考慮していない。4. 沿岸帯の水生植物の茎を通してのフラックスを考慮していない。5. 塩分の高い汽水湖では、メタン生成が硫酸イオンの存在で阻害されるが、その効果を考慮していない。など多くの問題点がある。今回の推定値は気泡発生が顕著でない(数メートル以上の水深がある)淡水湖沼からの放出を中心としたものと考えらるべきである。

しかしながら、実測の濃度測定データを取り入れた推定は世界的にも例が少なく、同様な手法を湖沼および湿原などにあてはめ、世界の水域からのメタンフラックス推定を行うことは有用であると考えられる。現在、調査を開始したシベリア地域の湿地のデータなどの解析を行っているところである。

謝 辞

野尻湖でのサンプリングにおいては、生物圏環境部、高村典子、渡辺信氏らの協力を得たので感謝したい。

引用文献

- 1) 田中正明, 日本湖沼誌, pp. 530, 名古屋大学出版会 (1992).
- 2) 環境庁水質保全局, 公共用水域水質年鑑, pp. 713, 富士総合研究所 (1993).
- 3) Sebacher, D. L, R. C. Harriss and K. B. Bartlett, Methane flux across the air-water interface: air velocity effects, Tellus, 35B, 103-109 (1983).

- 4) Peng, T. H. and W. Broecker, Gas exchange rates for three closed-basin lakes, *Limnol. Oceanogr.*, 789-796 (1980) .
- 5) 東京天文台, 理科年表, pp. 1046, 丸善 (1992) .
- 6) 陽捷行, 大気メタンの発生源と吸収源ーわが国の発生源の推定ー, 日本地球化学会年会講演要旨集, 76-77 (1993) .