

泥炭地湿原における地下水面下からのガス採取法

常田岳志*・溝口 勝*・宮崎 毅*

Gas Sampling from Waterlogged Peat with a Newly Designed Instrument

Takeshi TOKIDA*, Masaru MIZOGUCHI* and Tsuyoshi MIYAZAKI*

* Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

1. はじめに

一般的に地下水面下の土壌間隙は水で飽和していると考えられている。しかし自然湿地に存在する泥炭土壌の地下水面下には、泥炭の分解によって生じる生物由来のガスが気相として存在する可能性が示唆されている (e. g. Fechner-Levy and Hemond, 1996; Beckwith and Baird, 2001; Tokida *et al.*, 2003)。植物遺体などの有機物を多量に含む泥炭土壌中では、その分解にともなって酸素が消費される。そのため、大気からの酸素の供給が制限される地下水面下は還元状態となり易く、そこでは有機物の嫌氣的分解が生じメタンが生成される。したがって地下水面下の気相中には多量のメタンが含まれていると考えられる。実際、自然湿地は水田などの人為的放出源を上回る最大のメタン放出源であるとされている (IPCC, 2001)。したがって泥炭中、特に地下水面下のガスの分布を調べることは、メタンをはじめとする温室効果ガスの挙動を明らかにする上で極めて重要である。

泥炭土壌中のガスは、これまで採取した地下水の溶存ガス濃度を分析することで調べられてきた (e. g. Beckmann and Lloyd, 2001)。しかし地下水面下の気相に注目してガスを採取したという報告はない。筆者らは井本ら (2003) が考案したガス採取装置を使って、地下水面下の泥炭層からのガス採取を試みた。ところが、装置挿入時あるいはシリンジによる吸引時に泥炭が吸引口に詰まり、全くガスを採取することができなかった。また当然のことながら一般的なベイドゾーン (自由地下水面から地表面までの不飽和領域) と比べ地下水面下の気相率はかなり少ないと考えられる。したがって目詰まりの問題が解決したとしても、不飽和土壌を想定したガス採取装置をそのまま地下水面下からのガス採取に適用するのは困難と思われた。

以上のことから、地下水面下の泥炭にトラップされて

いるガスを採取するためには 1. 泥炭による吸引口の目詰まりを防ぎ、2. ガスのみをなるべく選択的に採取する、新たなガス採取装置を作成する必要があると考えられた。本論文では地下水面下の泥炭層からのガス採取を目的として新しく作成したガス採取装置とその使用方法について述べる。加えてその装置を用いて採取された地下水面下のガスの組成分析結果を示す。

2. ガス採取装置

上にあげた二つの問題点の解決を目指して新たに作成したガス採取装置を図 1 に示す (筆者らはこの装置を MGC, Mizoguchi Gas Collector と呼んでいる)。採取装置はプローブ部、吸引用のシリンジ、圧力計からなる。ガス採取は基本的にプローブの先端を採取深度まで挿入し、シリンジによって吸引することにより行う。

プローブは中空の金属管の中に金属製の丸棒が入った構造をしている。プローブの下端がガス吸引口となる。目詰まりを防ぐため、採取口の内径は井本ら (2003) によるもの (1 mm) よりも大きく、7 mm とした。採取口先端には当初栓をしており、ガス採取深さにおいてこの栓を除去することになる。

ガスを選択的に採取するための工夫を以下に述べる。シリンジで吸引すると水とガスがプローブに取り込まれる。このとき水が上向きに移動する力は、シリンジの吸引によって生じる圧力勾配である。一方、ガスは水で満たされたプローブ内を圧力勾配だけでなく浮力によっても上昇する。そのため水に比べガスはより速く採取装置内部を移動し、シリンジには実際に泥炭中に存在する割合よりも多くのガスが採取されることが期待できる。このように水とガスが上昇するスピードの差を利用してガスを採取するためには、気泡が管の断面積をすべて覆ってしまうことを避ける必要がある。なぜなら泡が一箇所でも完全に管の全断面を占めてしまった場合、泡が上昇

* 東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 文京区弥生 1-1-1

キーワード: 湿原, メタンガス, ガス採取法, 泥炭地地下水

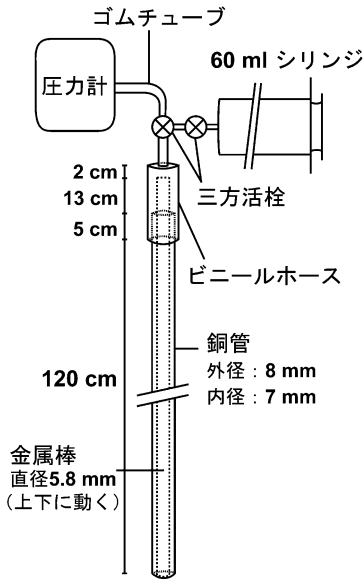


図-1 ガス採取装置

する際には必ずその上下の水も上方へ移動するため、両者の上昇速度が同じになってしまうからである。本プローブでは内径を十分大きく取ることでプローブに入り込んだ気泡が水柱中を上昇できるようにした。

プローブ内部にある金属棒はやや湾曲させているため、外側の金属管との間に摩擦が生じ、自重によって落下することはない。しかし上部のビニール管を通して指で押すことにより、その位置を上下させることができる。この金属棒は二つの役割を持つ。一つは、スペーサーとしての役割である。中空管の内径を大きくすることで装置内部の容積は約 53 ml となり、始めから存在する空気が採取する試料に混入してしまい、組成を大きく変化させるおそれが生じる。しかし、この棒により容積を 20 ml 程度まで減少させることで混入空気の影響を低減させることができる。もう一つは前述した採取口の栓を取り外す役割である。所定の深さのみからガスを採取するため、装置を泥炭層に挿入する際には採取口に栓をする。ガス採取時にはこの棒を押し下げることにより栓を取り除くことが可能となる。

3. 採取手順

- 濡らした紙を丸めて採取口に栓をする。試料への空気の混入をなるべく少なくするため、上部の三方活栓に 60 ml シリンジを接続し採取装置内の空気を吸引する。デジタル式圧力計で減圧後の圧力を測定し、残存空気を定量する。なお、装置内部の圧力は

通常 10 kPa 程度まで下げることが可能である。

- 内部を減圧した状態の採取装置をプローブの先端が採取深度となるまで鉛直に挿入する。高位泥炭は極めて柔らかく、特別な機器や予備穴なしで直接手で挿入することができる。その後上部のビニール管の上から指で金属棒を押し、栓をはずす。
- 上部の三方活栓にシリンジを接続し泥炭層から水とガスを吸引採取する。
- 多くの場合シリンジには水とガスが採取される。シリンジに注射針を付け、ガスのみをあらかじめ真空にしたバイアルビンに打ち込む。
- 採取したガスは実験室に持ち帰りガスクロマトグラフで分析する。手順 1 で求めた残存空気が試料に混入しているので、その影響を取り除くガス組成の補正を行い、試料のガス組成とする。

4. 減圧による溶存ガスの気化量

ガスの採取は吸引により行う。したがって地下水面下に気相として存在していたものだけでなく、溶存状態で存在していたガスも減圧の影響で気化する可能性がある。溶存状態のガスが気化したものを採取しているとしたら、地下水面下に気相として存在するガスを採取するという当初の目的は果たせない。このことを確認するために、20°C の恒温室に 3 日間静置して大気と平衡状態に置いた水道水を現地と同じ手順で吸引し、減圧による溶存ガスの気化がどの程度生じるかを調べる補足実験を行った。その結果、気化によって発生するガスの量は 60 ml シリンジを用いた場合で、 $1.2 \pm 0.06 \text{ ml}$ (SD, $n=3$) 程度であることがわかった。大気と泥炭層内ではガス組成が異なると考えられるが、大気的主要なガス成分である窒素、酸素と、泥炭地地下水中心部の主成分と考えられるメタンは溶解度にあまり差がない。ちなみに、ガス溶解度はそれぞれ N_2 : 0.016, O_2 : 0.031, CH_4 : 0.033 (20°C における値, 単位は $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, 理科年表 2003) である。そのため湿地の地下水に溶存していたガスの物質量は補足実験で用いた大気下の水と同程度であると考えられる。したがって、現地の 60 ml 採取で 1.2 ml よりも十分多くのガスが採取された場合は、元々気相として存在していたガスを採取したとみなすことができる。

5. 採取・分析例

2001 年 10 月に北海道美唄市 (北緯 43 度 19 分, 東経 141 度 48 分) に位置する面積約 50 ha の高層湿原 (以下美唄湿原と呼ぶ) でガス採取を行った。表 1 に美唄湿原中心部で粕渕ら (1994) により測定された乾燥密度と土粒子密度, それより計算される固相率のプロファイルを

表-1 美唄湿原の泥炭の密度と固相率（粕渕ら，1994）

深さ (cm)	土粒子密度 (Mg m^{-3})	乾燥密度 (Mg m^{-3})	固相率 (%)
0- 10	1.67	0.0584	3.5
10- 20	1.53	0.0984	6.4
20- 30	2.02	0.204	10.1
30- 40	2.01	0.0710	3.5
40- 50	1.51	0.0542	3.6
50- 60	1.53	0.0489	3.2
60- 70	1.50	0.0538	3.6
70- 80	1.49	0.0535	3.6
80- 90	1.50	0.0502	3.3
90-100	1.58	0.0544	3.4

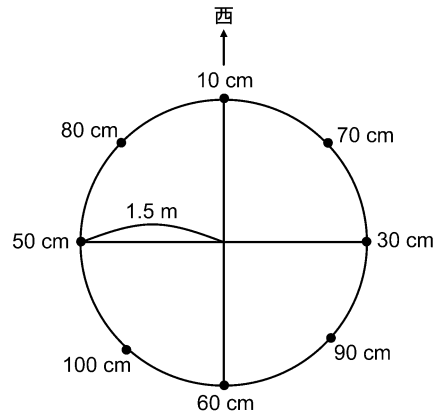


図-2 各採取深度の配置（円周上の数値は地表面からの深さを表す。）

示す。このように典型的な高位泥炭の乾燥密度や固相率は通常の鈹質土壌と比べ極めて小さい。なお30 cm付近に見られる高い密度は樽前火山灰層が存在するためである。

ガス採取は湿原の東西方向に設けたラインに沿って100 m間隔で6地点行った。各地点において深さ10, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 100 cmからガスを採取した。互いに採取の影響がでないよう、図2に示すように円周上に深度ごとのガス採取位置を配置した。ここでは2地点（A, Bと呼ぶ）の採取・分析結果を示す。A地点の地下水位は地表面から8.1 cm, B地点では16 cmの深さに存在した（表2）。地表面から深さ100 cmまでの地温分布は12-13°Cであった。

表2にガス採取の際、シリンジに採取された間隙水の量を示す。シリンジの容積60 mlから間隙水の量を引いた残りが採取されたガスの体積となる。B地点の10 cmを除くすべてのサンプルは地下水面下からの採取であるが、水よりもむしろガスが多く採取された。すべてのサンプルでもともと気相として存在していたと考えるに足る量のガスが採取された。特にB地点の深さ70 cm以深では水が全く採取されずガスのみが採取された。この例のように高層湿原の地下水面下には多量のガスが気相として存在する場合があることがわかった。

図3は採取されたガス組成の分析結果である。A地点の結果を図3-aにB地点のものを図3-bに示す。ガスクロマトグラフにはGC14-A（島津製作所）、カラムにはMolecular Sieve 5A（2.5m）とPorapak Q（1.5m）、Shimalite Q（0.5m）からなる並列分流カラムを用い、酸素と二酸化炭素は熱伝導検出器で、メタンは水素炎イオン化検出器で同時に分析・定量した。A地点は湿原の中心部に近く、地下水位の低下が30 cm程度までしか生

表-2 60 ml シリンジに採取された間隙水の量 (ml)

深さ (cm)	A 地点	B 地点
10	46	2
30	14	26.5
50	12	9
60	0	1
70	37.5	0
80	25.5	0
90	1	0
100	0	0
地下水位 (cm)	8.1	16

じない。A地点では深くなるに従って気相中のメタン濃度が上昇し、ガスの主要な成分となっていた（図3-a）。B地点は排水路のある湿原の東端に近く、地下水位の変動がA地点より大きい。B地点では深さ50 cm程度まではメタンはほとんど検出されなかった。しかし70 cm以深では実に気相の80%あまりがメタンガスで占められていた。

6. まとめ

新しく作成したガス採取装置により、地下水面下の泥炭土壌中に気相として存在するガスを採取することに成功した。採取したガスを分析した結果、メタンが主要な構成要素となることがわかった。

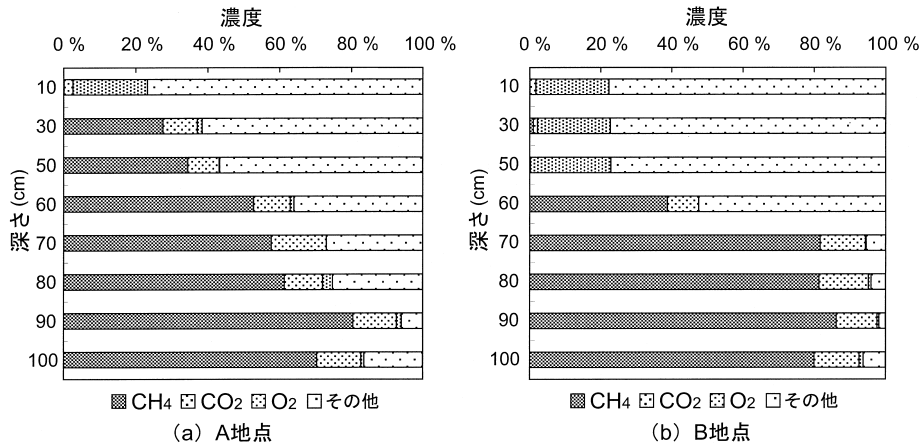


図-3 ガス濃度プロファイル

7. 謝 辞

本研究を行うに当たっては、北海道農業研究センター水田土壌管理室の安田道夫室長、および君和田健二氏、永田修氏から調査地を快く提供して頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

引用文献

- Beckmann, M. and Lloyd, D. (2001): Mass spectrometric monitoring of gases (CO_2 , CH_4 , O_2) in a mesotrophic peat core from Kopparås Mire, Sweden. *Global Change Biology*, **7**: 171-180.
- Beckwith, C. W. and Baird, A. J. (2001): Effect of biogenic gas bubbles on water flow through poorly decomposed blanket peat. *Water Resources Research*, **37**: 551-558.
- Fechner-Levy, E. J. and Hemond, H. F. (1996): Trapped methane volume and potential effects on methane ebullition in a northern peatland.

- Limnology and Oceanography*, **41**: 1375-1383.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): *Climate Change 2001, The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tokida, T., Miyazaki, T., Mizoguchi, M. and Seki, K. (2003): In situ methane-bubble accumulation in a natural wetland soil. *European Journal of Soil Science*. (投稿中).
- 井本博美・藤川智紀・溝口 勝・宮崎 毅 (2003): 土壌中のガス採取装置の改良とガス採取方法, *土壌の物理性*, **93**: 51-55.
- 粕淵辰昭・宮地直道・神山和則・柳谷修自 (1994): 美唄湿原の水環境の特徴と保全, *日本土壌肥科学雑誌*, **65**: 326-333.
- 文部科学省国立天文台編 (2003): *理科年表*, p. 501, 丸善, 東京.

受稿年月日: 2003年9月18日

受理年月日: 2003年11月17日