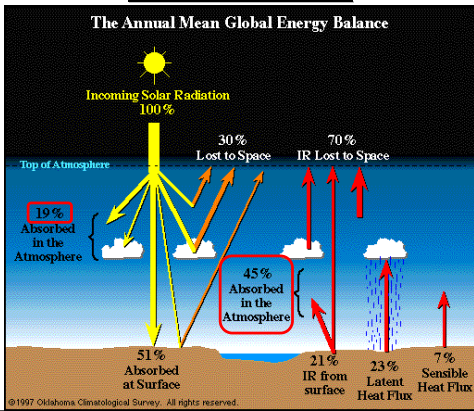


湿原の地下水面で発生するメタンの存在形態とその挙動 —低気圧がもたらすメタンバブル噴出効果—

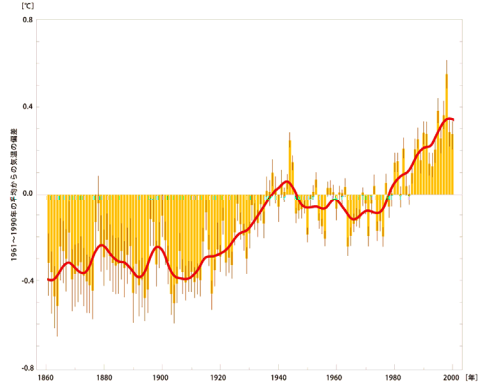
2006/6/16
東京大学 大学院農学生命科学研究科
生物・環境工学専攻
常田岳志

まず地球温暖化の話を少々・・・

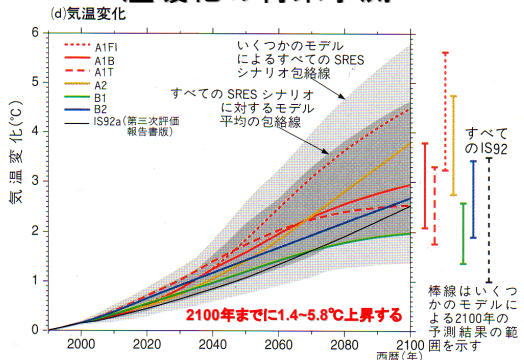
地球の熱収支



地球の平均気温は過去100年の間に、0.6°C上昇した

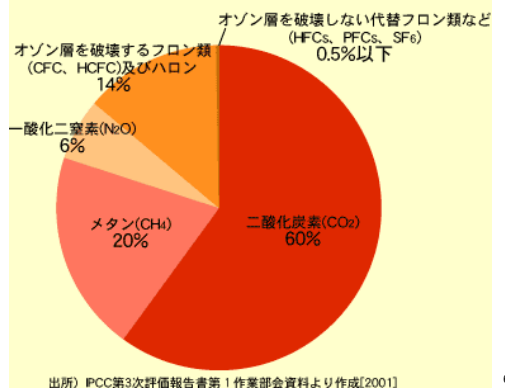


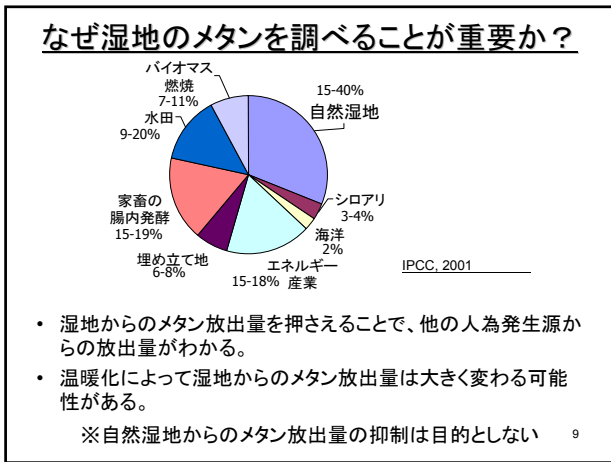
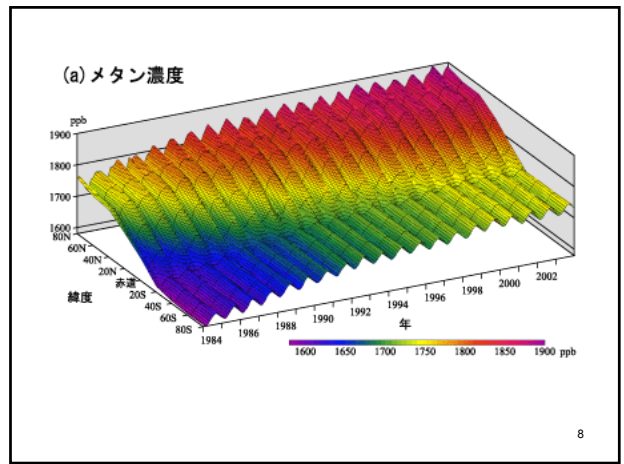
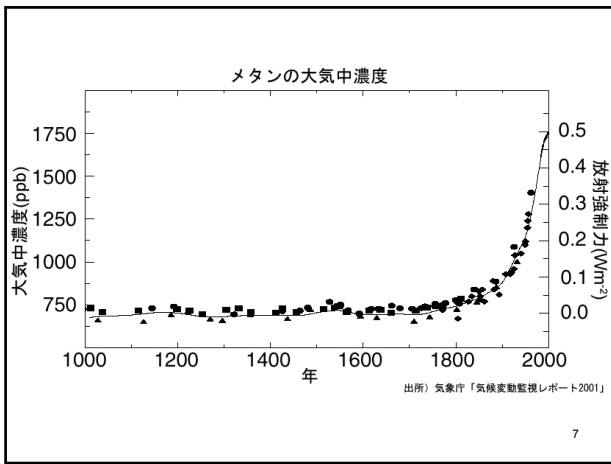
温暖化の将来予測



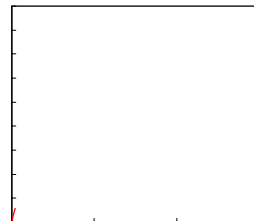
どのモデルをとっても今後予測される気温上昇は急激

産業革命以降人為的に排出された温室効果ガスによる地球温暖化への寄与度





なぜ「泡」に注目したのか？

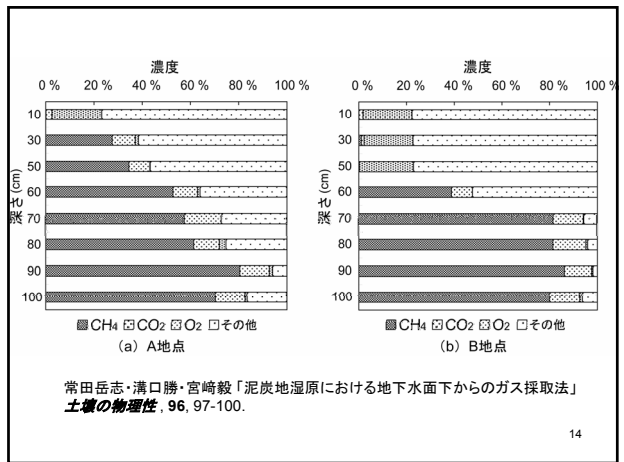


例えば液相の 20 分の 1 の気相がある時、メタンの 6 割以上は気相に存在する

泡の採取法を開発 MGC

- 2001年9月@美唄湿原
- MGC=Mizoguchi Gas Collector
- 湿原水面下から直接気泡を採取することに成功。
- メタンガスが主成分のようであった。

13

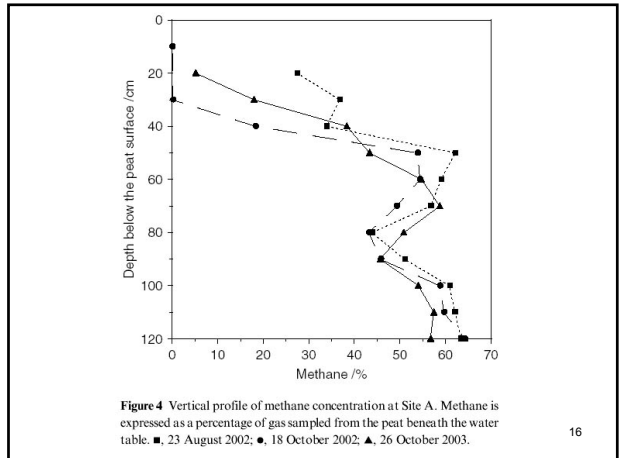


14

修士時代

- 2002年8月と10月、2003年10月に美唄調査
- MGCを使ったガス採取と水分センサ (Profile Probe) を使った **水面下の気相率測定**
- 湿原地下水面下でメタンが気泡として存在していることを示した

15



16

Table 2 Amount of methane ($\text{g CH}_4 \text{m}^{-2}$) in the methane in each phase to the total (%) are shown

Date	Best estimates		
	Dissolved	Bubble	Total
October 2002	8.5 (42)	12 (58)	20
October 2003	9.5 (28)	24 (72)	34

^aCalculated under the assumption that the peat

17

メタンは拡散ではなく、泡の噴出 (ebullition) によって大気へ放出されているのではないか？

18

なぜEbullitionを研究するのか？

現在のメタンフラックス測定法：
チャンバー法 or タワーによる観測（渦相関法）



時間的・空間的にカバーできる範囲は極めて限られる
突発的なものは検出できない



Ebullitionがどんな時に、どの程度重要な経路になりうるのかを明らかにする必要性



泡の噴出は**パッチ状**に、しかも**突発的**に生じる

19

東京にいるとなかなかフィールドでの
長期的、連続的な測定は難しい……



実験室にミニ湿原をつくって研究

20

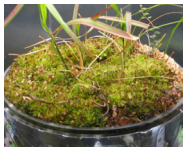
試料と実験条件



アクリルカラム：
側面はアルミホイルで覆ってある

試料：北海道美唄湿原から採取した、直径
20 cm、高さ 53 cmの不攪乱泥炭試料
温度：20 °Cの恒温室

光条件：12 時間の明暗周期



カラム表面：ミスゴケ主体、
ヌマガヤが多少混じる。

地下水位：一旦低下させ、なるべく初期の封入空気が少なくなるよう、ゆっくりと水を供給。以降、地表面で一定。

実験開始時刻：水の供給開始時点

21

測定項目と方法

■水面下の気泡発生量（気相率）

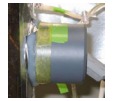
水が気泡に置き換わると質量が減少することを利用し、
カラム質量の変化から算出。



電子天秤

■気泡の深さ分布 水面下 3, 8 13, 18, 28, 38 cm の深度

TDRによる電磁波パルスの伝播時間の計測。



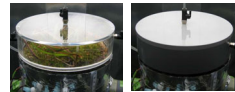
TDR (TRIME P2Z, IMKO)

■溶存メタン濃度

水面 - 19 cm まで 1 cm おき、それ以降 47 cm まで 2cm おきに計 31 点
ヘッドスペース法 0.6 ml の水採取し 5 ml のバイアルに投入

■地表面メタンフラックス

クローズドチャンバー法



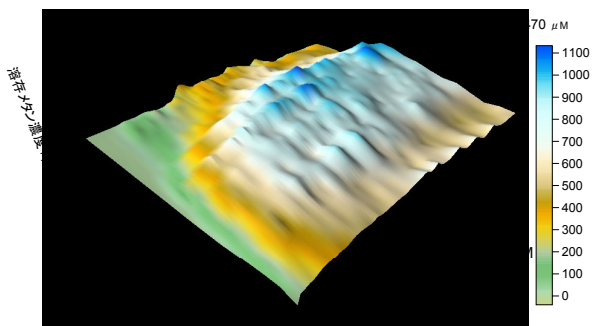
明条件：アクリル

暗条件：塩ビ



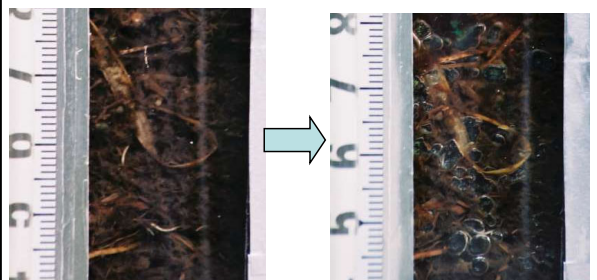
5 ml バイアル
22

溶存メタン濃度プロファイルの経時変化



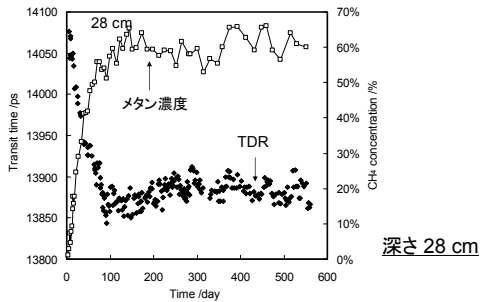
23

泡の発生と蓄積



24

TDRによる気泡発生の検知—溶存メタン濃度と伝播時間



1. メタン濃度の増加と気泡の蓄積
2. メタンは気泡の主要な構成成分 → 気泡の上方移動・大気放出を示唆
3. 気泡増加の頭打ち

25

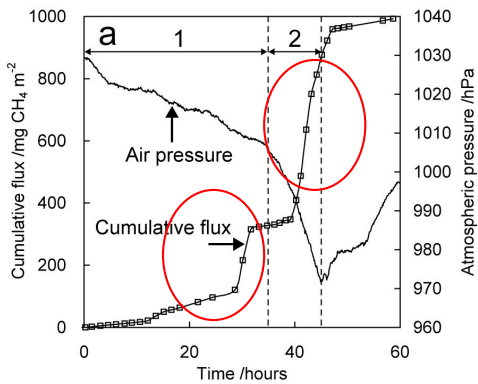
ここから

気圧が下がって
メタンがボン!

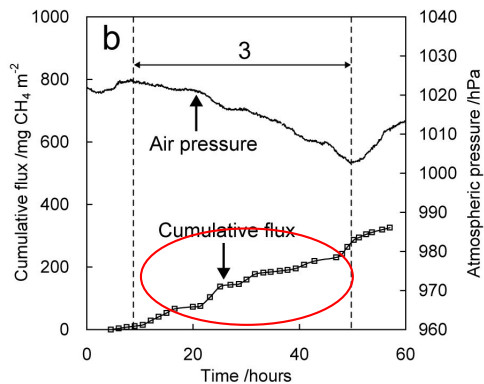
の話

Tokida, T., Miyazaki, T & Mizoguchi, M. 2005. Ebullition of methane from peat with falling atmospheric pressure. *Geophysical Research Letters*, in press.

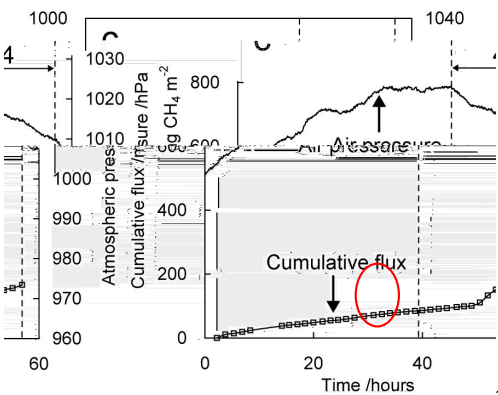
26



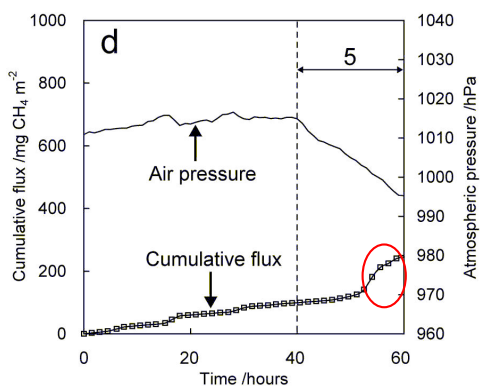
27



28



29



30

気圧の低下とメタンの噴出を定量的に表現できないか？

31

気圧低下に伴う気泡体積変化の計算

Vg	気相: $P_i V_g = n_{gi} RT$	P: 気泡の圧力 (Piは分圧) Vg: 気泡の体積 ng: 気相のガス物質質量
Vw	液相: $\frac{P_i}{H_i} V_w = n_{wi} RT$	nw: 液相の(溶存)ガス物質質量 H: 無次元ヘンリー定数 (気相中のガス濃度/液相中のガス濃度) R: 気体定数、T: 温度 i: ガスの種類

P が変化してもガスの全物質質量は変化しない

$$P_i V_g + \frac{P_i}{H_i} V_w = n_{total} RT = const.$$

$$\Rightarrow d\left(P_i V_g + \frac{P_i}{H_i} V_w\right) = V_g dP_i + P_i dV_g + \frac{V_w}{H_i} dP_i = 0$$

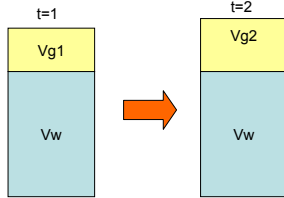
$$\Rightarrow \frac{dV_g}{dP_i} = -\frac{V_g}{P_i} - \frac{V_w}{P_i H_i} = -\frac{C_i}{P_i^2}, \quad C_i = P_i \left(V_g + \frac{V_w}{H_i} \right)$$

C_i は P_i が変化しても一定。次の積分計算に便利なので導入。

第一項目が気相ガス体積の変化、第二項目が液相-気相間のガス移動を表す

32

ある時間1から時間2の間に気圧(ここでは気泡の全圧に等しいと仮定)が P_1 から P_2 まで下がった時、気泡の体積はどう変化するだろうか？



$$\frac{dV_g}{dP_i} = -\frac{V_g}{P_i} - \frac{V_w}{P_i H_i} = -\frac{C_i}{P_i^2}$$

Vg1とVg2は時間1および時間2における気泡体積
Pi1とPi2は時間1と時間2におけるガスiの分圧

$$\Rightarrow \int_{P_1}^{P_2} dV_g = -\int_{P_1}^{P_2} \frac{C_i}{P_i^2} dP_i$$

$$\Rightarrow \Delta V_g = V_{g2} - V_{g1} = C_i \left[\frac{1}{P_2} - \frac{1}{P_1} \right]$$

C_i, P_{i1} は既知だが、 P_{i2} は未知。方程式の数はガス種の数と同じだが、 $\sum P_{i2} = P_2$ を用いれば、 ΔV_g が計算できる。

33

Phase 2における計算例

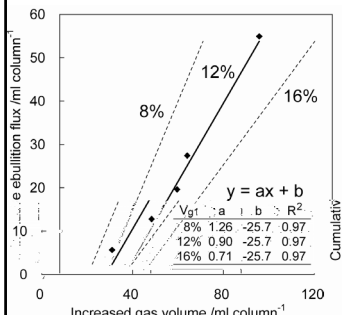
	$P = \sum P_i$ (Pa)	P_{CH_4} (Pa)	P_{CO_2} (Pa)	P_{N_2} (Pa)	Vg (ml)
T1	100640	45288 (45.0%)	12077 (12.0%)	43275 (43.0%)	1680.7 (10.7%)
T2	97170	43642 (44.9%)	12005 (12.4%)	41523 (42.7%)	1760.5 (11.2%)

緑→実測値、桃色→仮定値、黄色→計算値

泡の体積は気圧低下の影響で約80 ml増加した

34

気泡増加量と噴出量の関係



初期気泡体積(気相率)は3種類の仮定をおいた

y切片が負

ある程度気圧が下がって初めて噴出が生じる。泥炭がトラップできる泡の量にはある一定の限界がある。

傾きがほぼ1

噴出が始まると、増加した気泡体積分そのまま出てくる。

35

現在の状況: 海外との予期せぬ競争...

偶然か必然か、世紀の変わり目に
アメリカ、イギリス、カナダ、そして日本の4グループがほぼ同時に
「泡」に注目した

2001 (U4)	泡の採取に成功	Baird	Effect of biogenic gas bubbles on water flow through poorly decomposed blanket peat (WRR, <i>in lab.</i>)
2002 (M1)	8月と10月に調査		
2003 (M2)	10月に調査	Baird	Shallow horizontal groundwater flow in peatlands is reduced by bacteriogenic gas production (GRL, <i>in lab.</i>)
	現場でメタンが気泡として存在していることを証明 Nature— Rejected (July) EJSS—Submitted (Aug) 土壌の物理性—Accepted (Dec)	Glaser	Use of hydraulic head to estimate volumetric gas content and ebullition flux in northern peatlands (WRR, <i>in situ</i>)

WRR=Water Resources Research (AGU)
GRL=Geophysical Research Letters (AGU)

BairdはLondon大学の教授

GlaserはMinnesota大学のSenior Research Associate

36

2004 (D1)	室内実験 EJSS→Accepted (July) 気圧低下によるメタン噴出 を世界で初めて捉えた	Baird & Waddington Waddington	Ebullition of methane-containing gas bubbles from near-surface Sphagnum peat (GRL, <i>in lab.</i>) Pressure variations in peat as a result of gas bubble dynamics (Hydrol. Pro. <i>in situ</i>)
2005 (D2)	GRL→Accepted (July)	Glaser Waddington	Surface deformations as indicators of deep ebullition fluxes in a large northern peatland (GBC, <i>in situ</i>) Dynamics of biogenic gas bubbles in peat and their effects on peatland biogeochemistry (GBC, <i>in situ</i>)

EJSS=European Journal of Soil Science
GBC=Global Biogeochemical Cycles (AGU)

WaddingtonはMcMaster大学の準教授

他の研究グループはいずれもGeoscience系でPeatlandの専門家

37

今後の予定

38

手持ちのデータ

- 地表面メタンフラックス
- ガス濃度分布
- TDR—気泡の量
- 質量—気泡の量
- 気圧
- その他 地温プロファイル、Eh、pH

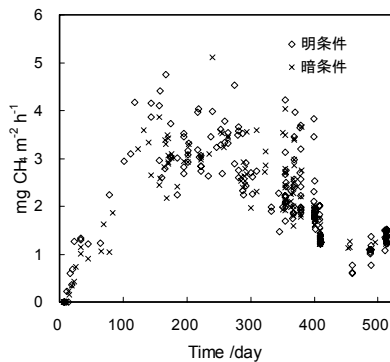
39

1. 放出経路別メタンフラックス

- メタン濃度勾配から拡散フラックスを推定
- 実測フラックスと比較
- 実測—拡散=噴出+植物体経由
- (植物体を通る放出はなさそう)

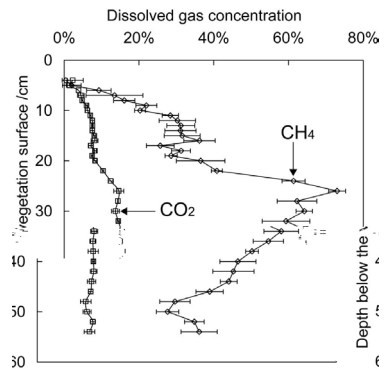
40

拡散による地表面メタンフラックス



41

泥炭土壌中の溶存メタン濃度



42

2. 土壌中のメタン動態の解析

- ガス濃度勾配、三層分布から土壌中でのメタンの生成・貯留・移動量を算出
- 例えば、どれくらい時間が経つと、どの深さからどの程度メタンが生成されるのか？という問いに答える
- メタン動態を考える上で気泡を考慮することが極めて大切であることを定量的に主張できる

43

必要になる実験

- 三層分布の算出には、カラムを解体し、真比重・乾燥密度を測定する必要性
どうやってカラムからコアサンプルを取り出す？カラムを破壊しながら？あるいは泥炭を押し出しながら？排水すると体積が変わる→水の中で作業？
- さらにTDRのキャリブレーションという重い課題
- 3~4ヶ月はかかるかもしれない

44

ご静聴ありがとうございました
忌憚のないご意見をお願いします
m(_ _)m

45