

土壌圏の科学 —平成20年度ガイダンス—

2008年10月9日

東京大学大学院農学生命科学研究科
生物・環境工学専攻、環境地水学研究室
教授 宮 崎 毅

1

- 土壌は生命の源
- 土壌は貯留する
- 土壌は循環させる
- 土壌は緩和する
- 土壌は劣化する
- 土壌は変化する
- 土壌は移動する
- 土壌は異なる

2



- 土壌は生命の源
- 土壌は貯留する
- 土壌は循環させる
- 土壌は緩和する
- 土壌は劣化する
- 土壌は変化する
- 土壌は移動する
- 土壌は異なる

4

土壌は貯留する

- 間隙構造から見た貯留機能
 - 単位体積中の間隙
 - 単位体積中の水分
 - 単位体積中のガス成分
- 固体の特性から見た貯留機能
 - 1gの土の表面積
 - 固体表面の驚くべき特性
 - 固体の分散・凝集

5

例題1

- 東大の土壌の間隙率は何%位か？
約20%、約40%、約50%、約70%、約80%
- 砂地に10mmの雨が浸透して地下水に達したとき、地下水位は何mm上昇するか？
約10mm、約50mm、約100mm、約200mm、約300mm
- 土壌中のCO₂濃度は大気中CO₂に比べて大きい、小さいか？それはなぜか？

6

例題2

次の土壌1gについて表面積はどの位の広さか？
(比表面積と呼ぶ)

1gの乾いた砂(粒径 2~0.02mm)

1gのシルト(粒径 0.02~0.002mm)

1gの粘土(粒径0.002mm以下)

手のひら程度、ノートパソコン画面程度、座布団程度、畳1畳分程度、教授の研究室程度、テニスコート程度、野球場の内野程度、東京ドーム程度

7

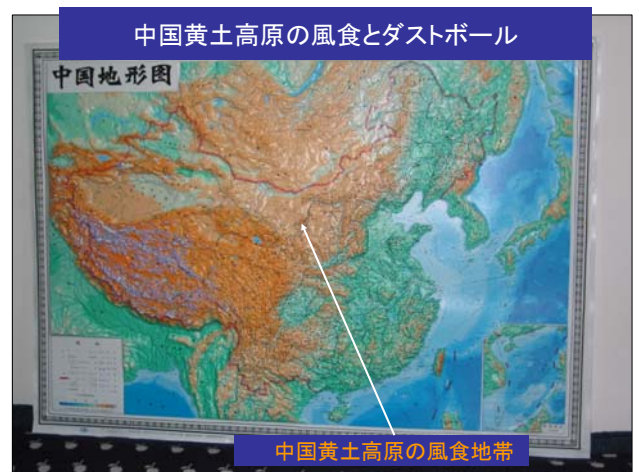
例題3

大きな河川の水は、河口から海洋に出ると、急速に濁りが消える。これはなぜだろう？

8

- 土壌は生命の源
- 土壌は貯留する
- 土壌は循環させる
- 土壌は緩和する
- 土壌は劣化する
- 土壌は変化する
- 土壌は移動する
- 土壌は異なる

9





中国北部で1950年から2003年までに生じたダストボール回数

Time	1950's	1960's	1970's	1980's	1990's	2000-2003
Frequency	5	8	13	14	23	48

地球の面積から見る

	面積 Area	億ha	Billion ha
• 地球 Globe		500	50
• 陸地 Land		149	14. 9
• 砂漠 Desert		36	3. 6
• 森林 Forest		33	3. 3
• 農耕地 Cultivated		15	1. 5
• 土壌劣化 Degraded		20	2. 0

世界の土壌劣化20億ha

UNEP 代表、ISRICの調査報告より

- **土壌侵食**(風食4.3億ha、水食4.7億ha)
- 土壌の酸性化(酸性雨の影響も)
- **土壌の塩類化**
- 土壌の湛水化(ウォーターロギング)
- 土壌汚染
- 土壌からの溶脱や有機物損失
- 土壌圧縮
- 土壌の目詰まり

19

	水食 Water Erosion	風食 Wind Erosion	合計 Total
(億ha単位)			
North America	0.38	0.38	0.76
South America	0.35	0.27	0.62
Europe	0.48	0.39	0.87
Africa	1.19	1.60	2.79
Asia	1.58	1.53	3.11
Australasia	0.70	0.16	0.86
Total	4.7	4.3	9.0

20

過耕起・過放牧による土壌劣化

- 北米グレート・プレーンの過耕起: スタイン・ベック「怒りの葡萄」のダストボール(砂嵐)が有名
- 旧ソ連の過耕起: 大増産→農地の破綻
- カザフスタンの過耕起(同上)
- ナイジェリアの過放牧
- モンゴルの過放牧
- 中国の過耕起・過放牧

21

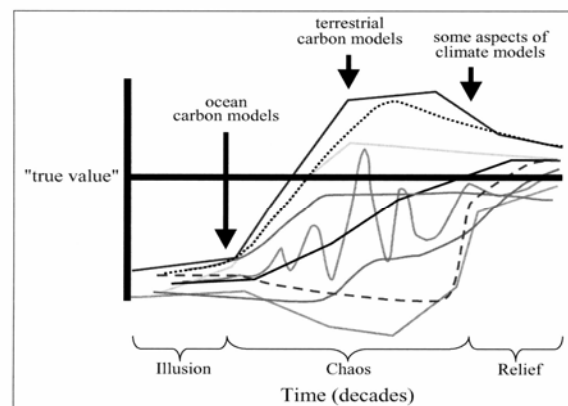
- 土壌は生命の源
- **土壌は貯留する**
- **土壌は循環させる**
- 土壌は緩和する
- 土壌は劣化する
- 土壌は変化する
- 土壌は移動する
- 土壌は異なる

22

地球システムモデリングにおける未知問題の分類(EOS vol.87, 2006)

- **Illusion Phase**(誤りの多いまたは謎だらけのレベル)
例: 海洋における炭素循環モデル
- **Chaos Phase**(混沌としたまたは諸説入り乱れているレベル)
例: 陸地における炭素循環モデル
- **Relief Phase**(信頼性の高い、予想可能なレベル)
例: 気象モデル

23



24

土壌圏におけるミッシングソース・ミッシングシンク 最近の研究から

- 湿地や水田からのメタンガスの放出現象
どれぐらいの放出か、放出のメカニズムは？
(Chaos Phase)
- 塩類集積地の水循環と塩移動
地下水変動と水収支の関係？
(Chaos Phase)
- プライミング効果
土壌へ有機物を投入すると、微生物分解で発生するCO₂ガス予
測量より実際の発生量の方が大きくなる現象
(Illusion Phase)

25

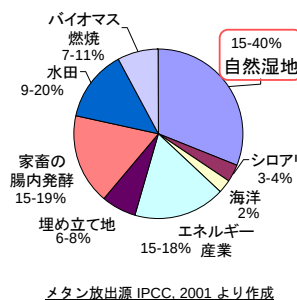
湿原のメタン動態に関するカラム実験 —低気圧がもたらすメタンバブル噴出効果—

東京大学 大学院農学生命科学研究科
○常田岳志 宮崎毅 溝口勝

26

大気中メタン濃度 = 産業革命時と比べ約2.5倍
全放射強制力の約20%

自然湿地=最大の放出源



メタンは溶けない

無次元ヘンリー定数
(気相中のガス濃度 / 溶存ガス濃度)

メタン	30.3
二酸化炭素	1.1

20℃の時
気泡があるとすれば...

メタンは気泡中に存在

27

泥炭地は自然湿地の半分の面積を占める (Matthews, 1987; Aselmann, 1989)

メタン溶存説

メタンは溶けている → 拡散移動 (Clymo 1995 など)

気泡発生説

泥炭地下水面下の気泡 → メタンはバブル状態で放出？

Fechner-Levy, 1996; Beckwith, 2001; Baird, 2001, 2003; Rosenberry, 2003;
Glaser, 2004; Kellner, 2004; Strack, 2005; Comas, 2005; Tokida, 2005

大気圧変動 → 気泡体積変化

気圧低下に伴う大きなメタン放出

アマゾン川の氾濫原 (Engle, 2000)、湖 (Casper, 2000)

28

研究の目的

1. 泥炭地湿原において、大気圧の低下によるメタンバブルの放出が生じるかを検証すること
2. 大気圧の低下とメタン放出の関係を定量的に把握



実験カラム

試料: 北海道美唄湿原ミズゴケ群落から採取
直径 20 cm、高さ 60 cm の不攪乱泥炭試料
温度: 20℃の恒温室に設置
光条件: 12 時間の明暗周期

地下水位: 一旦低下後、ゆっくりと下から蒸留水を供給。以降、地表面で付近で一定。



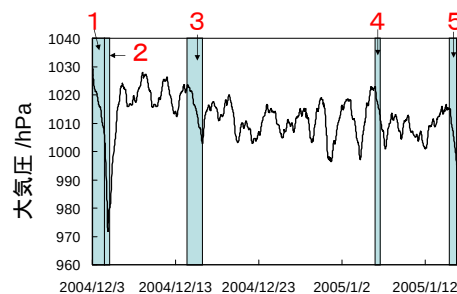
カラム表面
ミズゴケ主体



バブルの蓄積

■ 地表面メタンフラックス

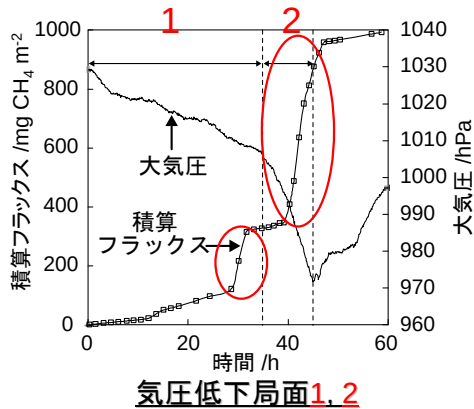
- ✓ 366, 378, 399, 408 日目に約60時間ずつ4回実施
- ✓ 約1.5時間おきに20分の測定
- ✓ 気圧はお天気任せ



■ ガス濃度 メタン 45%、二酸化炭素 12%

30

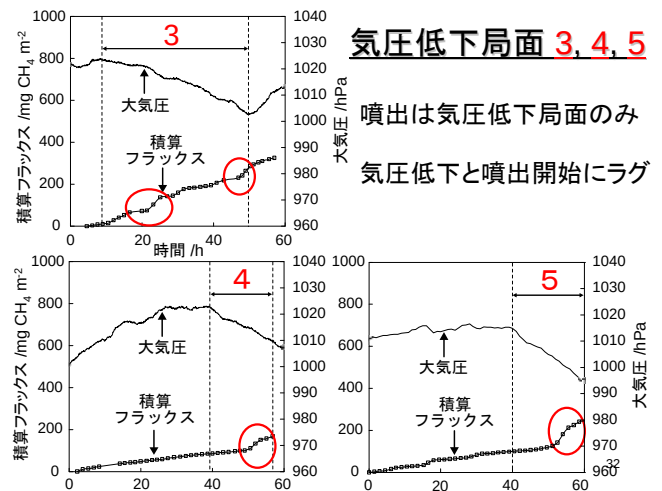
気圧低下に伴う猛烈なメタンの噴出



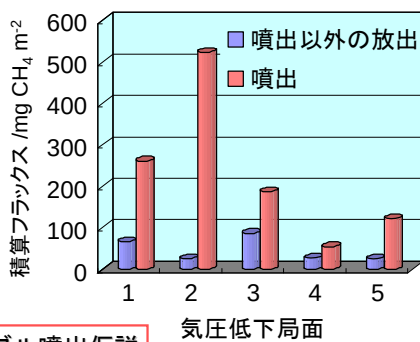
突発的な放出＝噴出

31

気圧低下局面 3, 4, 5



気圧低下局面の経路別メタン放出量

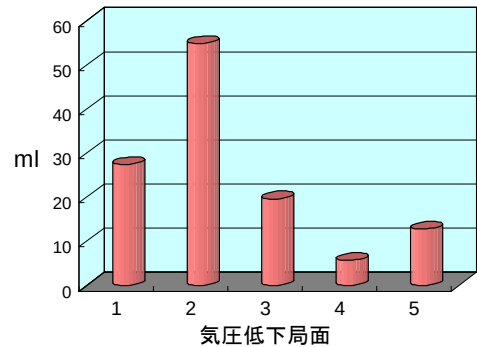


バブル噴出仮説

気圧低下 → 気泡の膨張 → 一部が上昇 → バブルの放出

33

噴出したガス体積



気圧低下で増加した気泡体積は？ → 計算で推定

34

気圧低下に伴う気泡体積変化の計算法

Fechner-Levy & Hemond, 1996

気泡	液相
$P_i V_g = n_{gi} RT$	$\frac{P_i}{H_i} V_w = n_{wi} RT$
P_i : 気泡の圧力 (P_i は分圧)	P_i : 気泡の圧力 (P_i は分圧)
V_g : 気泡の体積	V_w : 気泡の体積
n_{gi} : 気相のガス物質量	n_{wi} : 液相の (溶存) ガス物質量
H_i : 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)	H_i : 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	R : 気体定数、 T : 温度
i : ガスの種類	i : ガスの種類

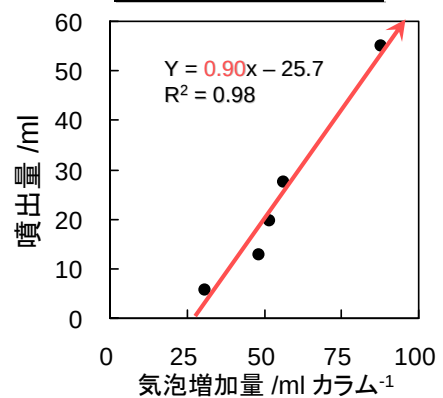
$P_i V_g + \frac{P_i}{H_i} V_w = n_{total} RT = \text{const.}$ Pが変化しても全物質量は変化しない

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

$\Rightarrow \frac{dV_g}{dP_i} = -\frac{V_g}{P_i} - \frac{V_w}{P_i H_i}$ 圧力(大気圧)と気泡体積の関係式

35

噴出のメカニズム



36

結論

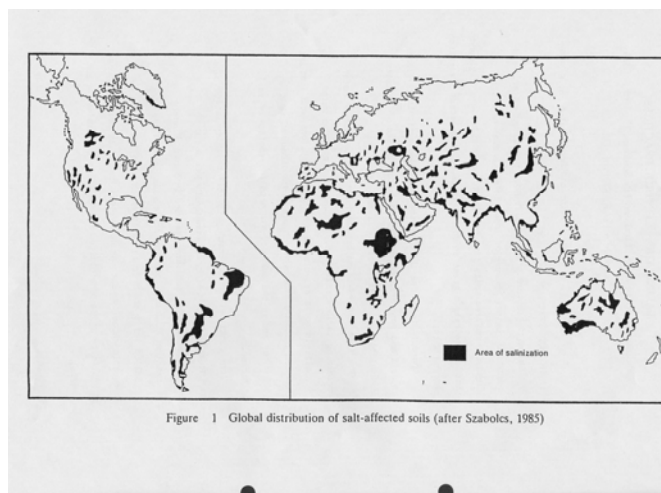
- ✓ 大気圧の低下に伴う、泥炭地地下水面下からのメタンバブルの噴出現象を捉えた。
- ✓ 噴出量は気圧低下による気泡増加量と線形関係にあった。
- ✓ 荒天時の現場観測が重要である。

Tokida, T. et al., Ebullition of methane from peat with falling atmospheric pressure.
Geophysical Research Letters, **32**, L13823. 2005.

37

土壌における塩類集積とそのメカニズム

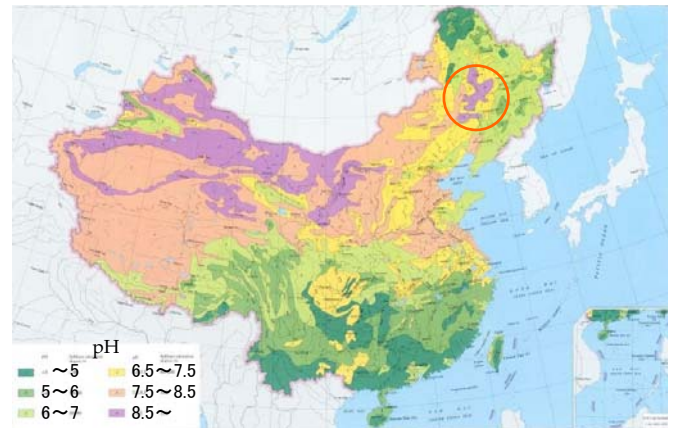
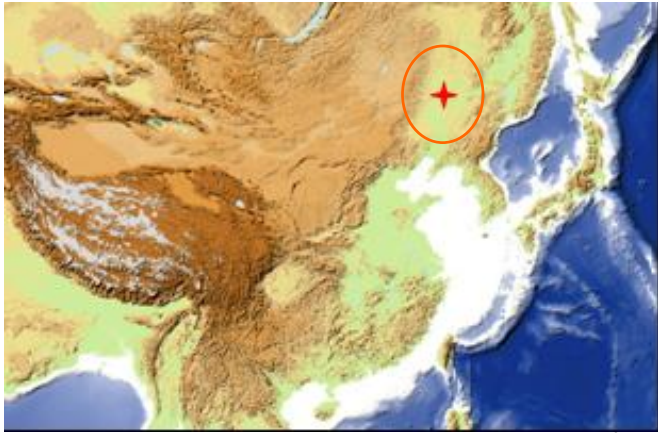
38



研究の目的

- 中国東北部（ハルビン郊外）の塩類集積の実態を知ること
- この塩類集積が、100年の間に激化した理由を解明すること
- この塩類集積が、パッチ状の景観を呈する理由を解明すること
- この塩類集積の進行を止め、塩類集積のない土地に修復する方法を提案すること

42

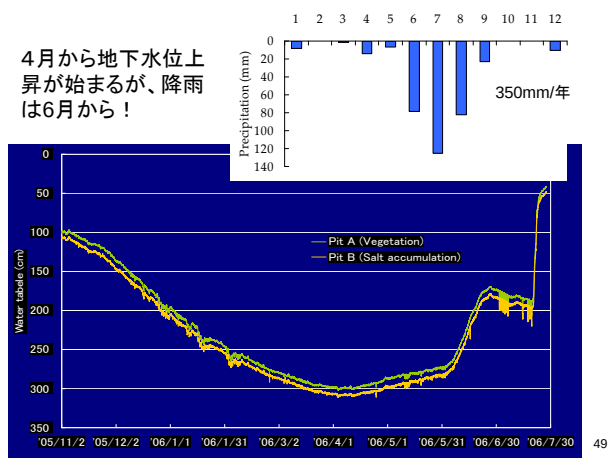


(中国科学院, 1997) 44

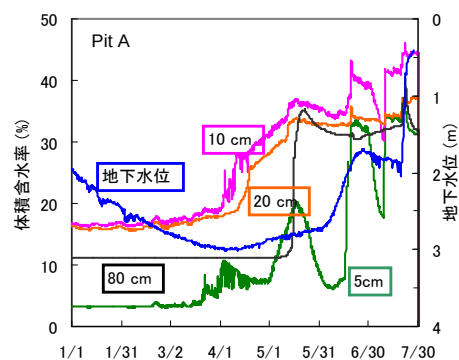


雨の直後、とても革靴では歩けないので、長靴に履き替えました(平成17年6月)

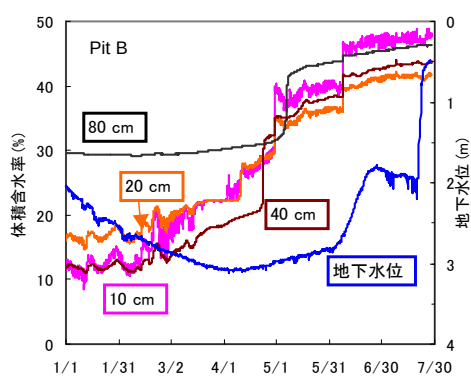
4月から地下水位上昇が始まるが、降雨は6月から！



49



50

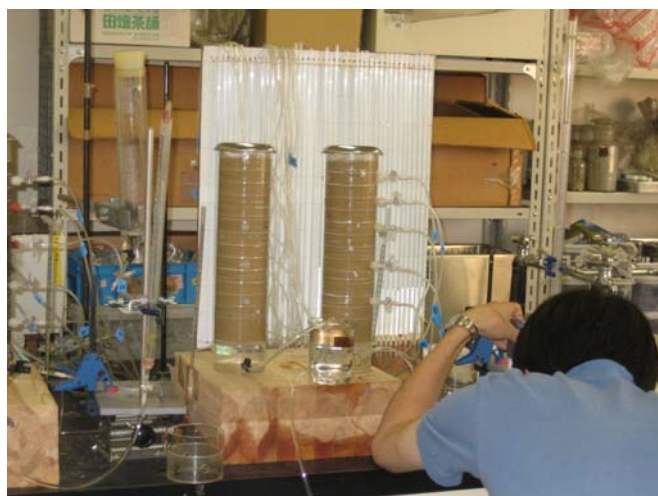
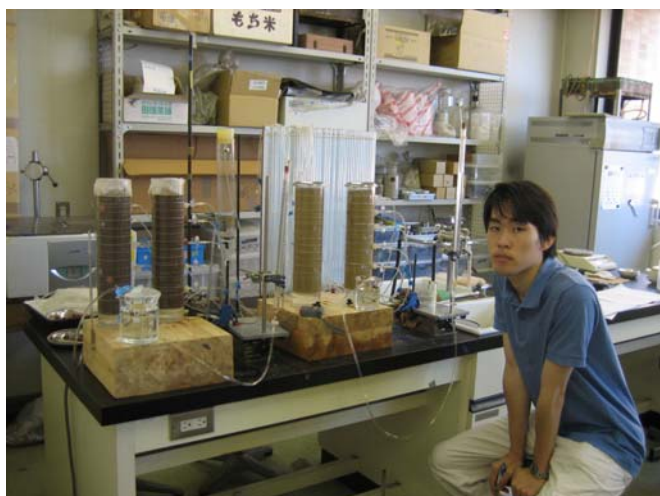


51

設問

同じ量の水を直接地下水へ注入するときと、地表面から浸透させるときとで、地下水位上昇量は異なるだろうか？

52



予備実験による感触 (30cmカラム室内実験)

豊浦砂の場合:

2.0mmの水を降雨浸透させたら地下水位が18cm上昇した。

0.3mmの水を地下水に直接注入したら地下水位が9.5cm上昇した。

立川ロームの場合:

3.6mmの水を降雨浸透させたら地下水位が9cm上昇した。

2.0mmの水を地下水に直接注入したら地下水位が8.6cm上昇した。

どうやら、地下水流入による地下水位上昇のほうが、鋭敏に生ずるらしい。逆に、1mmの水分減少が大きな地下水位低下をもたらし得る。