

LETTERS

Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions

Frank Keppler¹, John T. G. Hamilton², Marc Braß^{1,3} & Thomas Röckmann^{1,3}

¹Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg, Germany. ²Department of Agriculture and Rural Development for Northern Ireland, Agriculture, Food and Environmental Science Division, Newforge Lane, Belfast BT9 5PX, UK. ³Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, Utrecht University, Princetonplein 5, 3508 TA, Utrecht, The Netherlands.

好氣的条件下における陸上植物からのメタン放出

温室効果ガスとしてのメタン

Table 2.1. Present-day concentrations and RF for the measured LLGHGs. The changes since 1998 (the time of the TAR estimates) are also shown.

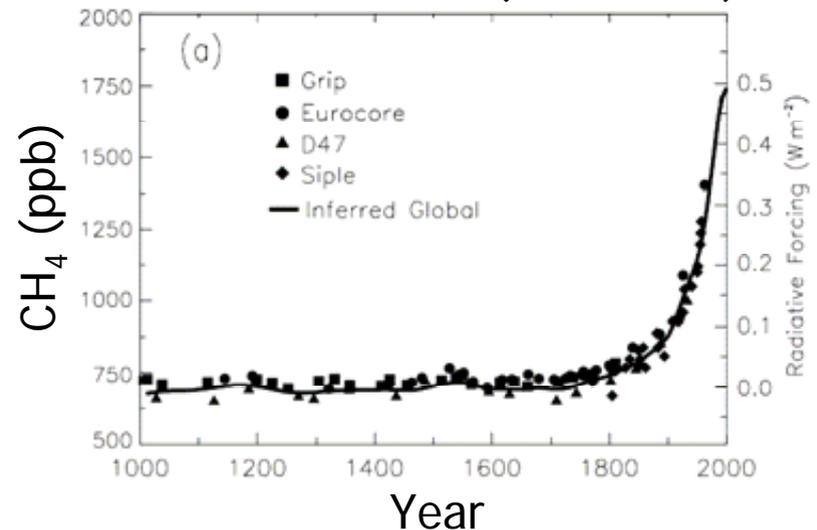
IPCC (2007)	Concentrations ^b and their changes ^c		Radiative Forcing ^d		
	Species ^a	2005	Change since 1998	2005 (W m ⁻²)	Change since 1998 (%)
	CO ₂	379 ± 0.65 ppm	+13 ppm	1.66	+13
	CH ₄	1,774 ± 1.8 ppb	+11 ppb	0.48	-
	N ₂ O	319 ± 0.12 ppb	+5 ppb	0.16	+11

- ・メタンの温室効果はCO₂の約23倍
- ・大気メタン濃度

昔・・・氷河期400ppb
 間氷期700ppb

現在・・・1774ppb

メタン濃度の推移 (IPCC, 2001)



メタンの放出源 (Lowe, 2006; IPCCのデータより)

a

(単位: Tg year⁻¹)

Identified methane sources		Estimates ⁸	Range of estimates ²
Total wetlands	湿地	145	92-237
Rice agriculture	コメ生産(水田)	60	40-100
Ruminant animals	反すう動物	93	80-115
Termites	シロアリ	20	20-20
Biomass burning	バイオマス燃焼	52	23-55
Energy generation	エネルギー生産	95	75-110
Landfills	埋め立て	50	35-73
Ocean	海洋	10	10-15
Hydrates	メタンハイドレート	5	5-10
Total identified sources		530	500-600

しかしながら

- ・各要因からのメタン放出強度はまだよくわかっていない
- ・熱帯林の上空で高濃度のメタンが観測

確認されていない30-40 Tg year⁻¹のメタン放出源？

メタン収支はまだ解明されていない

Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions

Frank Keppler¹, John T. G. Hamilton², Marc Braß^{1,3} & Thomas Röckmann^{1,3}

¹Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg, Germany. ²Department of Agriculture and Rural Development for Northern Ireland, Agriculture, Food and Environmental Science Division, Newforge Lane, Belfast BT9 5PX, UK. ³Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, Utrecht University, Princetonplein 5, 3508 TA, Utrecht, The Netherlands.

好氣的条件下における陸上植物からのメタン放出

植物生理学として

これまでに全く考えられていないメタン生成過程

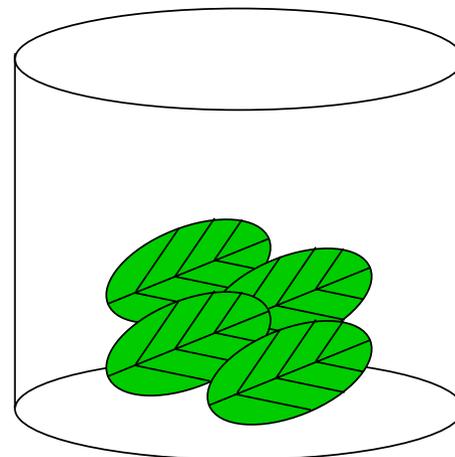
環境科学として

大気環境(温暖化)へ与えるインパクトが極めて大きい

メタン放出速度の測定方法



実際の測定の様子
(Max-Planck-InstitutのHPより)



密閉チャンバーの中に植物材料
(切り葉・苗木・シュートなど)を
入れてメタン濃度や $\delta^{13}\text{C}$ の推移
を追う

切り葉からのメタン放出

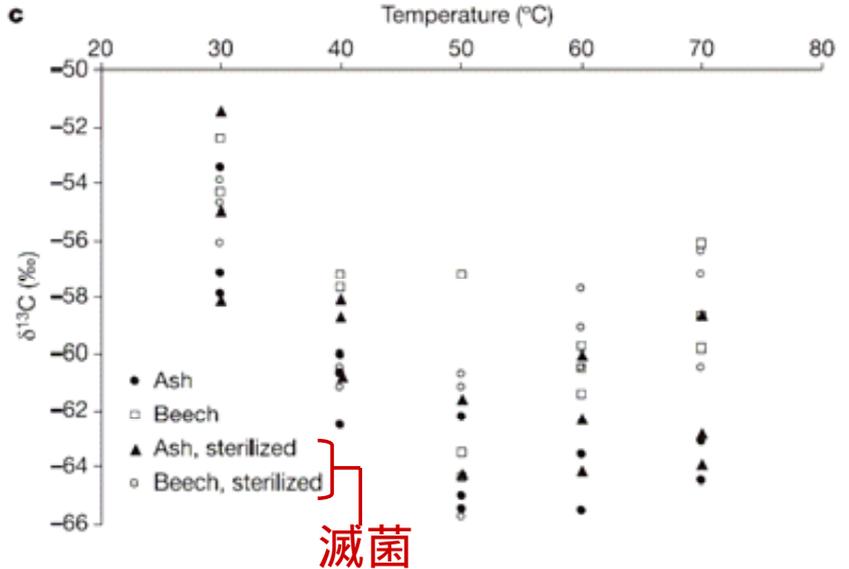
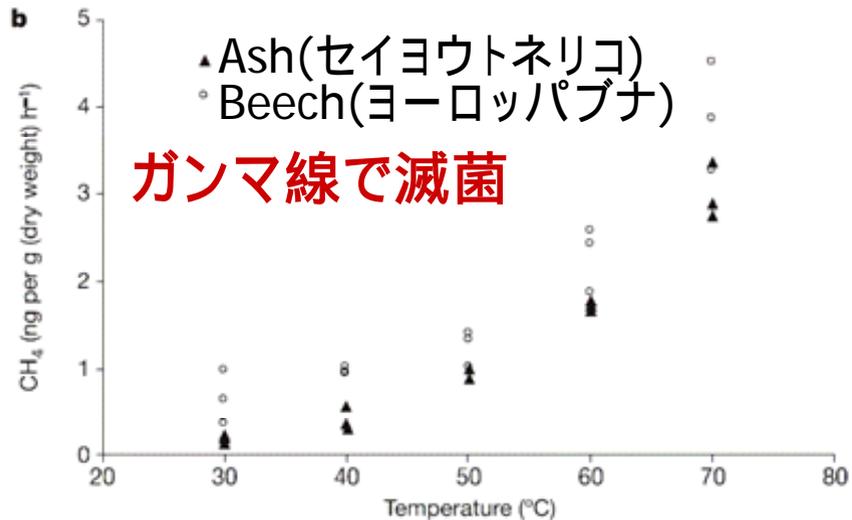
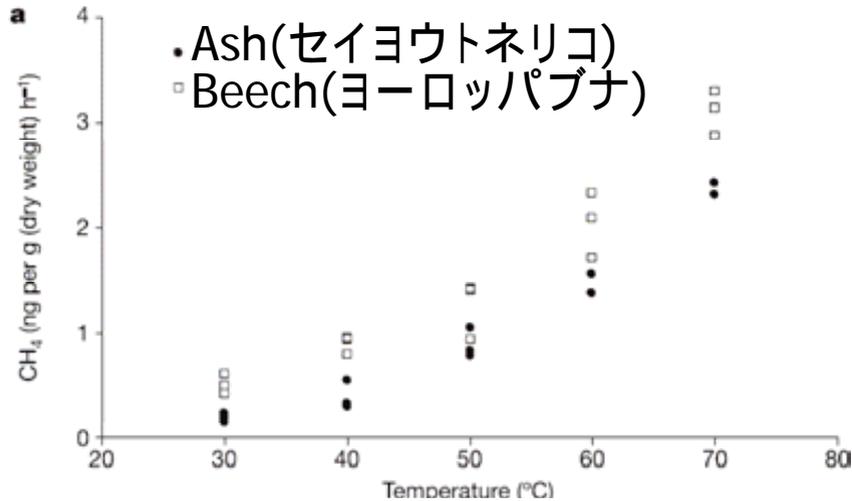
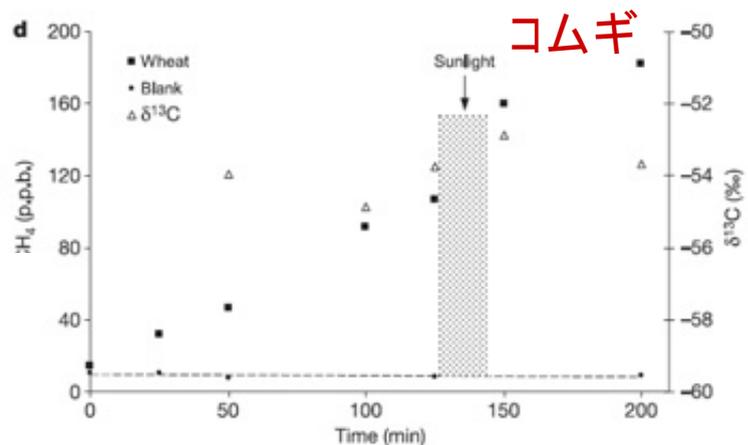
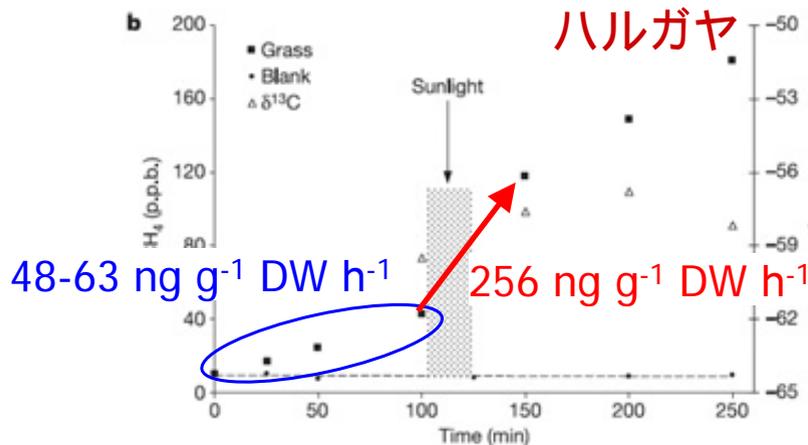
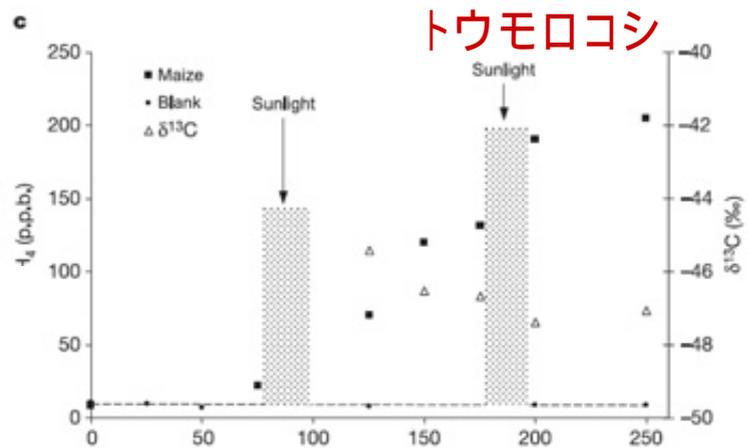
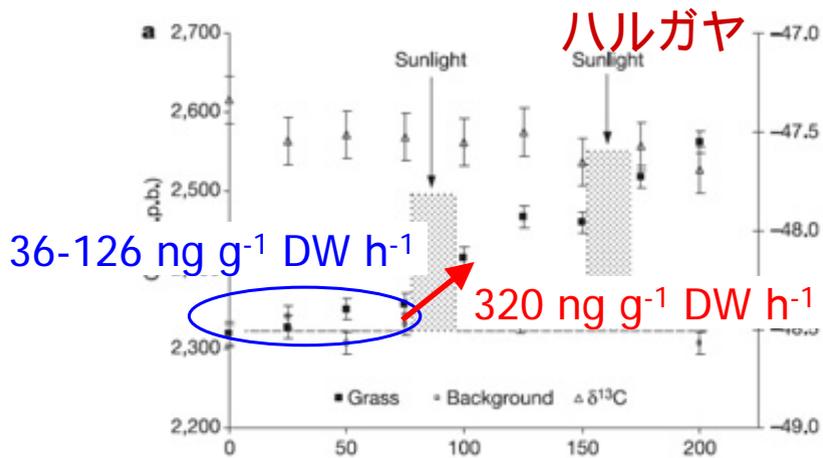


Figure 1 Release rates and isotopic signatures of CH₄ formed by leaf tissue incubated in the dark. (a) CH₄ release rates of air dried ash (*Fraxinus excelsior*) and beech leaves (*Fagus sylvatica*) in the temperature range 30–70 °C. b, c, CH₄ release rates (b) and ¹³CH₄ values (c) for ash and beech leaves with and without sterilization using ⁶⁰Co-γ-radiation. Data from tropical plant species are shown in Supplementary Fig. S3.

滅菌による違いはない

メタン放出にバクテリアなどの微生物は関与していない



光を当てることによってメタン放出量は増える

ハルガヤの場合

**(太陽光なし 36-126 ng g⁻¹ DW h⁻¹
太陽光あり 256-320 ng g⁻¹ DW h⁻¹)**

植物からメタンが出ている状況証拠

水耕栽培でもメタンが放出

メタン産生細菌が使う酢酸化合物を ^{13}C でラベルして
土壌に加えても、発生するメタンに ^{13}C は含まれない

植物体の有機物の $\delta^{13}\text{C}$ はC3植物 < C4植物であるが、
放出されたメタンの $\delta^{13}\text{C}$ も同様にC3植物 < C4植物

植物体の有機物がメタンになっている可能性を示唆

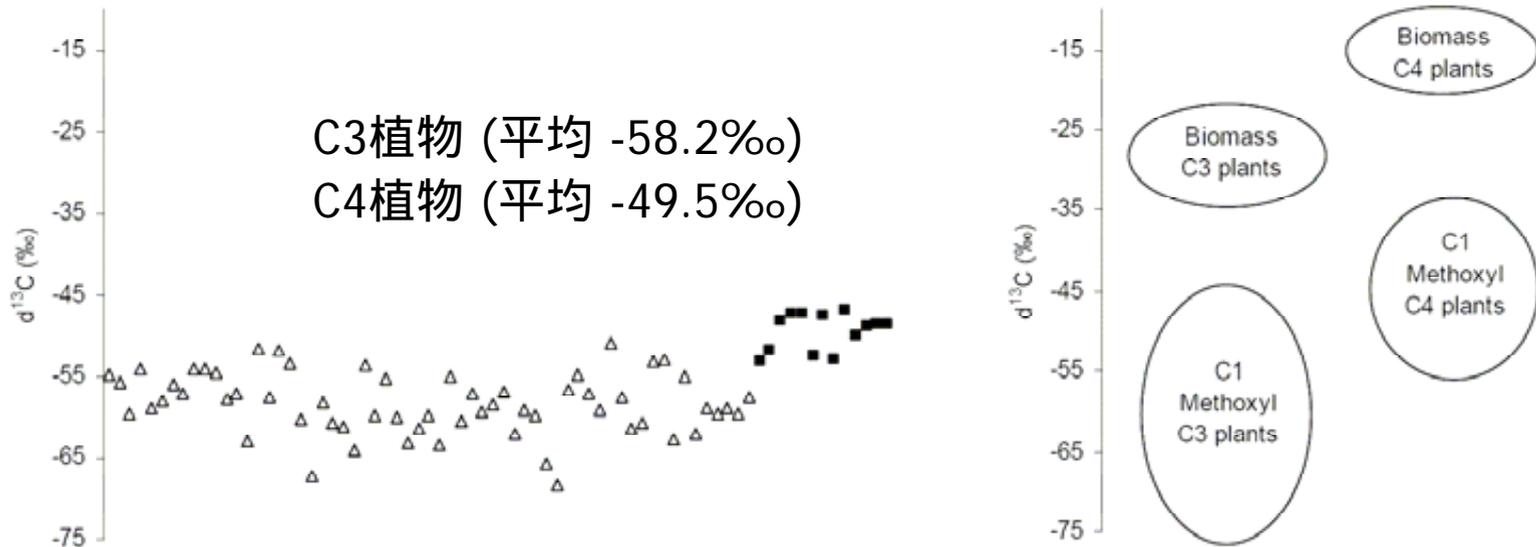


Figure S1 (a) Range of carbon isotope composition of CH_4 released from fresh and dried material of C3 (mean = -58.2‰ , $n=61$) and C4 plants (mean = -49.5‰ , $n=13$) at 30 and 40°C. (b) Range of $\delta^{13}\text{C}$ of bulk biomass and methoxyl groups of C3 and C4 plants (modified after Keppler et al.¹⁰)

メタンの前駆物質はペクチン？

メタン放出速度は温度の増加に対して
指数的に増加(右図)

メタン生成は酵素的な過程からではない
放出されるメタンの $\delta^{13}\text{C}$ が植物体の
平均 $\delta^{13}\text{C}$ より低い。ペクチンなどに
含まれるメトキシル基は $\delta^{13}\text{C}$ が低い。
(前ページ下図)

実際にペクチンからメタンが放出した(下図)

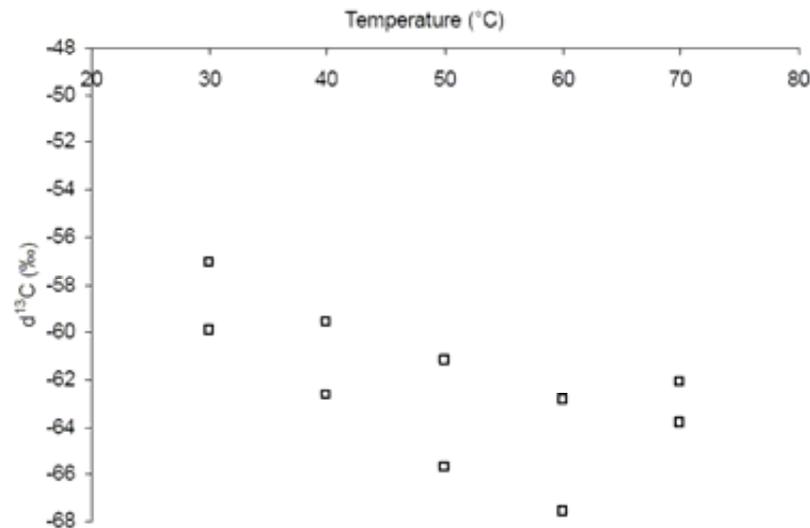
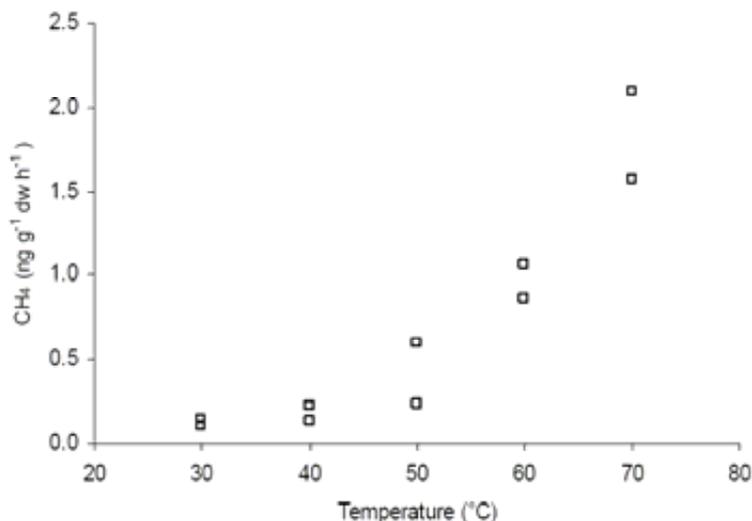
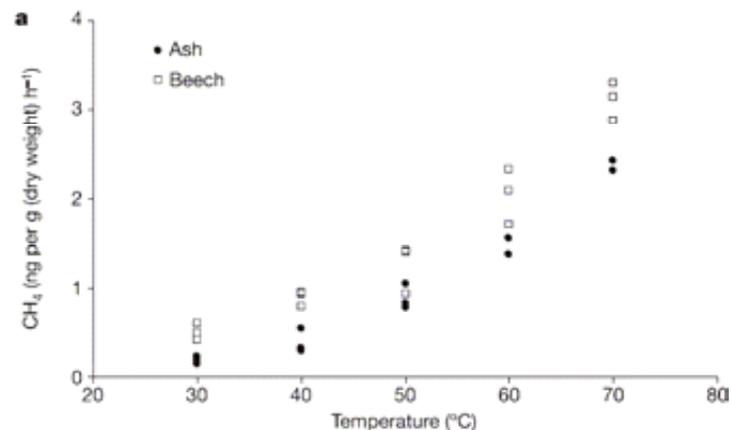


Figure S2 Release rates (a) and isotopic signatures (b) of CH₄ formed by incubating apple pectin (6% methoxyl content) in the temperature range 30 to 70°C.

全球レベルでの植物からの年間メタン放出量の推定結果

Table 1 | Estimated annual global emissions of CH₄ by living plants and leaf litter

Vegetation type/biome	Season length* (d)	NPP† (Pg C yr ⁻¹)	Sunshine hours‡ (h d ⁻¹)	Annual CH ₄ production§ low/mean/high (Tg yr ⁻¹)
Living biomass				
Tropical forests	365	21.9	8	33.2/78.2/123
Temperate forests	250	8.1	6	7.1/17.7/ 28.4
Boreal forests	150	2.6	4	1.1/3/4.1
Mediterranean shrublands	200	1.4	8	1.2/2.7/4.3
Tropical savannas and grasslands	200	14.9	8	12.4/29.2/45.9
Temperate grasslands	150	5.6	6	2.9/7.4/11.8
Deserts	100	3.5	10	1.7/3.8/5.9
Crops	200	4.1	8	2.9/7.2/11.5
Total		62.1		<u>62.3/149/236</u>
Leaf litter¶				
	Period# (d)	NPP† (Pg C yr ⁻¹)	Sunshine hours (h d ⁻¹)	
Tropical forests	365	21.9	8	0.23/1.53/ 3.2
Temperate forests	90	8.1	6	0.02/0.12/0.25
Boreal forests	60	2.6	4	0.01/0.02/0.05
Mediterranean shrublands	180	1.4	8	0.01/0.05/0.1
Tropical savannas and grasslands	365	14.9	8	0.16/ 1/2.1
Temperate grasslands	90	5.6	6	0.01/0.08/0.18
Deserts	365	3.5	10	0.04/0.28/0.56
Crops	90	4.1	8	0.01/0.07/0.15
Total		62.1		0.49/3.2/6.6

*Estimated.

†Data from ref. 13.

‡Estimated hours of sunshine per day during vegetation period.

§For calculation, see Methods.

|| Low (high) estimates are derived as mean of the CH₄ emission rates – (+) 1σ, value for the mean is similar to the median.

¶ Emissions measured by detached leaf tissue (fresh and dried) are considered to reflect those from leaf litter.

Estimated period of plant decay with similar ambient temperatures as in our experiments.

陸上植物からのメタン放出量 62-236 Tg year⁻¹

リターからのメタン放出量 1-7 Tg year⁻¹

メタンの放出源と消失源 (Lowe, 2006; IPCCのデータより)

a

(単位: Tg year⁻¹)

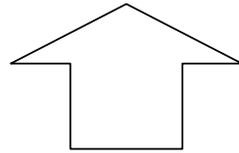
Identified methane sources		Estimates ⁸	Range of estimates ²
Total wetlands	湿地	145	92-237
Rice agriculture	コメ生産(水田)	60	40-100
Ruminant animals	反すう動物	93	80-115
Termites	シロアリ	20	20-20
Biomass burning	バイオマス燃焼	52	23-55
Energy generation	エネルギー生産	95	75-110
Landfills	埋め立て	50	35-73
Ocean	海洋	10	10-15
Hydrates	メタンハイドレート	5	5-10
Total identified sources		530	500-600

ケプラーらの推定メタン放出量: 62-236 Tg year⁻¹
これまでの合計値の10-30%に相当

推定の上限に近い場合、森林は

CO₂吸収による温暖化抑制 < CH₄放出による温暖化促進

- ・熱帯林の上空で高濃度のメタンが観測される原因
- ・1990年以降、大気メタン濃度の増加が鈍化した原因



植物からのメタン放出で説明できる

本研究に関する議論

本当に植物体からメタンが出ているのか？

仮に出ていたとしても、森林が温暖化を促進する程、メタンを放出しているのか？

- ・ほとんどの反論論文はスケールアップについて
- ・時期尚早

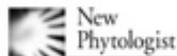
本当に植物体からメタンが出ているのか？

循環型の実験系で
実質的なメタンの放出は
見られなかった

と結論付けているが、..

In their experiment, Keppler *et al.* (2006) made use of relatively small closed cuvettes, which results in a continuous decline in CO₂ and an increase in relative humidity, air temperature and especially leaf temperature, as well as an accumulation of methane. Under these conditions the emission rate for detached leaves of basil, wheat and maize were similar to those measured in this study. However, they observed

Kepplerらは小さな閉鎖系チャンバーを使っていたため、メタンの蓄積とともに、CO₂濃度の低下や湿度・温度(特に葉温)の増加が起こる。本研究においても、そのような環境下では、バジル、コムギおよびトウモロコシの切り葉からメタン放出が観測された。



Research

Rapid report

No evidence for substantial aerobic methane emission by terrestrial plants: a ¹³C-labelling approach

Author for correspondence:
Tom A. Dueck
Tel: +31 317475918
Fax: +31 317423110
Email: tom.dueck@wur.nl

Received: 19 March 2007
Accepted: 30 March 2007

Tom A. Dueck,¹ Ries de Visser,² Hendrik Poorter,³ Stefan Persijn,⁴ Antonie Gorissen,² Willem de Visser,¹ Ad Schapendonk,⁵ Jan Verhagen,¹ Jan Snel,¹ Frans J. M. Harren,⁴ Anthony K. Y. Ngai,⁴ Francel Verstappen,¹ Harro Bouwmeester,¹ Laurentius A. C. J. Voensenek³ and Adrie van der Werf¹

¹Plant Research International, PO Box 16, 6700 AA, Wageningen, the Netherlands; ²IsoLife, PO Box 349, 6700 AH, Wageningen, the Netherlands; ³Plant Ecophysiology, Utrecht University, PO Box 800.84, 3508 TB, Utrecht, the Netherlands; ⁴Molecular & Laser Physics, Radboud University, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen, the Netherlands; ⁵Plant Dynamics, Englaan 8, 6703 EW, Wageningen, the Netherlands

本当に植物体からメタンが出ているのか？

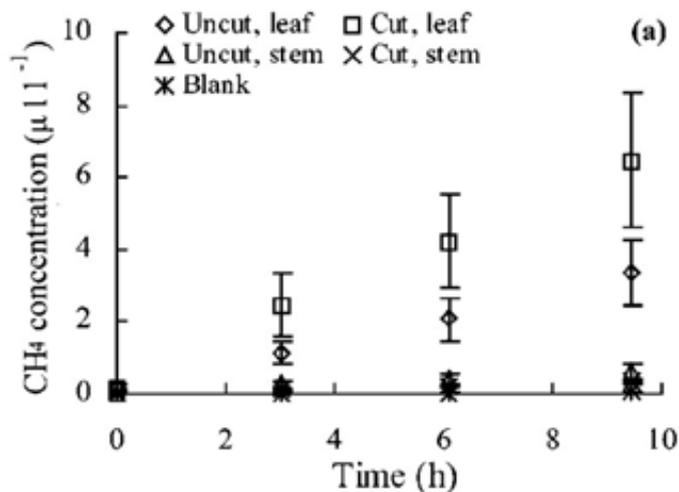
石塚・高橋 (2006)

表-1 各処理区の平均メタン生成速度

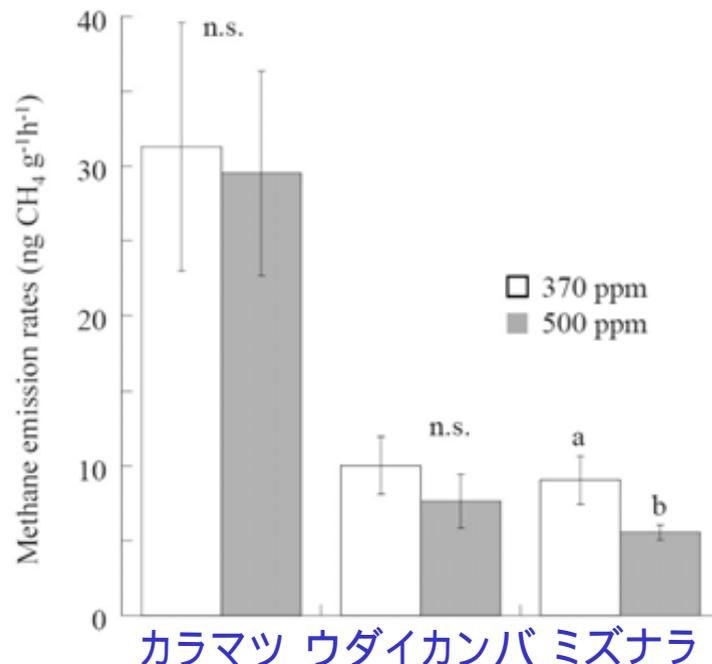
	光なし	光あり
スギ	5.6	39.1
シラカシ	6.2	22.6

単位は $\text{ng CH}_4 \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$

Wang et al. (2008) 内モンゴルの草本と低木



Kitaoka et al. (2007) FACEの個体で測定



**ケプラーらと同程度の
メタン放出を確認**

Methoxyl groups of plant pectin as a precursor of atmospheric methane: evidence from deuterium labelling studies

Frank Keppler¹, John T. G. Hamilton², W. Colin McRoberts², Ivan Vígano³, Marc Braß³ and Thomas Röckmann³

¹Max-Planck-Institute for Chemistry, Joh.-Joachim-Becher-Weg 2, 55128 Mainz, Germany; ²Agri-Food and Biosciences Institute, Newforge Lane, Belfast BT9 5PX, UK; ³Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, Utrecht University, Princetonplein 5, 3584CC Utrecht, the Netherlands

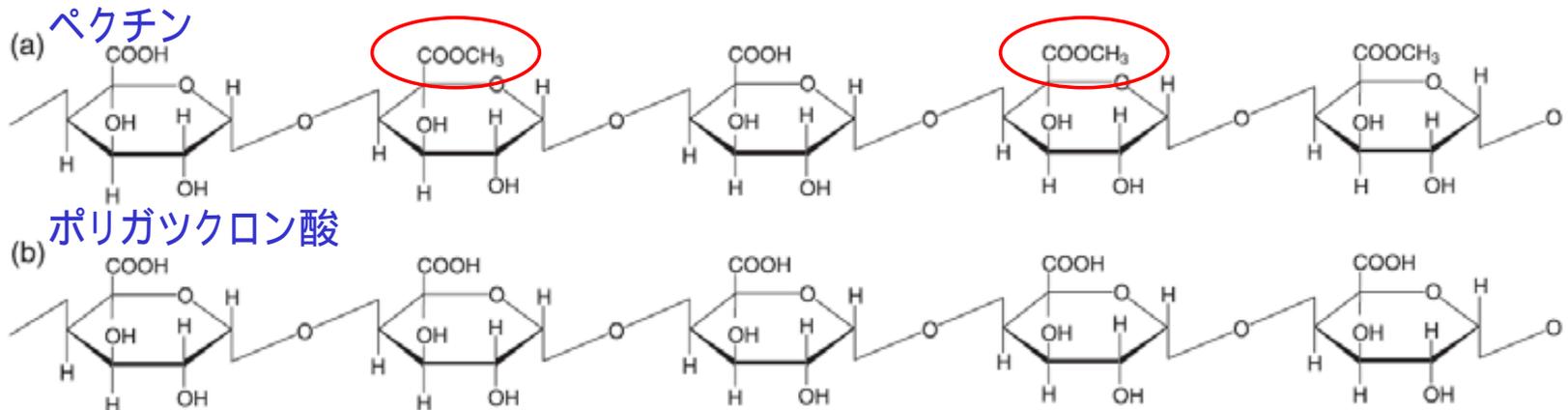
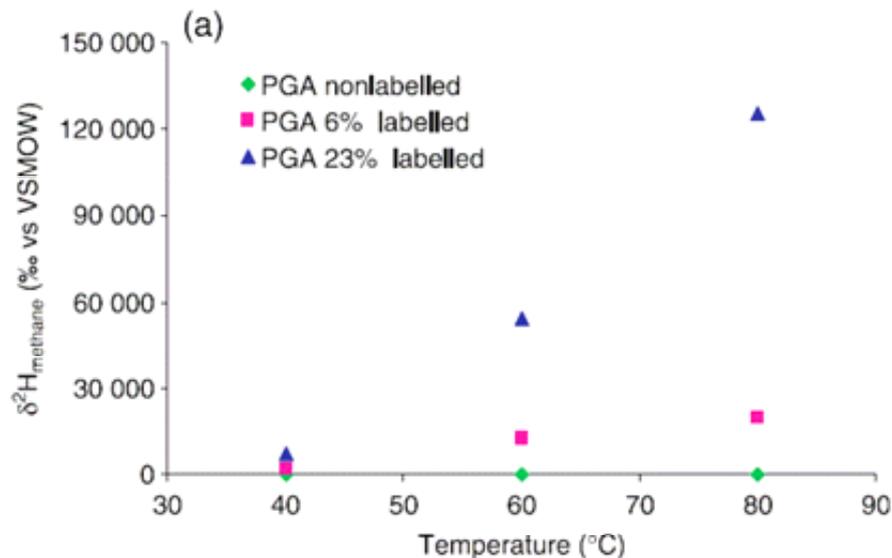


Fig. 1 Chemical structure of pectin (a) and polygalacturonic acid (PGA) (b).

ポリガットロン酸に重水素でラベルしたメトキシル基(-OCH₃)を付けて、それからのメタン放出とそのメタンに含まれる重水素を調べた

メチルエステル化したポリガラクトロン酸からメタンが放出した！

	Emission rate (ng g ⁻¹ DW h ⁻¹)	
PGA untreated	2.6	メチル エス テル 化
PGA methyl-esterified 0% label	18	
PGA methyl-esterified 6% label	16	
PGA methyl-esterified 23% label	15	



<その他>

- ・温度が高い方が放出速度は高い(40 < 80)
- ・UVランプの照射により放出速度が顕著に増加
(照射時間が長くなると放出速度が大きくなる)

まとめ

好気的な環境下においても、条件が整えば植物体からメタンが放出される。

今後はその発生量および発生機構に関するさらなる研究が必要である。