

令和 2 年 6 月 20 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03834

研究課題名(和文) 湿地土壌からの樹木を介したメタン放出：中高緯度3地域での変動要因と放出機構の解明

研究課題名(英文) Tree-mediated methane emissions from wetland soils: controlling factors and mechanisms of CH₄ emission in the mid- and high-latitude regions.

研究代表者

寺澤 和彦 (TERAZAWA, Kazuhiko)

東京農業大学・生物産業学部・教授

研究者番号：30414262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)： 湿地における樹木を介したメタン放出に関して、中緯度地域(北海道・東北)の湿地林での調査を行い、樹木の幹からのメタン放出量の変動に関わる環境要因や樹種による違いを明らかにするとともに、放出量推定モデルの作成と検証を行った。メタンの炭素安定同位体比の分析を行い、放出量等との関係を明らかにした。高緯度地域(アラスカ、エストニア)での調査から、針葉樹の幹から微量のメタン放出が認められるが、湿地全体からのメタン放出における樹木の寄与は小さいことを示した。樹体内でのメタン輸送の様式、経路、速度等について実験から新知見を得た。樹木の幹や根の樹皮のガス輸送に関わる木材組織の解剖学的特徴を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

湿地の樹木からのメタン放出を地球全体のメタン収支の中に位置づけて正当に評価するには、樹木からのメタン放出量の時空間的な変動要因と放出メカニズムを明らかにし、それらの要素を組み込んだモデルを作成して、生態系から地域、さらに地球全体へスケールアップして放出量を推定する必要がある。

本研究では、中緯度地域での樹幹メタン放出量の解析を行って変動要因を明らかにするとともに、実験を通じて放出メカニズムの一端を明らかにした。また、観測例の少ない高緯度地域の湿地での樹幹メタン放出の実態を示した。これらの研究成果は、湿地生態系における樹木を介したメタン放出機構の理解の進展とその全球的評価に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)： In the temperate wetlands in northern Japan, effects of environmental variables on stem methane (CH₄) flux were statistically analyzed and several responsible factors, such as soil and climatic ones, were detected. Difference in stem CH₄ flux between two coexisting tree species was clearly observed. In the boreal wetlands in Alaska and Estonia, a small amount of CH₄ emission was detected from stems of the dominant conifer species of each region, but the contributions of trees to the overall CH₄ emissions from the wetland ecosystems were estimated to be small.

Field and laboratory experiments gave us some new insights on the underlying mechanisms of tree-mediated CH₄ emission, such as source, pathway, and diffusivity of CH₄ in the tree stem. Anatomical features of tree stems and roots were microscopically observed with special attention to the function of internal gas transport for several temperate hardwood species, and some possible structures were found in a part of secondary phloem.

研究分野：森林圏科学

キーワード：温室効果ガス メタン 湿地 樹木 ハンノキ ヤチダモ 針葉樹 幹

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

強力な温室効果をもつメタン (CH_4) の大気中の濃度は、現在では工業化 (1750 年) 以前の 250% 以上に増加しており、効果的な温暖化対策のためにもその発生源ごとの放出量の推定精度向上と放出機構の解明が急がれている。メタンの最大の発生源である湿地からのメタン放出機構については、1980 年代から主に水生植物や湿地性草本を対象とした研究が行われ、土壌で生成されたメタンは、植物の根や茎の通気組織 (管状に連結した細胞間隙)、土壌/水中の拡散、気泡、の 3 つの経路で大気に放出されることが明らかにされてきた。このうち、植物の通気組織を通じたメタン放出量が、湿地のメタン総放出量の 90% 以上を占める場合もある。

一方、世界の湿地面積の約 60% には樹木が生育しているにもかかわらず、比較的最近まで、湿地からのメタン放出に関する研究において樹木の存在は考慮されてこなかった。本課題の研究代表者らは、北海道の湿地に生育するヤチダモの幹から相当量のメタンが出ていることを明らかにし、樹木も湿地土壌からのメタン放出経路となることを世界で初めて野外観測から示した (Terazawa *et al.* 2007)。その後、北海道、ヨーロッパ、東南アジア、アマゾンなどの湿地林で樹木の幹からのメタン放出量の観測や制御要因などに関する研究が進められてきた。湿地のメタンのフラックス (単位面積・時間あたりの移動量) 全体に占める樹幹からの放出フラックスの寄与がかなり大きいことも明らかにされ (Pangala *et al.* 2013, 2015, 2017)、樹木を介したメタン放出は全球 (地球全体) のメタン収支においても無視しえないと認識されるに至っている。

以上のように、湿地からのメタン放出における樹木からの放出の重要性が指摘されているが、樹幹メタン放出量には大きな時空の変動がみられ (たとえば Terazawa *et al.* 2015)、放出量の変動に関わる外的・内的要因と放出機構のさらなる解明が求められている。また、全球レベルでの評価という視点では、観測例の少ない高緯度地域での実態把握も欠かせない。さらに最近、樹木の幹の内部にメタン発生源 (微生物によるメタン生成) が存在する可能性が指摘されていることから (Covey *et al.* 2012, Wang *et al.* 2016)、湿地樹木から放出されるメタンの生成場所 (土壌か樹木内か) についても改めて確認する必要がある。いまだ特定されていない樹木内部でのメタン輸送経路についても木材解剖学的な視点で検討する必要がある。

2. 研究の目的

- (1) 研究代表者らがこれまで研究対象としてきた国内の冷温帯湿地林において、樹幹メタン放出量の観測を継続または新規に実施し、放出量の時間的・空間的変動に関わる要因を解明する。
- (2) 樹木からのメタン放出に関する報告が少ない海外の亜寒帯の湿地林を対象として、優占樹種の樹幹メタン放出量の観測を行い、その実態を明らかにするとともに変動要因を検討する。
- (3) 湿地の樹木の幹から放出されるメタンが土壌由来であることを実証するとともに、樹木の内部でのメタン輸送経路に関する実験および木材解剖学的な検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 冷温帯湿地林におけるフラックス観測と変動要因の解析

網走ハンノキ林

北海道 (網走市) の瀧沸湖南岸の湿地林 (北緯 43 度 55 分、東経 144 度 23 分、標高 3m) において、湖岸からの距離や地下水位が異なる 3 つの調査地 (サイト Y、M、K) を設定した。ハンノキとヤチダモの林冠木の樹幹基部からのメタン放出量を 2017 年 6~12 月の期間に 2 か月ごとに測定した。地下水位、地下水の溶存メタン濃度と主要イオン濃度も測定した。

サイト Y では、2015~2017 年の樹幹メタン放出量と環境要因のデータを用いて一般化線形モデル (GLM) によってメタン放出量に及ぼす環境要因の影響を検討した。さらに、樹幹メタン放出量を 2018 年 5~9 月に 1~2 週間間隔で観測するとともに、地下水位を人為的に上昇させる野外操作実験を行い、上記の GLM 解析で得られた樹幹メタン放出量の推定モデルの検証を行った。

サイト Y では、樹幹放出メタンと地下水溶存メタンの炭素安定同位体比 ($^{13}\text{C}-\text{CH}_4$) を 2017 年 8 月に測定し、2016 年の測定結果も合わせてメタンの生成や放出の過程について考察した。

安比高原のブナ林とヤチダモ・サワグルミ林

岩手県 (八幡平市) の安比高原のブナ林 (北緯 40 度 00 分、東経 140 度 56 分、標高 820m) とヤチダモ・サワグルミ林 (北緯 40 度 00 分、東経 140 度 55 分、標高 750m) において、樹幹基部のメタン放出量と地表面のメタンフラックスを 2018 年と 2019 年の 5~10 月に毎月測定した。ブナ林では、立地間での比較のために沼の水際と斜面から調査木を選定した。ヤチダモ・サワグルミ林では、樹種間での比較を目的として、隣接する両種を対として調査木を選定した。

ガス試料のメタンの濃度と炭素安定同位体比の分析

メタン濃度は、現地に持参したポータブル型メタン分析計 (LGR 社製) または森林総合研究所 (つくば市) の FID 検出器付きガスクロマトグラフ (島津製作所 GC-14BPTF) により測定した。

炭素安定同位体比 ($^{13}\text{C}-\text{CH}_4$) は、研究分担者の常田が開発した農研機構・高度解析センターの連続フロー型安定同位体比質量分析システム (Tokida *et al.* 2014) を用いて分析した。

(2) 亜寒帯湿地林におけるフラックス観測と変動要因の解析

アラスカ内陸部のトウヒ林

米国アラスカ州のアラスカ大学フェアバンクス校 (UAF) カリブポーカークリーク試験地 (以下 CPCRW) と UAF 構内のスミス湖の湖畔林 (以下 SL 湖畔林) で調査を行った。不連続永久凍土

地帯に位置し、地表下の数10cmまでの深さに凍土が存在する。クロトウヒを主体とする針葉樹が優占し、地表面は厚い有機物層と蘚苔類、地衣類に覆われている。CPCRWでは、湿地(北緯65度09分、西経147度29分、標高225m)と斜面(北緯65度09分、西経147度30分、標高280m)の2か所に調査地を設定し、クロトウヒとカンバを調査木とした。SL湖畔林(北緯64度52分、西経147度52分、標高150m)では、クロトウヒ、シロトウヒ、カンバを調査木とした。樹幹基部と地表面のメタンフラックスを2017年の7月と9月、2018年の5月、6月、8月に測定した。

アラスカの南北縦断観測

緯度に対応した環境傾度と樹幹メタン放出量の関係を検討するため、アラスカ州の北緯61~68度(南北の距離約1300km)の湿地10か所において、クロトウヒまたはシロトウヒを対象として、樹幹基部からのメタン放出量と地表面メタンフラックスを2019年7月に測定した。

エストニアの泥炭湿原

エストニア共和国タリン市近郊のヴィル湿原(北緯59度28分、東経25度39分、標高60m)で調査を行った。降水涵養性湿原で、ヨーロッパアカマツの小径木が疎生し、地表面はミズゴケに覆われている。水分環境および植生の違いを考慮して、湿原の外縁部の森林から中央部に至る長さ約500mの木道沿いに4か所の調査区を設定した。各調査区において、ヨーロッパアカマツの樹幹の基部および約1mの高さでの樹幹メタンフラックスを2018年と2019年の8月に測定した。地表面および湿原中央部の池の水面でのメタンフラックスも測定した。

(3) 樹幹から放出されるメタンの生成場所と輸送経路

炭素安定同位体による標識メタンの注入実験

土壌中のメタンが樹幹から放出されることを実証するために、北海道の湿地林(上記のサイトYの近傍)において、炭素安定同位体による標識メタン($^{13}\text{C}-\text{CH}_4$)を用いた野外実験を2018年10月に行った。ヤチダモ立木の周囲の土壌に $^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ を注入した後、樹幹基部から放出されるメタンを経時的に捕集し、炭素安定同位体比($^{13}\text{C}-\text{CH}_4$)の時間的な変化を調べた。

樹幹基部切断実験

樹幹内のメタン輸送経路および樹幹内部でのメタン生成の可能性を検討するために、上記サイトYの近傍において、ヤチダモを対象として、樹幹メタン放出量に及ぼす樹幹基部の段階的な切断の効果を2018年7~8月に調べた。

樹幹内のメタン拡散実験

樹幹内でのメタン拡散における樹種間差や幹の高さによる違いを検討するために、冷温帯の湿地性広葉樹(ハンノキ、ヤチダモ、ハルニレ)と山地性広葉樹(ミズナラ、シラカンバ、エゾノバッコヤナギ)を対象として、幹試料を用いたガス拡散実験を2017年7~11月に行った。

(4) 樹木内部におけるメタンの輸送経路の木材解剖学的検討

網走ハンノキ林、安比高原のヤチダモ・サワグルミ林、森林総合研究所東北支所(盛岡市)構内において、ハンノキ、ヤチダモ、ハルニレ、サワグルミの幹の基部や地表に露出した水平根から試料を採取した。実験室において、スライディングミクロトームを用いて約30 μm 厚の木口面切片および柾目面切片を作成した。サフランin・アストラブルー二重染色を行い、永久プレパラートを作成して光学顕微鏡による木材組織の観察を行った。一部の試料については、高分解能走査型電子顕微鏡(FE-SEM; JSM-6310F)を用いて観察を行った。

4. 研究成果

(1) 冷温帯湿地林におけるフラックス観測と変動要因の解析

網走ハンノキ林

樹幹メタン放出量とその季節変動には3調査地間で違いがみられた。湖岸から遠く汽水の影響を受けないサイトYとMでは、8月にピークをもつ季節変動を示し、ピーク時の放出量(ハンノキの平均値)はそれぞれ484 $\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ と4,035 $\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であった。一方、湖岸に近いサイトKでは、樹幹メタン放出量は調査期間を通じて1~3 $\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ と小さかった。調査地間での違いには、地下水位、溶存メタン濃度、硫酸イオン濃度などが関与することが示唆された。

一般化線形モデル(GLM)による解析から、サイトYの樹幹メタン放出量には、地温、地下水位、気温、大気圧が関与することが示された。これらの要因による樹幹メタン放出量の推定モデルを2018年の観測結果にあてはめたと、地下水位上昇処理に対応したメタン放出量の急激な増加も含めて、樹幹メタン放出量の季節変化をほぼ再現することができた(図1)。

樹幹放出メタンと地下水溶存メタンの $^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の平均値は、2016年はそれぞれ-65.1‰、-61.9‰、2017年はそれぞれ-69.6‰、-67.3‰であった。メタン放出量および溶存メタン濃度が大きいほど $^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ が高い傾向がみられた。

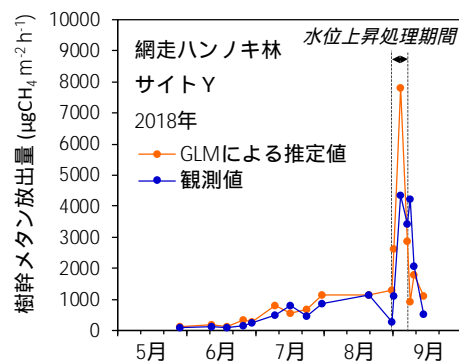


図1 樹幹メタン放出量に及ぼす水位上昇処理の影響および一般化線形モデル(GLM)による推定値の検証結果

安比高原のブナ林とヤチダモ・サワグルミ林

ブナ林では、沼の水際では樹幹からメタン放出（平均 $24\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、最大 $55\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）がみられたが、斜面では樹幹からの放出は検出されなかった。地表面メタンフラックスにおいても場所による違いが明瞭にみられ、水際では大きな放出（最大 $1,271\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）を示したのに対して、斜面では常に吸収（平均 $-92\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）であった。

ヤチダモ・サワグルミ林では、ヤチダモでは常に樹幹からメタン放出（ $4 \sim 581\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）がみられたが、サワグルミでは検出限界以下またはわずかな放出（最大 $16\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）であった。地表面メタンフラックスは、2018 年は吸収～放出（ $-39 \sim 72\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）、2019 年はすべての地点で吸収（ $-11 \sim -56\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）であった。

この節のまとめ（国内外の研究に与えるインパクトや今後の課題）

網走ハンノキ林では、樹幹メタン放出量の時間的・空間的変動に關与する環境要因を明らかにした。GLM 解析で抽出された変動要因による放出量推定モデルの検証結果も良好であった。今後、これらの環境要因が樹幹メタン放出量に關与するメカニズムを明らかにすることによって、プロセスベースのモデル（現象の生起過程を再現したモデル）への発展が期待できるだろう。樹幹放出メタンの $^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の測定例は世界的にも限られており、今回得られた値は、メタンの生成から樹木を経由した放出に至るプロセスの理解の進展に寄与すると考えられる。

東北地方の安比高原では、北海道の調査地には分布しない広葉樹 2 種（ブナ、サワグルミ）を加えて調査した結果、メタン放出量には明瞭な樹種間差がみられることや、湿地の優占種ではないブナでも水際のような過湿環境では樹幹からメタンを放出することなどの新発見が得られた。今後は、樹種間差を生む要因（根系分布や木材組織構造など）を明らかにする必要がある。

（2）亜寒帯湿地林におけるフラックス観測と変動要因の解析

高緯度地域でのメタンフラックス観測の結果の概略を表 1 に示す。

アラスカ内陸部のトウヒ林

CPCRW では、湿地と斜面の両方で、クロトウヒとカンバの樹幹からメタン放出がみられた。樹幹メタン放出量は平均で $2\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 未満ときわめて小さく、調査地や樹種による違いはみられなかった。一方、地表面メタンフラックスは、湿地では常に放出、斜面では常に吸収であった。

SL 湖畔林では、トウヒ属 2 種とカンバの樹幹から微量のメタン放出がみられ、トウヒでは CPCRW より放出量が大きかった。一方、地表面メタンフラックスは、トウヒ周辺で放出、カンバ周辺でわずかな吸収であった。

アラスカの南北縦断観測

全調査地でトウヒの樹幹からメタン放出がみられたが、放出量は、 $100\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ を超える大きな値を示した 1 か所（地点 No.9）を除けば $3\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 以下と小さかった。地表面メタンフラックスは、吸収と放出の両方がみられ、樹幹メタン放出量との関係はみられなかった。

エストニアの泥炭湿原

ヨーロッパアカマツの樹幹から微量のメタン放出がみられた。地表面メタンフラックスは、記録的な乾燥年の 2018 年は吸収、2019 年は湿原中央部の 2 調査区で放出、外縁部の 2 調査区で吸収であった。池から大きなメタン放出がみられ、平均値は 2018 年が $1,117\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、2019 年が $136\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ であった。各放出源（樹幹、地表面、池）の面積を考慮すると、湿原全体のメタンフラックスにおける樹幹の寄与はきわめて小さいことが示唆された。

この節のまとめ（国内外の研究に与えるインパクトや今後の課題）

高緯度地域の針葉樹を主とする湿地林での樹幹メタン放出の実態を明らかにするために、アラスカとエストニアで調査を行い、両地域の優占樹種でメタン放出が確認された（表 1）。樹幹メタン放出量は $0 \sim 9\mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 程度と全般的に微量であり、冷温帯の湿地林での放出量（ $10^1 \sim 10^4 \mu\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ）に比べると 1～4 ケタ小さかった。高緯度地域の針葉樹の樹幹メタン放出量

表1 高緯度地域における樹幹と地表面のメタンフラックス観測結果

地域	調査地	位置	観測年	観測月	樹種**	平均メタンフラックス*		
						樹幹	地表面	池の水面
アラスカ	CPCRW	湿地	2017/2018	5～9月	Pm	-1.6～1.1	44～187	-
		斜面			Pm, Bp	-0.6～1.4	-13～-40	-
	SL湖畔林	湖畔	2017/2018	5～9月	Pm, Pg Bp	0～8.7 0～1.4	-7～85	-
	南北縦断観測	10か所	2019	7月	Pm, Pg	***0.4～2.6	***-57～17	-
エストニア	ヴィル湿原	中央部	2018	8月	Ps	0.5～0.8	-26～-41	1,117
		外縁部				-1.2～0.3	-27～-96	-
		中央部	2019	8月	Ps	0.5～0.9	2～68	136
		外縁部				0.1～0.2	-6～-84	-

*フラックスは、正の値が放出、負の値が吸収を示す。

** Pm（クロトウヒ）、Pg（シロトウヒ）、Bp（カンバ）、Ps（ヨーロッパアカマツ）

***大きな放出のみられた 1 か所（地点 No.9）を除く。

の測定例は限られているが、フィンランドのヨーロッパアカマツ林での樹幹メタン放出量が $1\mu\text{gCH}_4\text{ m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ 未満であったという本研究とほぼ同様の結果の報告がある (Machacova *et al.* 2016)。今後さらに多様な立地・気象条件での観測を行い、高緯度地域での樹幹メタン放出の全容を明らかにするとともに、放出メカニズムの点から熱帯や温帯との比較を行う必要がある。

(3) 樹幹から放出されるメタンの生成場所と輸送経路

炭素安定同位体による標識メタンの注入実験

ヤチダモの樹幹から放出されるメタンの炭素安定同位体比 ($^{13}\text{C}-\text{CH}_4$) は、周辺土壌に $^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ を注入した後に急上昇し、一定期間高い値を維持した。この結果は、土壌中のメタンが確かに樹幹から放出されることを示す。さらに、実験時 (10 月) には落葉しており蒸散による樹幹内の水移動はなかったと考えられるため、メタンは拡散によって樹体内を移動したと考えられた。

樹幹基部切断実験

ヤチダモの樹幹メタン放出量は、樹幹基部の樹皮剥皮と木部の段階的切断によって次第に低下した。この結果は、樹幹放出メタンの起源が土壌にあることの傍証を示すとともに、メタン輸送経路が樹皮と木部の両方にあることを示唆する。さらに、樹幹基部を完全に切断した後も一定期間メタン放出が続いたことから、樹幹内部でのメタン生成の可能性も考えられた。

樹幹内のメタン拡散実験

樹幹内でのメタンの拡散のしやすさには樹種による違いがみられた。湿地性樹種と山地性樹種の比較では両者に明瞭な違いはみられなかったが、軸方向 (幹の縦方向) の拡散に関しては散孔材樹種が環孔材樹種より拡散しやすい傾向がみとめられた。湿地性樹種 (ハンノキ、ヤチダモ) では、樹幹の基部に近いほど拡散しやすい傾向がみられた。

この節のまとめ (国内外の研究に与えるインパクトや今後の課題)

土壌から樹木の体内 (根と幹) を通過して大気に至るといふ「樹木を介した」メタン放出経路について、3 種類の実験を通じてこの放出プロセスの存在の確証を得るとともに、樹体内でのメタン輸送の様式、経路、速度等について新たな知見が得られた。これらの知見は、樹幹メタン放出量のプロセスベースのモデルの作成のための重要な情報を提供する。今後、より定量的なデータを得ることによって、モデルの構築とパラメータ推定が進展することが期待される。

(4) 樹木内部におけるメタンの輸送経路の木材解剖学的検討

今回の対象種は鱗片状樹皮を持ち、周皮と死滅した二次師部からなるリチドームを形成する。幹基部の樹皮の木口面観察から、皮目は放射組織の拡幅成長部に隣接する周皮に存在することが明らかとなった (図 2)。FE-SEM による木口面観察により、放射組織の拡幅成長部では細胞の配列が乱れ、比較的大きな細胞間隙が存在することが明らかになった。さらに、柾目面観察により、最内周皮に近い二次師部外層では、丸い皮層状の細胞が多く存在し、細胞間隙も確認された。根の樹皮の観察により、この球状の細胞は放射組織の拡幅成長部の細胞と一致した。これらの観察結果から、皮目に通じる放射組織の拡幅成長部には細胞間隙が存在し、メタンを含むガス輸送に関わる可能性が示唆された。ただし、これらの構造は樹木の生育場所に関わらず観察されたため、湿地の個体特有の構造ではないと考えられる。幹の基部や水平根の樹皮に通気組織は確認されなかった。

湿地性樹種は、今回観察された組織構造に加えて、幹基部の皮目の発達や水平根の地上への露出などの形態的な適応によって地上部 - 地下部間のガス交換を確保していると考えられ、土壌中のメタンはこのような経路を通じて地上部の皮目から放出されると考えられる。

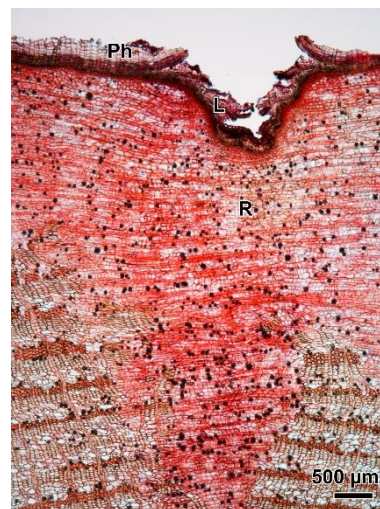


図 2 サワグルミの幹基部の樹皮の光学顕微鏡写真 (木口面)。放射組織の拡幅成長部 (R) に隣接する周皮 (Ph) に皮目 (L) が形成されている。

< 引用文献 >

- Covey *et al.* (2012) *Geophysical Research Letters* 39, L15705, doi: 10.1029/2012GL052361
- Machacova *et al.* (2016) *Scientific Reports* 6, 23410, doi: 10.1038/srep23410
- Pangala *et al.* (2013) *New Phytologist* 197: 524–531, doi: 10.1111/nph.12031
- Pangala *et al.* (2015) *Global Change Biology* 21: 2642–2654, doi: 10.1111/gcb.12891
- Pangala *et al.* (2017) *Nature* 552: 230–234, doi: 10.1038/nature24639
- Terazawa *et al.* (2007) *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2689–2692, doi:10.1016/j.soilbio.2007.05.013
- Terazawa *et al.* (2015) *Biogeochemistry* 123: 349–362, doi:10.1007/s10533-015-0070-y
- Tokida *et al.* (2014) *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 28: 2315–2324, doi: 10.1002/rcm.7016
- Wang *et al.* (2016) *New Phytologist* 211: 429–439, doi: 10.1111/nph.13909

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Barba Josep, Bradford Mark A., Brewer Paul E., Bruhn Dan, Covey Kristofer, van Haren Joost, Magonigal J. Patrick, Mikkelsen Teis Norgaard, Pangala Sunitha R., Pihlatie Mari, Poulter Ben, Rivas Ubach Albert, Schadt Christopher W., Terazawa Kazuhiko, Warner Daniel L., Zhang Zhen, Vargas Rodrigo	4. 巻 222
2. 論文標題 Methane emissions from tree stems: a new frontier in the global carbon cycle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 18~28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1111/nph.15582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 寺澤和彦・小川 舞・川和美香・阪田匡司・石塚成宏
2. 発表標題 ハンノキ湿地林における樹幹からのメタン放出量とその変動要因
3. 学会等名 第129回 日本森林学会大会（高知市、2018年3月28日）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiko Terazawa, Kenji Yamada, Tadashi Sakata, Shigehiro Ishizuka
2. 発表標題 Vertical patterns of CH4 emission along tree stems of <i>Alnus japonica</i> and <i>Fraxinus mandshurica</i>
3. 学会等名 12th International Symposium on Biogeochemistry of Wetlands (Coral Springs, FL, USA, April 24, 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺澤和彦・阪田匡司・常田岳志・山田健四・石塚成宏
2. 発表標題 北海道東部の泥炭湿地林における土壌メタンの放出動態
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会（2020年3月29日：名古屋市）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊陽子・関野一喜・森下智陽・寺澤和彦
2. 発表標題 湿地性樹木樹皮の通気に関わる組織構造の観察
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会（2020年3月17日：鳥取市）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	常田 岳志 (Tokida Takeshi) (20585856)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・主任研究員 (82111)	
研究分担者	渡邊 陽子 (Watanabe Yoko) (30532452)	北海道大学・農学研究院・研究員 (10101)	
研究分担者	阪田 匡司 (Sakata Tadashi) (50353701)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	森下 智陽 (Morishita Tomoaki) (90391185)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究協力者	クッティム マーティン (Kuttim Martin)	タリン大学・生態学研究所	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	キム ヨンウオン (Kim Yongwon)	アラスカ大学フェアバンクス校・国際極地研究センター	
連携 研究者	石塚 成宏 (Ishizuka Shigehiro) (30353577)	国立研究開発法人森林総合研究所・立地環境研究領域・研究室長 (82105)	