

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：23803

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281010

研究課題名(和文) 大気中重水濃度のモニタリング法の確立とファイトレメディエーション研究へのその応用

研究課題名(英文) Development of monitoring method of deuterium oxide in the atmosphere and its application to phytoremediation study using plants

研究代表者

谷 晃 (Tani, Akira)

静岡県立大学・食品栄養科学部・教授

研究者番号：50240958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：陽子移動反応質量分析計を用いて重水由来イオンとして $m/z$ 20と38を同定した。イオンカウント量から $m/z$ 20がより高感度に測定できることを明らかにし、水蒸気濃度による影響を受けるため、その補正式を求めた。根から吸収された重水の葉からの蒸散を測定し、植物体内の包括的な水移動速度を求め、同時に経根有機物質の葉からの蒸発をPTR-MSでモニタリングすることで、植物体内の物質移動性を水の移動性を基準に比較した。 $^{13}C$ でラベルしたトルエンを用いることで、経根吸収されたトルエンは根に最も存在し、葉へ輸送される量は少ないこと、トルエンの一部は最終的に二酸化炭素として放出されることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Using proton-transfer reaction mass spectrometry (PTR-MS),  $m/z$  20 and 38 were found to originate from deuterium oxide. Sensitivity analysis showed that  $m/z$  20 could provide lower detection limit. As humidity affect ion count rate of  $m/z$  20, an equation was determined to correct the ion count for humidity. Water including deuterium oxide and organic compounds was supplied to soil in a potted tree and, using the equation, volatiles from the leaves were able to be monitored and the transportation speed of the compounds from root to leaf were determined. Using  $^{13}C$  toluene, we found that a larger amount of toluene was remained in the root and least partitioned to leaf. Larger abundance of  $^{13}C$  was observed in the dark respiration of the leaves, suggesting that some portion of the toluene was finally decomposed into  $CO_2$ .

研究分野：植物大気環境学

キーワード：陽子移動反応質量分析計 トルエン 重水 ファイトレメディエーション 経根吸収 蒸散

## 1. 研究開始当初の背景

気候変動に伴う乾燥ストレスの増大により、植物体内の水移動性を精度よく評価することの重要性が増している。この水移動性は、蒸散要求度と根の吸水力、植物内水移動抵抗のバランスによって左右される。これまで、この水移動性を評価する手法として、熱を加えて茎や幹中の水移動を測定するヒートパルス法や熱収支法が用いられてきた。しかし、熱を負荷する一地点のみの水移動速度が推定されるだけで、細根から吸収された水が一次根を通り、主茎や幹を移動し、枝に輸送され、葉の内部を移動し、気孔から蒸散されるまでの包括的な移動速度を測定する手法はなかった。つまり、“今根に吸収された水が何時間後に葉から蒸発しているか”といった包括的測定はできていない。

しかし、重水を根に与え、葉から蒸散される重水のリアルタイムモニタリングが可能なら上記の問いに答えられる。1990年代後半に陽子移動反応質量分析計 (Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry, 以下 PTR-MS とする) が開発・商品化され、環境濃度域 (pptv ~ ppbv) での揮発性有機化合物 (VOC) のリアルタイム測定が可能となった。しかし、大気中重水については、いまだ PTR-MS を用いた計測手法の最適化が行われておらず、植物大気科学の研究で葉から蒸散される重水のリアルタイムモニタリングは実現していない。

申請者は 2012 年夏季に予備測定を行ったところ、陽子移動反応により生成される  $\text{DH}_2\text{O}^+$  イオン ( $m/z$  20) と付着反応により生成される  $\text{DHOH}_3\text{O}^+$  イオン ( $m/z$  38) が一定量生成され、特に  $m/z$  20 の生成イオン量が多いことを確認した。しかし、測定の最適条件や PTR-MS の測定精度については未検討である。

ところで、植物を用いた VOC の代謝分解 (図 1) や蒸散流による大気への希釈放出機能 (汲み上げ機能) を用いる方法はファイトレメディエーションと呼ばれ、低コストの原位置浄化法として利用拡大が期待される。

根から取り込まれた VOC は以下の 3 つの fate を持つ (図 1)。

- 1 酵素によって変換され代謝分解される
- 2 抱合化したのち細胞壁や液胞に蓄えられる。
- 3 葉から蒸散される。

VOC は、土壌から蒸散流によって速やかに大気に放出されるものと、植物体内で大部分は代謝分解されたり、分配貯蔵されるものなど、植物体内での移動性は異なると考えられ

る (Baduru et al., *Environ Sci Technol.* 2008)。対象 VOC が蒸散流に依存して速やかに植物体外に放出されるのか否かを評価するためには、比較対象として重水の移動速度を調べる必要がある。また、物質ごとに蒸散、代謝、分配などの fate の割合は異なると考えられ、その収支を明らかにするデータはこれまで報告されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、まず PTR-MS を用いて、大気中の重水濃度をリアルタイムモニタリングする手法を確立する。

次いで、根から吸収された重水の葉からの蒸散を成木で測定することで、これまで測定が不可能であった植物体内の包括的な水移動速度を求める。また、植物体内の各種 VOC 移動性を水の水移動性を基準に比較する。

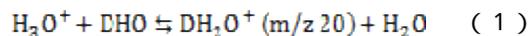
さらに同位体質量分析計およびガスクロマトグラフ質量分析計を用いて、 $^{13}\text{C}$  でラベルした有機物質が根から吸収された後、植物体内で分配、代謝される量の定量的評価を試みる。

以上の研究により、大気中重水濃度のモニタリング法を確立し、植物体内の包括的水輸送速度を求めるとともに、植物根から吸収された有機物質移動性や分配、代謝、蒸散の動態を定量的に解析する。

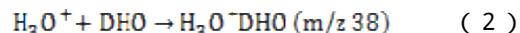
## 3. 研究の方法

### 3.1 重水濃度のリアルタイムモニタリング法の確立

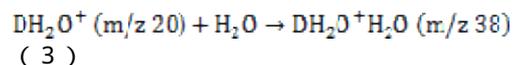
自然界で重水は DHO の形で存在し、PTR-MS のドリフトチューブ内で陽子移動反応により  $\text{DH}_2\text{O}^+$  が生成される。



ただし、 $\text{H}_2\text{O}$  と DHO のプロトン親和力に大きな差がないため、逆反応も高頻度で起こる。また、以下の付着反応も起こりうる。



サンプル空気中に水蒸気が存在するとき、(1) で生成された  $\text{DH}_2\text{O}^+$  が水蒸気と結合反応を起こす。



この反応速度は水蒸気量に依存するため、生成される  $m/z$  38 のイオン量はサンプル空気中の水蒸気濃度の影響を受けると推測される。(1) から (3) へ行く反応頻度が増すと、 $\text{DH}_2\text{O}^+$  も減少することから、 $\text{DH}_2\text{O}^+$  も水蒸気濃度の影響を受ける。

また、PTR-MS 内で陽子移動反応等が起こるドリフトチューブ内の反応エネルギーは、

付着反応(2)や結合反応(3)の起こりやすさに影響し、反応エネルギーが高いとこれら反応頻度は低下する。

このように、DHOの反応生成物である  $m/z$  20と38のイオン量は、サンプル空気中の水蒸気濃度とドリフトチューブ内の反応エネルギーの影響を受けるため、独立変数として

1 ドリフトチューブに印加する電圧(反応エネルギーを設定するため)

2 サンプルガス中のDHO濃度

3 サンプルガス中の水蒸気濃度

を取りあげ、測定条件の最適化を図った。サンプル空気中の湿度を変えるため露点発生器を用い、重水濃度はパーミエータ内に設置する重水を入れたガラス管の内径を変えることで調整した(内径大 蒸発量大)。ドリフトチューブの電圧はPTR-MSのオペレーションソフトを用いて、一般的な500Vを挟むように、400Vから600Vまで50V刻みで変化させて最適反応条件を見つけ出した。

### 3.2 植物の重水と有機物質の移動モニタリング

PTR-MSを用いて、根から吸収された物質が葉から放出するまで継続的に計測した。植物には、大塚A処方で1か月養液栽培したヒマワリおよび鉢植した樹高約3mのハナミズキを用いた。

ヒマワリの茎葉部およびハナミズキの枝葉を透明フッ素樹脂袋で覆い、内部に白金触媒を通した清浄空気を流量1L/minで通気した。ハナミズキでは、高さ1m、2mおよび3m付近の枝を袋で囲った。袋内空気をPTR-MSへ取り込み分析した。

根からVOC数種を含む溶液を吸収させた。アジサイのVOC溶液は、0.1mlのベンゼン、トルエン、メタクロレイン、メチルイソブチルケトン(以下MIBK)、重水を、疎水性の物質を純水に溶けやすくするために0.2mlのメタノールに溶かした後、さらに、純水1ℓに溶かすことにより調製した。ハナミズキでは、予備実験で土壌があることで葉からの放出時の濃度が、アジサイの実験と比べて薄まることを確認していたため、純水に対して濃度3%の重水と0.04%のメチルエチルケトン、クロトンアルデヒド、トルエン、ジクロロエタンを含む溶液を作成し、鉢へ5~10L供給した。供給後、鉢の下から水が流出したことから、土壌水が供給溶液に置換されたことを確認した。

アジサイの測定は室内で行い、光合成有効光量子束密度(PPFD)を先端で約 $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ になるようメタルハライドランプの高さを調整した。ハナミズキの測定は野外で行い、光強度と気温を1分おきに記録した。

### 3.3 植物体内でのトルエンの分配と代謝解析

#### 3.3.1 二酸化炭素への代謝測定

植物が根から吸収した有機化合物である

トルエンを代謝分解している可能性があり、その場合代謝経路を通じて最終的に二酸化炭素として大気中に放出している可能性がある。そこで本実験では、植物が吸収した物質が実際に代謝されているかを確かめることを目的とし、ヒマワリに $^{13}\text{C}$ トルエンを根から吸収させ、暗呼吸速度を計測し、呼吸の中に含まれている二酸化炭素の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を測定した。

$^{13}\text{C}$ -phenyl-tolueneを根から吸収させたヒマワリを実験植物として用いた。つくば市にある(独)農業環境技術研究所にてレーザー分光 $\text{CO}_2$ 安定同位体比計(Aerodyne Inc. Boston, Maine, USA)にて、ヒマワリの暗呼吸中に $^{13}\text{C}$ -phenyl-tolueneの代謝最終産物である $^{13}\text{CO}_2$ を測定した。実験は二酸化炭素濃度を一定にした空気を植物に曝露し、ブランクラインとフッ素樹脂加工の袋(以下フッ素樹脂袋)を通るサンプルラインの $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 比を計測した。植物に曝露する空気に含まれる二酸化炭素と水蒸気は除去装置(PNEUDR1 Cole Parmer社)により除去し、白金触媒を用いて清浄化した。その後、白金触媒と空気中の有機物との反応により発生した二酸化炭素を $\text{CO}_2$ スクラバー(ソーダライム :  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ などの混合物)で除去し、 $^{13}\text{CO}_2$ 比がわかっている $\text{CO}_2$ ボンベの二酸化炭素を添加し、 $\text{CO}_2$ 濃度を120ppmに維持した。フッ素樹脂袋の中に保持金具をいれ、袋が倒れて葉に接触負荷がかからないようにした。実験植物のヒマワリは、養液栽培し、定植後1か経過したものを使用した。

$^{13}\text{C}$ -phenyl-tolueneをあらかじめ1週間根から吸収させたヒマワリと純水のみ(対照区)を吸収させたものを用いた。1週間吸収させた後2日から4日たったものを測定した。暗呼吸による $\text{CO}_2$ 放出を促すため、植物は袋の外から暗幕で覆った。植物から放出される $^{13}\text{CO}_2$ 比を計測するサンプルラインの流量は1L/minとし、袋内の空気の90%以上が30分以内に置換されるようにした。1時間半ほど袋を閉じたまま置き、袋内の空気がほぼ完全に清浄空気に置き換わった後、計測データを記録した。

同位体比はKeeling値を用いて評価した。チャンバーに入る $^{13}\text{C}$ 同位体比率( $^{13}\text{C}$ )を $R_{\text{in}}$ 、 $\text{CO}_2$ 濃度を $\text{CO}_{2\text{in}}$ 、出口側の $^{13}\text{C}$ 同位体比率( $^{13}\text{C}$ )を $R_{\text{out}}$ 、 $\text{CO}_2$ 濃度を $\text{CO}_{2\text{out}}$ とする。 $R$ をx軸、 $1/\text{CO}_2$ をy軸にとり、inとoutの値でプロットし得られた直線の切片に当たる値がKeelingの値になる。これは、生態系から放出される(この実験では植物から)の $\text{CO}_2$ の寄与を考えなくてもよい値である。

#### 3.3.2 トルエンの植物体内分配測定

根から吸収されたトルエンやその代謝物の根、茎、葉への分配量を調べ、時間とともにその分配量がどのように変わるのかを明らかにするため、根、葉、茎の $^{13}\text{C}$ 比を測定

することにより植物内での分配を調べた。

実験植物には、大塚 A 処方養液栽培で 3 週間栽培しヒマワリを用いた。その後

$^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene 75  $\mu\text{l}$  をエタノール 300  $\mu\text{l}$  に溶解させた後、純水 4500 ml に溶かして作った溶液(以下 VOC 溶液)で上記のヒマワリを一週間栽培することにより

$^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene を吸収させ、その後は純水で栽培した。対照区は大塚 A 処方養液栽培終了後、純水のみで栽培を行った。

$^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene 溶液栽培では根からの吸水によって水が減るため、2 日毎に純水を補充した。純水で栽培せずに、直ちに収穫したもの(以下 0 日)、6 日後、12 日後に収穫したものについて、根茎葉に部位分けし凍結乾燥した。凍結乾燥サンプルを高温燃焼させたのち  $^{13}\text{C}$  同位体比を公益財団法人環境科学技術研究所の  $^{13}\text{C}$  安定同位体質量分析計(Delta V, Thermo Electron)を用いて測定した。

求めた  $\text{atom}(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})$  と国際標準物質 Pee Dee Belemnite(PDB)の同位体比の差から  $^{13}\text{C}$ (‰) を求めた。  $^{13}\text{C}$  の値が試料中の安定同位体比として定義される。サンプルから計測された同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )を  $R_{\text{sample}}$ 、標準試料から計測された同位体比を  $R_{\text{standard}}$  とすると次式で計算される。

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}}$$

#### 4. 研究成果

##### 4.1 重水濃度のリアルタイムモニタリング法の確立

異なる反応エネルギー、および異なる重水濃度下で測定した重水蒸気に対する PTR-MS の感度を図 1 に示す。

PTR-MS の重水に対する感度は、一般的な VOC に対するそれと比べて低かった。それでも、 $m/z$  20 の感度が  $m/z$  38 に比べ高く、実際の測定では  $m/z$  20 を用いることとした。 $m/z$  20 では U drift の値が変化しても感度への影響はほとんどなかった。また水蒸気濃度が高くなると  $m/z$  20 の感度が下がる傾向があり、重水感度はすべての U drift の条件で 0.3~0.6 の値になった。実際の濃度を求めるためには水蒸気濃度と重水濃度の関係式を求め、換算することとした。反応エネルギーの適値範囲は 120~140 Td であるため、測定では反応エネルギーがこの範囲になるよう、ドリフトチューブ内の電圧と温度、気圧を調整した。

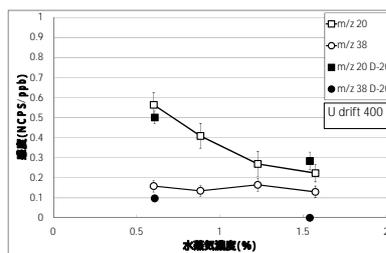
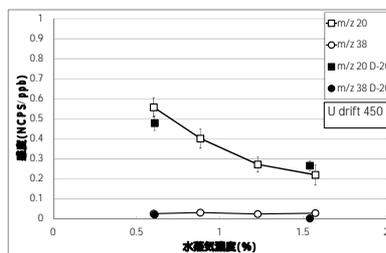
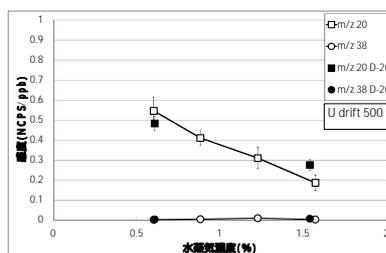
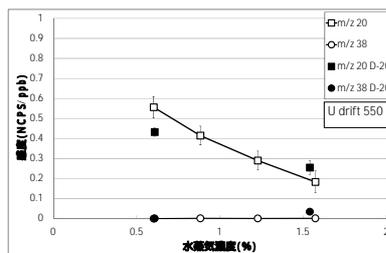
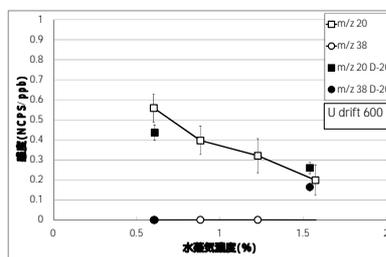


図 1 異なる反応エネルギーおよび異なる重水濃度下で測定した重水蒸気に対する PTR-MS の感度  
Udrift は反応エネルギーの指標で値が低いほど反応エネルギーが小さい。

##### 4.2 植物の重水と有機物質の移動モニタリング

樹高 3 m のハナミズキについても類似の測定を行った。図 3 に蒸散を反映した水蒸気濃度の指標となる  $m/z$  37、重水由来イオンである  $m/z$  20、メチルエチルケトン (MEK) 由来イオンである  $m/z$  73 の濃度変化を示す。

蒸散速度は溶液を供給する前から高く、4

日間類似の変動を示した。しかし、重水由来イオンである  $m/z$  20 は、下段（高さ 1 m）の枝では、翌日（2 日目）の未明から徐々に放出され、中段と上段の枝では 2 日目の日中に放出が始まった。このように、土壤に供給

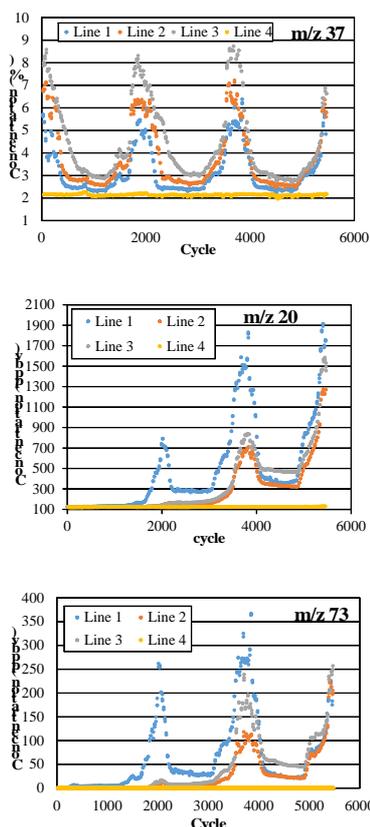


図 3  $m/z$  37、 $m/z$  20、 $m/z$  73 の濃度変化  
Line 1: 下段の枝、Line 2: 中段の枝、Line 3: 上段の枝、Line 4: ブランクの枝  
Cycle 50-55 で溶液を与えた。

した水が葉から放出されるまでは、12 時間～24 時間を要し、それは枝の高さによって異なることがリアルタイム測定で明らかとなった。

MEK 由来イオンである  $m/z$  73 も、重水と類似の濃度変化を示し、重水に大きく遅れることなく葉から放出された。蒸散速度が高いほど、MEK の放出も高まった。

しかし、ジクロロエタン由来イオンである  $m/z$  63 は 3 日目の夜間に濃度が上昇し、初めて放出が確認された。その後は継続的に放出され、蒸散速度が高いほど放出も高まった。

このように、陽子移動反応質量分析計を用いた重水のモニタリング法を開発したことで、今与えた水がいつ葉から放出されるのかを高精度で測定することが可能になり、有機物質間の植物体内の移動性の違いを明らかにできた。

#### 4.3 植物体内でのトルエンの分配と代謝

##### 4.3.1 二酸化炭素への代謝

$^{13}\text{CO}_2$  暗呼吸放出実験における  $^{13}\text{CO}_2$  比の対照区の値を表 1、トルエン区の値を表 2、

処理区毎の Keeling の値を表 3 にそれぞれ示す。表 1 の対照区 1 の Keeling 値は  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比が異常に高く、実験室内の二酸化炭素が袋の中に入り込んだと考えられたため異常値として除外した。

実際に計測された  $^{13}\text{CO}_2$  比を  $\text{CO}_2$  として表し、測定中の環境データを用いて補正した純粋な植物放出  $^{13}\text{CO}_2$  を求めたものを Keeling の値として表す。

表 1 対照区における  $^{13}\text{CO}_2$  比各サンプルのデータ

	$\text{CO}_2$ (%)	Keeling (%)	地上部乾燥重	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ( $10^4 \cdot 3$ )
対照区 1	14.37	-4.2	0.00	11.52
対照区 2	1.99	-17.0	0.65	2.32
対照区 3	2.48	-24.2	3.15	4.55
対照区 4	2.04	-24.4	3.50	4.86
対照区 5	2.01	-26.0	3.16	4.07

表 2 トルエン区における  $^{13}\text{CO}_2$  比各サンプルのデータ

	$\text{CO}_2$ (%)	Keeling (%)	地上部乾燥重	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ( $10^4 \cdot 3$ )
トルエン区 1	2.64	-11.1	0.79	2.05
トルエン区 2	3.45	-19.6	2.39	4.87
トルエン区 3	3.05	-13.5	1.33	2.48
トルエン区 4	3.42	-17.9	2.09	4.06
トルエン区 5	2.94	-22.9	2.57	3.98

表 3 各処理区の Keeling の値

対照区	トルエン区
Keeling 平均	Keeling 平均
$-22.9 \pm 4.0$ a	$-17.0 \pm 4.7$ b

異なるアルファベットは Turkey の有意差検定において有意な差があることを示す ( $p < 0.05$ )

対照区と根からトルエンを吸収させた区では  $^{13}\text{CO}_2$  の量に有意差があった。このことから植物の体内にある  $^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene が代謝、分解され、最終産物の二酸化炭素として放出した可能性がある。 $^{13}\text{CO}_2$  自体は通常植物内に選択的に取り込まれることが知られている。そのためトルエン曝露区で多くなった  $^{13}\text{CO}_2$  は  $^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene によるものだと考えられる。

#### 4.3.2 トルエンの植物体内分配測定

計測された  $^{13}\text{C}$  (%) と、atom (%) をそれぞれ表 4 と表 5 に示す。

対照区に対して  $^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene 吸収区では  $^{13}\text{C}$  の値が、ヒマワリの根、茎、葉とも高くなり、根では有意差が認められた。茎では 6 日以降に有意差が認められ、葉でも 12 日経過したものとは有意差が認められた。対照区との差が大きかったのは、根で次いで茎、葉の順であった。atom の値でも、 $^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene 吸収区で対照区より高く、対照区と  $^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene 吸収区の有意差がある場合も多かった。このことからヒマワリが  $^{13}\text{C}$ -phenyl-toluene を取り込み、一部は茎、さらには葉まで分配していたと考えられる。 $^{13}\text{C}$  の存在量では根が一番多く、葉が一番少なかった。

表 4 <sup>13</sup>C-phenyl-toluene 処理後 0 日目、6 日目、12 日目の根、茎、葉の <sup>13</sup>C の値(‰)

	根	茎	葉
対照区	-32.4 ± 0.6 a	-32.8 ± 0.9 a	-32.2 ± 1.9 a
0日目	-17.5 ± 1.9 b	-31.6 ± 0.6 ab	-30.0 ± 0.7 ab
6日目	-17.6 ± 3.5 b	-31.5 ± 0.5 ab	-29.0 ± 0.5 b
12日目	-20.9 ± 2.1 b	-31.1 ± 0.3 b	-28.9 ± 0.7 b

異なるアルファベットは Turkey の有意差検定において有意な差があることを示す(p<0.05)

表 5 <sup>13</sup>C-phenyl-toluene 処理後 0 日目、6 日目、12 日目の根、茎、葉の atom の値(‰)

	根	茎	葉
対照区	1.070 ± 0.001 a	1.070 ± 0.001 a	1.070 ± 0.002 a
0日目	1.086 ± 0.002 b	1.071 ± 0.001 ab	1.073 ± 0.001 ab
6日目	1.086 ± 0.004 b	1.071 ± 0.000 ab	1.074 ± 0.001 b
12日目	1.083 ± 0.002 b	1.072 ± 0.000 b	1.074 ± 0.001 b

異なるアルファベットは Turkey の有意差検定において有意な差があることを示す(p<0.05)

日数が経過すると $\delta^{13}\text{C}$ の値が根で-17.5‰から-20.9‰に減少し、逆に茎と葉ではそれぞれ-30.0‰から-28.9‰、-31.6‰から-31.1‰へと上昇した。atomの値でも同じことが言え、このことは根で蓄えられていた<sup>13</sup>Cが日数の経過とともに徐々に茎や葉へ分配されたことを示す。今回、日数の経過とともに<sup>13</sup>Cの分配量の変化を捉えることができ、<sup>13</sup>Cが植物体内で移動していることを初めて明らかにした。

以上の研究により、大気中重水濃度のモニタリング法を確立し、植物体内の包括的水輸送速度を求めることができた。植物根から吸収された有機物質移動性や分配、代謝、蒸散の動態を解析できた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### [雑誌論文](計5件)

Mochizuki T, Miyazaki Y, Ono K, Wada R, Takahashi Y, Saigusa N, Kawamura K, Tani A, Emissions of biogenic volatile organic compounds and subsequent formation of secondary organic aerosols in a *Larix kaempferi* forest, *Atmos Chem Phys*, 15, 12029–12041 (2015)

Muramoto S, Matsubara S, Mwenda CM, Koeduka T, Sakami T, Tani A, Matsui K, Glutathionylation and reduction of methacrolein in tomato plants account for its absorption from the vapor phase, *Plant Physiol*, 169(3), 1744–1754 (2015)

谷 晃: 植物と環境の相互作用 植物による大気浄化とアロマの放出: フレグランスジャーナル, 57, 72-79 (2014)

Tani A: Fragmentation and reaction rate constants of terpenoids determined by proton transfer reaction–mass spectrometry. *Environ. Control Biol.* 51, 23-29. 2013.

Akira Tani, Seita Bobe, Sachiko Shimizu: Leaf uptake of methyl ethyl ketone and croton aldehyde by *Castanopsis sieboldii* and

*Viburnum odoratissimum* saplings. *Atmospheric Environment* 70, 300-306. 2013.

### [学会発表](計7件)

Tani A.: Oxygenated VOC uptake by plants, 大気 - 陸面におけるエネルギー・水・物質循環研究の現状と将来展望シンポジウム. 名古屋大学. 2015年9月

坂見卓也, 管敬, 谷 晃, 望月智貴, 小野圭介: 簡易渦集積法を用いた水田における揮発性有機化合物の交換量測定、真瀬ミーティング. 2015年2月.

Tani, A., Sakami, T., Ono, K.: Laboratory and field measurements of oxygenated VOC uptake by plants, AsiaFlux Workshop, India, November, 2015.

谷 晃: 植物と大気の大気 VOC 交換とそれを支配する環境要因(寒冷圏陸域植生と大気微粒子・気体成分を介した大気環境の相互作用シンポジウム) 北海道大学低温科学研究所平成 26 年度共同利用研究集会、2014 年 12 月 4 日

谷 晃: 植物による揮発性有機化合物の吸収(第 28 回気象環境研究会 生態系の微量ガス交換と大気浄化機能)、つくば国際会議場、2014 年 11 月 19 日

加藤翔太, 谷晃: 緑化樹木のファイトレメディエーション機能に関する研究 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア, p. 116, 2013 年 11 月

加藤翔太, 谷晃: 緑化樹木のファイトレメディエーション機能に関する研究 農業気象学会, 2013 年 12 月

### [図書](計2件)

谷 晃: 閉鎖生態系・生態工学ハンドブック「植物と大気の大気有機ガスの交換」. アドスリー、pp. 137-142. 2015.

谷 晃: 生きものたちをつなぐ「かおり」. フレグランスジャーナル社, pp142-163. 2016.

### [産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

### [その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

谷 晃(TANI AKIRA)

静岡県立大学・食品栄養科学部・教授

研究者番号: 50240958

### (2)研究分担者

加藤 俊吾(KATO SYUNGO)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号: 20381452

### (3)連携研究者

なし