

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24310012

研究課題名(和文) レーザー分光同位体計測計を用いた大気環境の動態解明

研究課題名(英文) Elucidation of atmospheric environment dynamics using laser spectroscopic isotope instruments

研究代表者

松見 豊 (Matsumi, Yutaka)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授

研究者番号：30209605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー分光同位体計測装置を応用することにより、都市大気中および森林中の大気中の二酸化炭素の濃度および $^{13}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}$ 同位体比の連続測定を行った。1分の時間分解能で数週間の測定を行うことができた。名古屋市において夏季、冬季に $\text{CO}_2$ 濃度および $\text{CO}_2$ 安定同位体比の連続測定を行ない、 $\text{CO}_2$ 発生源の推定と気象条件の比較、また都市域における生物由来 $\text{CO}_2$ の寄与について評価した。また、富士吉田および飛騨高山の森林サイトにおいて同位体計測により、 $\text{CO}_2$ 、水蒸気の動態解析を行った。

研究成果の概要(英文)：At both regional and global scales, the isotopic compositions of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) have a marked correlation on their sink, source and transport. Therefore their isotopes have been used to investigate the processes associated with their absorption and emission of terrestrial ecosystems. Continuous measurement of stable isotope ratios of  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) was conducted in forest of Takayama and Fujiyoshida in Japan by using a mid-infrared laser absorption spectrometer to reveal  $\text{CO}_2$  cycle in the forest. The results suggest that the isotope ratio measurement by the mid-infrared laser absorption spectrometry can contribute to better understanding of the short-term variations of isotopes. Isotope ratios of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and water vapor ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in the near-surface air were continuously also measured for one month at urban area of Nagoya city. During a typhoon and a stable front passages in the observation period, remarkable changes of the isotope ratios were observed.

研究分野：大気環境科学

キーワード：物質循環 環境計測 レーザー分光 二酸化炭素 安定同位体比 炭素循環 地球温暖化 光合成

## 1. 研究開始当初の背景

### 研究の学術的背景

地球大気中の二酸化炭素やその他の微量成分ガスの増大がそれらの温室効果により地球温暖化を招くと考えられている。これまでになされている観測の多くは大気中の二酸化炭素の増大が化石燃料の燃焼によるものであるとしているが、人為的に放出される二酸化炭素がどのような経路で吸収・残留するか詳細な行方については、まだ十分にわかっていない。大気中に放出された余分な二酸化炭素が大気圏、海洋圏、および生命圏にどのように分配されるかも、解決すべき重要な課題である。地球炭素循環における生態系の役割を解明する上で、大気圏と生命圏の相互作用を詳しく調べることが不可欠である。大気二酸化炭素の濃度と同位体比の両方を解析することにより生態系 - 大気相互作用の定量的な解析を行うことができる。これまでの同位体計測は、質量分析法で行われてきたが、大気中の二酸化炭素の同位体の測定を測定するには、容器にサンプリングして、実験室に持ち帰り測定することが必要であった。そのため、連続的にリアルタイムで高速に測定することができなかった。また、大気エアロゾル中の炭素成分については、熱脱離分離法で有機炭素化合物と元素炭素化合物の区別が手探りでなされている。これに対して熱脱離分離法とリアルタイムで炭素同位体計測の組み合わせで測定が可能になれば、それぞれの成分の発生源と生成過程を推定することが可能となる。このような問題を解決するため、新しい同位体計測法の実用化が焦眉の課題となっている。

## 2. 研究の目的

地球炭素循環における人間活動と生態系の役割を解明する上で、大気圏と生命圏の相互作用を詳しく調べることが不可欠である。大気二酸化炭素の濃度と同位体比の両方を解析することにより生態系 - 大気相互作用の定量的な解析を行うことができる。既に我々が観測実績をあげているレーザー分光同位体計測器により大気中の二酸化炭素の $^{13}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}$ 同位体比および水蒸気のD、 $^{18}\text{O}$ 同位体比の連続測定を行い、従来からの $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、エアロゾル計測と組み合わせ、大気質の動態を明らかにする。大気中の二酸化炭素の濃度・同位体比計測とデータ解析を行うことにより、これまでレーザー分光の研究者による実験的な装置開発でしかなかった二酸化炭素同位体分析装置が、実用化レベルに達していることを実証し、これまでの同位体質量分析法では実現できなかった、新しい計測を行う。名古屋などの都市大気同位体比を高い時間分解能および長い期間で計測することにより、 $\text{CO}_2$ 排出源すなわち土壌や植物呼吸、石油燃料燃焼、天然ガス燃焼由来であるかを明らかにする。都市由来やアジア大陸由来の大気汚染物質の動態を $\text{CO}_2$ や水蒸気の

同位体の変動とともに解明する。従来から行っている大気汚染関連物質の $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、エアロゾルの観測を同位体分析と同時にすることにより、都市における大気汚染物質などの動態について、より詳しい情報を得る。さらに、森林サイトにおいてレーザー分光同位体計測により、 $\text{CO}_2$ 、水蒸気の動態解析を行う。

## 3. 研究の方法

本研究による大気中の二酸化炭素の濃度・同位体比計測とデータ解析を行うことにより、これまでレーザー分光の研究者による実験的な装置開発でしかなかった二酸化炭素同位体分析装置が、実用化レベルに達していることを実証し、これまでの同位体質量分析法では実現できなかった、新しい計測を行うことができる。大気中の二酸化炭素の排出源の詳細な分布を高い時間分解能で、かつ長期間計測することにより、二酸化炭素の動態解明の研究において飛躍的に質の高いデータを供給することができる。また、炭素化合物のエロゾル中の炭素の安定同位体比、すなわち $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を計測し、エアロゾルおよびその前駆体の発生源および生成過程に関する情報を得ることができる。地球温暖化問題において二酸化炭素および炭素化合物エアロゾルの動態解明は非常に重要であり、また温暖化の将来予測にも影響を与える。新しい高性能な同位体計測装置を用いた実証的研究は温暖化問題解決の重要な一歩となる。

二酸化炭素の同位体の解析は、長期の頻繁な二酸化炭素のフィールドでのサンプリングを必要とするが、非常に数多くの分析サンプルを集め分析するのはかなりの労力を要する。それは分析手法に起因している。現在のところ大気中の二酸化炭素の安定同位体比の測定に用いられているのは、同位体測定用の質量分析装置である。この同位体質量分析装置は非常に精度よく測定ができるが、問題点として非常に重量があり、また移動が困難で、リアルタイムの計測ができないことがある。大気中の二酸化炭素を連続的にリアルタイムでその場分析できる方法として、レーザー分光による計測装置が研究されてきた。二酸化炭素の $^{13}\text{C}$ 同位体、 $^{18}\text{O}$ 同位体( $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 、 $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 、 $^{12}\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ )の振動数の違いにより、赤外の光吸収の波長が異なることを利用する。これまでは、レーザーによる二酸化炭素同位体計測の波長に合うレーザーは、液体窒素冷却が必要であったり、非常に寿命が短かったり、メンテナンスが非常に複雑であったりしていた。それゆえ二酸化炭素の同位体計測はレーザー分光の専門家による実験的な研究にとどまっていた。しかしながら、最近のレーザー技術の発展により、量子カスケードレーザーが発明され、二酸化炭素の同位体計測に必要な中赤外領域(波長4.3  $\mu\text{m}$ 付近)で極めて安定して、室温で発振し、長期間安定して利用可能なレーザーが、比較的安価で利

用可能になった。申請者は、米国の研究者と協力して量子カスケードレーザーを用いた二酸化炭素同位体計測装置を開発してきた。多重反射ミラーを備えた吸収測定セルに、大気を取り込むことで前処理なしで直接測定できる。同位体測定精度は、1分計測で0.1‰程度であり、同位体質量分析計ほどではないが、十分な精度を有している。そのレスポンスは数秒である。また、長期間の同位体計測値の安定性を調べたが、そのバラツキは0.2‰以下であった。このように、開発した装置は画期的な性能を有している。

開発した計測装置は、非常に安定して動作するので、装置の実験レベルを超えて、実際に二酸化炭素の安定同位体の計測を行い、大気二酸化炭素の動態解明に役立てることができるようになった。レーザー同位体計測が実験段階から実用的に有用なものであることを実証する。本装置の実用化により、毎分の変化を長期間みることができるようになる。短時間の変動だけでなく長期間の変動も詳しく調べることが可能になる。このように全く新しい二酸化炭素の動態解析の方法を提供でき、同位体科学の新しい地平を切り開くものである。化石燃料の燃焼などによる人間活動に由来する二酸化炭素放出および炭素質エアロゾルの今後の動向は、大気中の二酸化炭素濃度を予測する上で、不確かな要因の一つであるが、このような計測器の発展により、より確かな情報を得ることができるようになる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 富士吉田アカマツ林における二酸化炭素動態の解明

大気・生態系の炭素交換量を測定すると同時に、生態系内部の炭素動態を把握することによって、より正確な陸域炭素交換量を算定することができる。炭素安定同位体比を用いると、光合成の過程で同位体分別が起こることから、CO<sub>2</sub>の同位体比を計測することによって、CO<sub>2</sub>放出起源の推定や水利用効率の推定など、通常のCO<sub>2</sub>大気観測では得られない情報を得ることができる。本研究ではレーザー分光法を用いた先駆的な観測機器（以下、レーザー分光装置）を用いて、山梨県環境科学研究所内の森林総合研究所・富士山麓気象観測タワー設備においてCO<sub>2</sub>同位体比を非常に高い時間分解能で連続観測することに成功した。

CO<sub>2</sub>同位体比の連続観測は、CO<sub>2</sub>同位体測定用レーザー分光装置（Aerodyne Research Inc.）を用いた。本装置はquantum cascade laser（QCL: Alpes lasers）により大気CO<sub>2</sub>の炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ ）および酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O-CO}_2$ ）をリアルタイム（約1分間隔）で計測するものである。

H<sub>2</sub>O同位体比の連続観測には、H<sub>2</sub>O同位体測定用レーザー分光装置（Los Gatos Research, Inc.）を用いた。この装置は、大気水蒸気の酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ ）と水素安定同

位体比（ $\delta\text{D-H}_2\text{O}$ ）をリアルタイム（約1分間隔）で計測するものである。山梨県環境科学研究所（山梨県富士吉田市）の富士山麓・剣丸尾溶岩流上のアカマツ林内に設置された森林総合研究所の観測タワー（Asiaflux:FJY / JaLTER:FJK）において、林床面から樹冠上にかけての6高度（2m, 9m, 13m, 19m, 23m, 27m）で鉛直的な同位体比計測を行った（図1）。

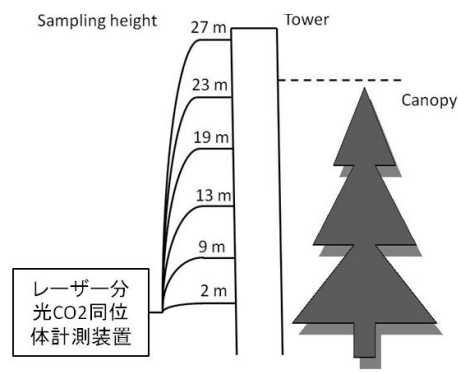


図1 富士吉田アカマツ林での大気二酸化炭素の同位体比の計測

微気象環境と大気CO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>O濃度とそれら同位体比（ $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ と $\delta^{18}\text{O-CO}_2$ および $\delta\text{D-H}_2\text{O}$ と $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ ）を観測した。 $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ と $\delta^{18}\text{O-CO}_2$ は、夜間から明け方にかけて光合成による同位体分別を受けた炭素が二酸化炭素として呼吸作用により放出されるため、CO<sub>2</sub>濃度は高くなり、同位体比は低くなる日変化をしていた。8月2日は降雨があり、日射量が少なく昼間に気温が上昇しなかったため、蒸発散が少なく、 $\delta\text{D-H}_2\text{O}$ と $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ はほとんど変化しなかった。8月3日夜から4日の朝にかけては、気温が急激に低下して、重い水蒸気から凝結していく同位体分別により水蒸気中の $\delta\text{D-H}_2\text{O}$ と $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ が軽くなっていく様子が観測された。日の出後、凝結した水の蒸発により、水蒸気の同位体比が上昇し、元の同位体比に戻る様子も観測された。

同位体比の高度プロファイルを観測した。高さ別にみると、高度2mの $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ と $\delta^{18}\text{O-CO}_2$ が土壌呼吸による影響を最も受け、同位体比が低く、高度が高くなるに従って同位体比は高くなり、森林樹冠上である高度27mでもっとも高い同位体比を示した。7月31日の $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ と $\delta^{18}\text{O-CO}_2$ は、樹冠上で高く、高度が下がるに従って同位体比が低くなる高度分布がはっきりと認められた。とくに地上付近で $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ が低かった。8月2日は7月31日に比べて、森林内部での大気の混合が進んでおり、同位体比の高度毎の違いは小さかった。 $\delta\text{D-H}_2\text{O}$ と $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ は7月31日、8月2日ともに、明瞭な高度分布は観測されなかった。これは夜間における森林内部に同位体比の異なる水蒸気の局所的な発生、吸収源がないためと考えられる。7月31日と8月2日では、時刻による同位体比の変化に大きな差が見られた。7月31日の夜間は、気温の変化が大きく、一方8月2日の夜間は、気温

はほぼ一定であった。7月31日の夜間は気温が大きく変化したため、水蒸気が凝結し、同位体比が変化したと考えられた。

(2) 飛騨高山の広葉樹林での二酸化炭素同位体の計測

CO<sub>2</sub>はO<sub>3</sub>やN<sub>2</sub>Oなど正の放射強制力を持つ物質の中で、最も大きな正の放射強制力を持ち、全球の気候変動に対して大きな影響を与えていると考えられる。CO<sub>2</sub>濃度は主に燃焼過程、植物呼吸、土壌呼吸によるCO<sub>2</sub>排出および光合成によるCO<sub>2</sub>吸収過程によって変動する。全球の炭素収支を考えた場合、森林におけるCO<sub>2</sub>吸収過程は複雑であるため不確かさが大きい。CO<sub>2</sub>の安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ )はCO<sub>2</sub>の排出源(燃焼過程、植物呼吸、土壌呼吸)および光合成によるCO<sub>2</sub>吸収過程においてそれぞれ異なる。そのため、CO<sub>2</sub>安定同位体比とCO<sub>2</sub>濃度変動および気象条件を比較することで、森林におけるCO<sub>2</sub>濃度変動に対する各過程の影響を評価することが可能である。そこで人為起源CO<sub>2</sub>の影響が少ない清浄地域の森林においてCO<sub>2</sub>濃度およびCO<sub>2</sub>安定同位体比の同時測定を行ない、植物呼吸、土壌呼吸、光合成過程が森林内の炭素収支に与える影響を評価した。

7月29日から8月10日まで、岐阜大学流

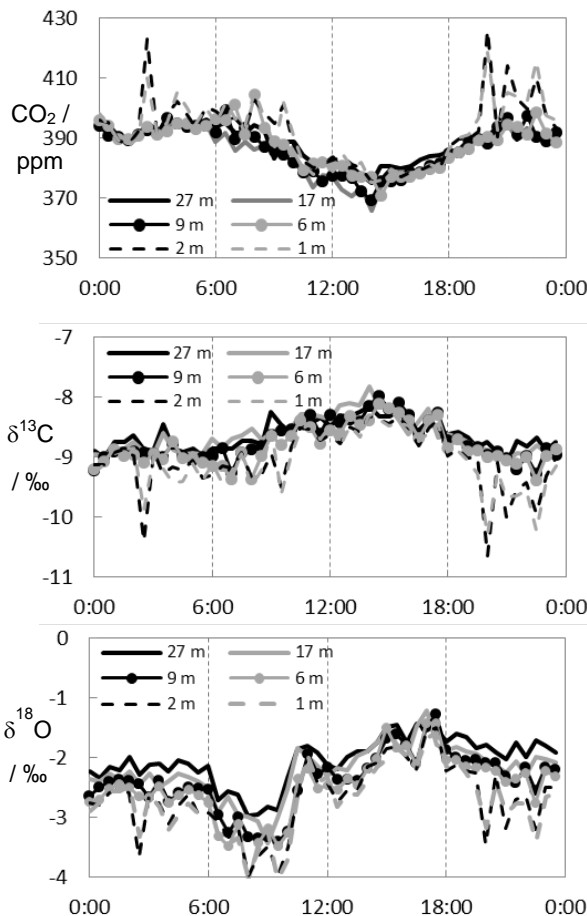


図2 高山の広葉樹林におけるCO<sub>2</sub>濃度、同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ の各高度における日内変動

域圏科学研究センター・高山試験地の産総研高山サイト(36°08' N, 137°25' E, 標高1420 m)において、森林タワーを用い、冷温帯落葉広葉樹林中の大気中のCO<sub>2</sub>( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ )および水蒸気( $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ )の変動および高度分布を連続観測した。CO<sub>2</sub>安定同位体比は中赤外レーザー(4.3  $\mu\text{m}$ )を光源とするレーザー分光同位体測定装置(Aerodyne社製)を用いることにより高い精度(0.1%以上)と時間分解能(1分)で連続測定することが可能となった。

観測期間においてCO<sub>2</sub>濃度が日中減少し、 $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ が日中ピークを持つ日内変動が見られた(図2)。光合成によりCO<sub>2</sub>が植物に取り込まれる場合、<sup>12</sup>CO<sub>2</sub>が優先的に消費されるため、日中のCO<sub>2</sub>減少および $\delta^{13}\text{C}$ 増加は光合成の影響を強く受けていると考えられる。また、植物内におけるCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oの同位体交換が促進したことにより $\delta^{18}\text{O}$ が高くなったと考えられる。CO<sub>2</sub>変動の要因を明らかにするためKeeling plotによるCO<sub>2</sub>変動成分の $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ を求め、植物呼吸、土壌呼吸および光合成の影響を評価した。

(3) 名古屋でのCO<sub>2</sub>同位体比計測と気象現象

CO<sub>2</sub>の同位体比は、発生源・吸収作用(生物呼吸、石油燃焼、天然ガス燃焼、光合成)により変動する。水蒸気の同位体比も蒸発・凝結時の温度や場所(緯度、高度、陸域海洋域)などにより変化する。したがって、同位体比を計測することにより、CO<sub>2</sub>および水蒸気の発生・消失源や動態を解明することができる。今回、レーザー装置により、同位体比を連続でほとんど切れ目なく、しかも1分の高い時間分解能で測定できるようにできるようになったため、日々の気象変化と同位体比を対応づけることができた。これにより将来的には、日常的な同位体比計測も重要な情報を与える気象計測の一つの要素となりえることを示した。

レーザー分光法を用いた同位体計測装置を用いて、大気中の二酸化炭素CO<sub>2</sub>( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ )および水蒸気( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ )の安定同位体比を、名古屋大学構内において連続的にリアルタイム計測したので、そのデータを解析した。観測期間中に、CO<sub>2</sub>と水蒸気の同位体が急激に大きく変動したイベントが2度観測された。9月8日は台風が、9月23日は停滞前線が観測所を通過した。台風が通過した日および停滞前線の通過した日のCO<sub>2</sub>同位体およびH<sub>2</sub>O同位体の変化に注目し、気象データと照らし合わせて考察を行った。

9月8日の台風の通過時の $\delta^{13}\text{C}$ -CO<sub>2</sub>と $\delta^{18}\text{O}$ -CO<sub>2</sub>のキーリングプロットにより、異なるCO<sub>2</sub>の濃度と同位体比を持った気団が観測所付近の大気に急激に流入したことが推察された。観測所の南側には火力発電所が多く存在することから、台風により火力発電所付近の大気が観測所にまで運ばれた可能性が考えられた。一方、9月23日の前線通過時の $\delta^{13}\text{C}$ -CO<sub>2</sub>と $\delta^{18}\text{O}$ -CO<sub>2</sub>のキーリングプロット

により、異なる CO<sub>2</sub> の濃度と同位体比を持った気団が観測所付近の大気に移流したことが推察できた。観測所の北側には山岳地帯が広がっており、観測所北側の大気が観測所にまで運ばれた可能性が考えられた。

#### (4) 都市域での CO<sub>2</sub> 同位体と大気汚染物質の測定

都市域における CO<sub>2</sub> 濃度は人為起源の化石燃料燃焼による放出に加えて、植物の光合成による CO<sub>2</sub> 吸収、生物呼吸による CO<sub>2</sub> 放出過程も要因となりうるため、それぞれの CO<sub>2</sub> 発生源の寄与の見積もりが難しい。そこで、都市域の一つである名古屋市において夏季、冬季に CO<sub>2</sub> 濃度および CO<sub>2</sub> 安定同位体比の連続測定を行ない、夏季冬季における CO<sub>2</sub> 発生源の差、また都市域における生物由来 CO<sub>2</sub> の寄与について評価した。これまでの安定同位体比質量分析装置を用いた測定では、サンプリング回数が限られるため、数週間にわたる連続測定が難しい。しかしレーザー分光法を用いることで、時間分解能 1 分以下で、数週間の連続測定することができ、気象条件の日内変動や高気圧・低気圧の通過などに対応する変動をとらえることが可能となった。

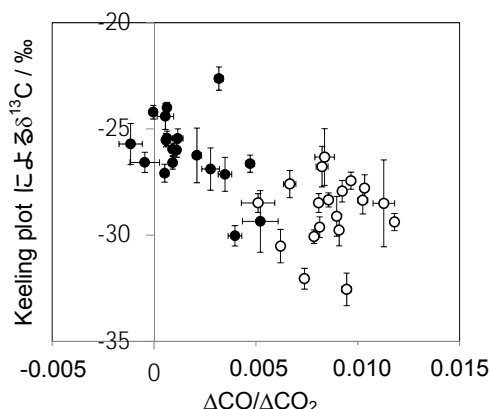


図3 CO と CO<sub>2</sub> 濃度の相関と Keeling plot より求めた δ<sup>13</sup>C との相関関係。黒丸が夏季の夜間、白抜きが冬季の夜間のデータを示す。

冬季(11月22日から12月11日)と夏季(7月22日から8月11日)に、名古屋大学キャンパス内において CO<sub>2</sub> 濃度および CO<sub>2</sub> 安定同位体比(δ<sup>13</sup>C, δ<sup>18</sup>O)の連続測定を行なった。CO<sub>2</sub> 安定同位体比は中赤外レーザー(4.3 μm)を光源とするレーザー分光同位体測定装置(Aerodyne社製)を用いることにより高い精度(0.2‰以上)で δ<sup>13</sup>C, δ<sup>18</sup>O 連続測定することが可能となった。また、同時に水蒸気濃度、水蒸気の安定同位体比(δD, δ<sup>18</sup>O-H<sub>2</sub>O)、および大気汚染物質の一酸化炭素 CO 濃度、窒素酸化物 NO<sub>x</sub> 濃度を連続測定した。

夏季の CO<sub>2</sub> 濃度変動は日中に最小、夜間に最大となる日内変動を示したが、冬季の CO<sub>2</sub> 濃度は規則的な変動が見られなかった。このため夏季は生物由来の CO<sub>2</sub> 吸収放出の影響が大きく、日内変動が現れたと考えられる。冬

季は人為起源 CO<sub>2</sub> が主な発生源と考えられる。CO<sub>2</sub> 濃度ピークの CO<sub>2</sub> の発生源を δ<sup>13</sup>C, δ<sup>18</sup>O の Keeling plot 解析と、CO 濃度変動と CO<sub>2</sub> 濃度変動の相関(ΔCO/ΔCO<sub>2</sub>)の二つの側面から求め、夏季冬季の差を評価した。ΔCO/ΔCO<sub>2</sub> は冬季に高く、燃焼由来 CO<sub>2</sub> の寄与が増加することが示された。さらに δ<sup>13</sup>C を比較すると冬季が低くなった。そのため、冬季は天然ガス燃焼に起因する CO<sub>2</sub> の増加の可能性が示唆された(図3)。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11件)

R. Wada, Y. Matsumi, S. Takanashi, Y. Nakai, T. Nakayama, M. Ouchi, T. Hiyama, Y. Fujiyoshi, T. Nakano, N. Kurita, K. Muramoto, N. Kodama, In situ measurement of CO<sub>2</sub> and water vapor isotopic compositions at a forest site using mid-infrared laser absorption spectroscopy *Isot. Environ. Health Stud.* (査読有) 2016, <http://dx.doi.org/10.1080/10256016.2016.1147441>

Y. Matsumi, T. Hidemori, T. Nakayama, R. Imasu, S. K. Dhaka, Measuring methane with a simple open-path gas sensor

*SPIE Newsroom*, (査読無)

doi:10.1117/2.1201601.006283, 2016.

M. Nakagawa, T. Nakayama, H. Sasago, S. Ueda, D. S. Venables, Y. Matsumi, Design and characterization of a novel single-particle polar nephelometer *Aerosol Sci. Technol.*, (査読有) 50, 392-404, 2016.

S. Ueda, T. Nakayama, F. Taketani, K. Adachi, A. Matsuki, Y. Iwamoto, Y. Sadanaga, Y. Matsumi

Light absorption and morphological properties of soot-containing aerosols observed at an East Asian outflow site, Noto Peninsula, Japan *Atmos. Chem. Phys.*, (査読有) 16, 2525-2541, 2016.

H. Irie, T. Nakayama, A. Shimizu, A. Yamazaki, T. Nagai, A. Uchiyama, Y. Zaizen, S. Kagamitani, Y. Matsumi

Evaluation of MAX-DOAS aerosol retrievals by coincident observations using CRDS, lidar, and sky radiometer in Tsukuba, Japan *Atmos. Meas. Tech.*, (査読有) 8, 2775-2788, 2015.

T. Nakayama, K. Sato, M. Tsuge, T. Imamura, Y. Matsumi

Complex refractive index of secondary organic aerosol generated from isoprene/NO<sub>x</sub> photooxidation in the presence and absence of SO<sub>2</sub>

*J. Geophys. Res. Atmos.*, (査読有) 120, 7777-7787, doi:10.1002/2015JD023522, 2015.

N. Kurita, Y. Fujiyoshi, T. Nakayama, Y. Matsumi, H. Kitagawa

Atmospheric circulation controls on the

inter-annual variability in precipitation isotope ratio in Japan

Clim. Past, (査読有) 11, 339-353, 2015.

X. Guo, T. Nakayama, H. Yamada, S. Inomata, K. Tonokura, Y. Matsumi

Measurement of the light absorbing properties of diesel exhaust particles using a three-wavelength photoacoustic spectrometer

Atmos. Environ., (査読有) 94, 428-437, 2014.

T. Hidemori, T. Nakayama, Y. Matsumi, T. Kinugawa, A. Yabushita, M. Ohashi, T. Miyoshi, S. Irei, A. Takami, N. Kaneyasu, A. Yoshino, R. Suzuki, Y. Yumoto, S. Hatakeyama

Characteristics of atmospheric aerosols containing heavy metals measured on Fukue Island, Japan

Atmos. Environ. (査読有) 97, 447-455, 2014.

N. Kaneyasu, K. Sato, A. Takami, T. Hidemori, Y. Matsumi, S. Yamamoto

PM2.5 and particulate substances concerned to human health at upwind areas of Japan

エアロゾル研究, 29, (査読有) 82-94, 2014.

N. Kurita, Y. Fujiyoshi, R. Wada, T. Nakayama, Y. Matsumi, T. Hiyama, K. Muramoto

Isotopic Variations Associated with North-South Displacement of the Baiu Front

SOLA, (査読有) 9, 187-190, 2013.

[学会発表](計 7件)

弓場彬江, 高橋けんし, 中山智喜, 松見豊

中赤外レーザー分光法を用いた CO<sub>2</sub> 安定同位体の測定: 都市の CO<sub>2</sub> 循環の解析

日本地球惑星科学連合 2014 年大会

2014 年 04 月 28 日 ~ 05 月 02 日

パシフィコ横浜

弓場彬江, 高橋けんし, 中山智喜, 松見豊, 都市部における CO<sub>2</sub> 発生源の推定: CO<sub>2</sub> 安定同位体比および CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> 濃度連続測定、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、

2013 年 05 月 19 日 ~ 24 日

幕張メッセ 国際会議場

Akie Yuba, Kenshi Takahashi, Tomoki Nakayama, Yutaka Matsumi

Analyses for CO<sub>2</sub> source in the urban area: simultaneous measurement of stable isotope ratio of CO<sub>2</sub> ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ), isotope ratio of water ( $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ), and concentrations of CO, NO<sub>x</sub>

17th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Tracer Measurement Techniques (GGMT-2013)

2013 年 06 月 10 日 ~ 4 日

Beijing, China

Akie YUBA; Kenshi TAKAHASHI; Tomoki NAKAYAMA; Yutaka MATSUMI

Continuous measurements for isotopic ratios of CO<sub>2</sub> ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), water vapor ( $\delta\text{D}$ , and  $\delta^{18}\text{O}$ ) in the urban area using laser IR spectroscopic techniques and their analysis with other pollutant species (CO, NO<sub>x</sub>).

AGU 2013 fall meeting

2013 年 12 月 09 日 ~ 13 日

San Francisco, California, USA

和田龍一、竹村匡弘、大内麻衣、中山智喜、松見豊、他 10 名

レーザー分光同位体計測装置を使用した森林内二酸化炭素および水蒸気同位体比のリアルタイム計測

日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012/5/21, 幕張メッセ 国際会議場

弓場彬江, 村田祐輔, 中山智喜, 松見豊、他 5 名, 高山の落葉樹林タワーにおけるレーザー分光計測装置を用いた CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O 連続観測: CO<sub>2</sub> ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), H<sub>2</sub>O ( $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) の日内変動要因解析

第 18 回大気化学討論, 2012 年 11 月 6-8 日, 福岡県朝倉市ホテルパーレンス小野屋

Akie YUBA; Yusuke MURATA; Tomoki NAKAYAMA; Yutaka MATSUMI 他 5 名

Continuous measurement and analyses of carbon and oxygen isotopic composition of CO<sub>2</sub> focused on carbon cycle at a cool temperate deciduous forest in Takayama, Japan

AGU 2012 fall meeting, 2012 年 12 月 5 日, San Francisco, California, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松見 豊 (MATSUMI, Yutaka)  
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授  
研究者番号: 30209605

(2) 研究分担者

中山 智喜 (NAKAYAMA, Tomoki)  
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・講師  
研究者番号: 40377784