

レーザーガスセンシング技術を用いた安定同位体比分析とその応用

吉村 了行^{†*a)} 保井 孝子[†] 界 義久^{†**}

Stable Isotope Ratio Analysis Using Laser Gas Sensing Technology and Its Applications

Ryoko YOSHIMURA^{†*a)}, Takako YASUI[†], and Yoshihisa SAKAI^{†**}

あらまし レーザガスセンシング技術は温室効果ガスモニタをはじめ、様々な分野で使われている技術であるが、近年、安定同位体比分析への応用ができるようになり注目されている。本論文では、レーザーガスセンシング技術の特徴と応用例について、なかでも特に安定同位体比分析による食品・飲料品の産地・原料など起源・由来に関する情報推定への応用を中心に紹介する。

キーワード レーザガスセンシング、レーザー吸収分光法、安定同位体比、産地推定

1. ま え が き

地球温暖化・大気汚染防止などの環境保全や、安心・安全な社会構築などの目的のため、高速・高感度ガスセンシング技術へのニーズが高まっている。レーザー吸収分光法を用いたレーザーガスセンシング技術 [1] は、二酸化炭素やメタン、硫化水素などの多くの重要なガスの種類や濃度を高速かつ高感度に測定することができるなどの優位性があるため、様々な分野へ応用が拡大している。特に近年、高感度化技術の進歩により、安定同位体比分析に利用可能な装置が開発され、ますます注目されている。

本論文では、レーザーガスセンシング技術とその応用について、特に安定同位体比分析への応用を中心に報告する。

2. レーザガスセンシング技術の動作原理と特徴

レーザーガスセンシング技術の基本的な動作原理を図 1 に示す。ガス分子は吸収線と呼ばれるある特定の

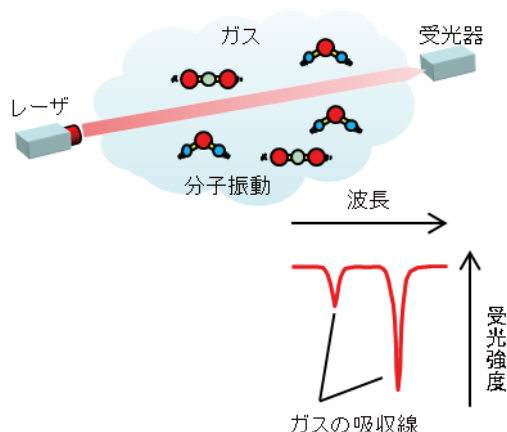


図 1 レーザガスセンシング技術の動作原理
Fig. 1 Fundamental principle of laser gas sensing technology.

波長の光のエネルギーを選択的に吸収し分子振動する性質がある。この吸収線に波長を合わせたレーザー光源を準備し、その吸収線をまたぐようにレーザー光源の波長を変化させながら被測定ガス通過後の光強度を測定すると、図 1 に示すようにガスの吸収線の波長で受光強度が小さくなる。この吸収波長と吸収強度から、被測定ガスの種類と濃度を知ることができる。レーザー吸収分光法 (LAS: Laser Absorption Spectroscopy)、あるいは、光源として、通常半導体レーザーが用いられるため、波長可変半導体レーザー吸収分光法 (TDLAS:

[†] 日本電信電話株式会社 NTT デバイスイノベーションセンタ、厚木市

NTT Device Innovation Center, NTT Corporation, 3-1 Morinisato Wakamiya, Atsugi-shi, 243-0198 Japan

* 現在, NTT エレクトロニクス株式会社

** 現在, NTT アドバンステクノロジー株式会社

a) E-mail: yoshimura-ryoko@ntt-el.com

Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) と呼ばれる。

実際の応用では、多くの場合いろいろな高感度化手法が併用して用いられている。そのなかでも近年、共振器を利用することにより飛躍的な高感度化を実現するキャビティリングダウン分光法 (CRDS: Cavity Ring-down Spectroscopy) [2] や Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy (OA-ICOS) [3] を用いた装置が開発され注目されている。

レーザガスセンシング技術において、高感度化する方法の一つは、被測定ガス中をレーザ光が通る光路長を長くすることである。しかしながら光路長を物理的に長光路化する方法は、野外の大気環境計測などオープンパスでの測定に対しては有効であるが、装置内にガスセルを設置する通常的气体センシング装置に適用する場合、光路長を長くすればするほど装置が大型になるという問題があるため、通常はせいぜい数十 cm～数 m 程度が限界である。CRDS や OA-ICOS は、高反射ミラーを用いて光を共振させることによりレーザ光をセル内に閉じ込め、光がミラー間を何千～何万回も通過したのと同等の効果をj得るといふ技術である。そのため有効光路長が数 km 以上という飛躍的な高感度化を実現することが可能となる。

レーザガスセンシング技術の優位性として、前述した高感度に加え、高速、高分解能という特徴を挙げることができる。

微量ガス分析のために使われる、従来の高感度ガス測定法としては、ガスクロマトグラフィ (GC: Gas Chromatography) や質量分析法 (MS: Mass spectrometry), フーリエ変換赤外分光法 (FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy) などが知られている。しかしながら、これらの測定法はおおむね数分～数時間の測定時間を必要とするためリアルタイム測定に用いることは困難である。一方、レーザガスセンシング技術は、用途にもよるがおおむね ms～数 s 程度の短い測定時間で微量ガスの高感度測定が可能であり、リアルタイム測定に適用できるという優位性がある。そのため、レーザガスセンシング技術は、過渡現象の観測やプロセス制御のためのリアルタイムガスモニタなどの用途によく利用されている。

波数分解能が高いということも、レーザガスセンシング技術の重要な特徴の一つである。条件にもよるが、ガスの吸収線幅は目安として 10^{-2} cm^{-1} 程度である。一般的な FTIR の波数分解能は 1 cm^{-1} 程度であり、

ガスの吸収線幅よりも広いため、FTIR では近接する吸収線の干渉の影響を受けやすいという問題がある。一方、レーザガスセンシング技術の波数分解能はおおよそレーザのスペクトル線幅で決まるので、目安として 10^{-4} cm^{-1} 程度であり、ガスの吸収線幅よりも 2 桁程度小さい。すなわちレーザガスセンシング技術は、ガスの吸収線強度測定だけでなく、吸収線幅の変化や吸収線のプロファイル測定に用いることができるほどの高い分解能を有する。そのため、近接する複数の吸収線の強度を、互いの干渉の影響を排除し独立に測定することも可能となる。この高分解能という特徴に加え、前述した CRDS のような超高感度化技術の進歩により、安定同位体比分析のような高度な応用が可能となった。安定同位体比分析を行うためには、近接した複数の吸収線のそれぞれの吸収強度を、高精度・高感度で測定する必要があるが、前述した高感度・高分解能という優位な特徴により、それが可能となる。この安定同位体比分析にj応用可能ということは、レーザガスセンシング技術の際立った特徴の一つである。

3. レーザガスセンシング技術の応用例

レーザガスセンシング技術は、高感度ガス測定法として前述したような多くの優位な特徴を有するため、環境保全、作業環境等の安全確保、プロセス制御など様々な分野でj応用されている。代表的な応用例を表 1 に示す。

表 1 レーザガスセンシング技術の応用例
Table 1 Application examples of laser gas sensing technology.

環境保全	<ul style="list-style-type: none"> 温室効果ガスモニタ・排出量監視 煙道排ガスモニタ 脱硝プロセス (NOx 排除) 制御用ガスモニタ
安全確保	<ul style="list-style-type: none"> ガス漏れ検知 危険性ガス (引火性ガス、有毒ガス) 検知 火災検知器
プロセス制御	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼機関のリアルタイムガスモニタ 製鉄所、アルミ製錬所等におけるプロセスガスモニタ 半導体用プロセスガス中の残留水分等微量ガス分析
起源・由来の分析	<ul style="list-style-type: none"> 食品の産地等の分析・偽装抑止 バイオプラスチックのリサイクル材料管理 地球環境研究 (水・炭素循環、メタン排出等)

二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスモニタは代表的な応用例の一つである。レーザガスセンシング技術を用いた温室効果ガスモニタは、高速、高感度であるうえに、従来用いられてきた非分散赤外線 (NDIR: Non Dispersive InfraRed) 方式などのガスモニタと比べ校正やメンテナンスの手間、及びコストが大幅に削減できるなどの利点を有するため、世界気象機関 (WMO: World Meteorological Organization) や気象庁など、世界中の観測機関に採用され利用されている。

作業環境などの安全確保を目的とした、有毒ガスや引火性ガスの検知器も代表的な応用例である。レーザガスセンシング技術は、超高感度であるためわずかな危険なガスの発生を検知することができる。そのため、化学工場や油田、炭鉱などにおけるフッ化水素や硫化水素などの有毒ガスの検知や、メタンなどの引火性ガスの検知に利用されている。また、比較的小型化が可能であるという利点を有するため、作業者が携帯可能なポータブルリモートメタンディテクタ [4] や、装置を自動車に搭載し、走行しながらガスを吸引、分析しガス漏れの有無を調べる車載式ガス漏れ検知システムなど、可搬性を活かした応用も実用化されており、ガス会社などにおける点検作業などに利用されている。

火力発電所のボイラなどの燃焼機関を効率良く動作させるためのリアルタイムガスモニタや、製鉄所やアルミ製錬所で用いられるフッ化水素や一酸化炭素、二酸化炭素などのプロセスガスモニタも重要な応用例である。レーザガスセンシングは高速、高感度であるため高感度リアルタイム計測に適した方法である。この利点を活かして、様々な分野でプロセス制御用のガスモニタに応用されている。

近年、前述した CRDS などの高感度化技術の進歩により、酸素、水素、炭素などの安定同位体比を高精度で分析できる装置が実用化され、注目されている。

安定同位体比分析は、物質の起源・由来に関する情報を判別・推定するために有用な技術であり、古くから地球惑星科学や環境学、考古学などの分野で様々な研究が行われてきた。しかしながら従来は、同位体比質量分析法 (IRMS: Isotope Ratio Mass Spectrometry) や核磁気共鳴分光法 (NMR: Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) のような、大型・高価で操作が難しい計測装置を用いる必要があったため、応用拡大のネックとなっていた。レーザ分光方式の安定同位体比分析装置は、小型で操作性、可搬性に優れるな

どの多くの利点があるため、様々な分野への応用拡大が期待されている。

安定同位体比分析の応用拡大が期待される分野の一つに、食品の産地推定など、起源・由来分析への応用がある。以下、本論文では、我々が行ってきたレーザガスセンシング技術を用いた安定同位体比分析の食品の産地推定などへの応用について紹介する。

4. レーザガスセンシング技術を用いた安定同位体比分析と食品の産地推定など起源・由来分析への応用

4.1 食品の安定同位体比分析

食品・飲料品は水素、炭素、酸素などの元素で構成されているが、これらの元素には安定同位体が存在する。例えば、水素は ^1H の他にごくわずか (0.015%程度) であるが重水素 (D または ^2H と記す) が存在する。炭素は ^{12}C の他に 1.1%程度 ^{13}C が、酸素は ^{16}O の他に 0.2%程度 ^{18}O が存在する。食品・飲料品に含まれるこれらの元素の安定同位体比を精密に分析すると、その食品・飲料品の産地など起源・由来に関する情報を調べることができる [5]~[7]。

これらの安定同位体比が産地などの起源・由来に関する情報と関連する理由としては、概して言えば二つの要因がある。

酸素同位体比 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)、水素同位体比 (D/H) に関しては、降水の同位体比の地理的分布の影響が大きいと言われている。水分子には H_2^{16}O の他に、 HD^{16}O 、 H_2^{18}O などの重い同位体元素を含む重い水分子が存在する。降水中に含まれるこれらの重い水分子の比率は地理的情報と密接に関係しており、概して言えば、熱帯地域のような低緯度で温暖な地域ほど重い同位体の比率が大きく、極地のような高緯度で寒冷な地域ほど重い同位体の比率は小さいことが知られている [8]。動物や植物は通常その地に降った降水を取り入れて生育するため、それらの酸素・水素同位体比はその地に降る降水の同位体比となんらかの相関を生じると考えられる。この相関性を利用すれば、産地推定に応用できると期待される。

炭素同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) に関しては、原料、餌となる植物の種類の影響が大きいと言われる。植物は大気から二酸化炭素を取り込み、光合成により糖を合成するが、米や麦、ブドウなど C3 植物と呼ばれる植物と、トウモロコシやサトウキビなどの C4 植物と呼ばれる植物では光合成のメカニズムが異なるため、光合

成によって取り込む炭素同位体比の比率に差が生じ、C4植物の方がC3植物より ^{13}C を多く取り込むことが知られている。そのため、食品・飲料品に含まれる炭素同位体比は、それらの原料や餌がC3植物由来かC4植物由来かにより異なる値を示すため、炭素同位体比は原料や製法の判別・推定に利用することができる。

4.2 安定同位体比の表記

通常、安定同位体比は δ 値と呼ばれる標準物質に対する試料の安定同位体比の差を千分率(‰:パーミル)で表した値で表記される。 δ 値の定義式を下記に示す。

$$\delta X = (R_{\text{試料}}/R_{\text{標準}} - 1) \times 1000$$

ここでXは酸素、水素、炭素に対して、それぞれ ^{18}O 、D、 ^{13}C を表し、Rはそれぞれの元素の同位体比、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、D/H、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ を表す。標準試料としては、国際原子力機関 (IAEA: International Atomic Energy Agency) が国際標準試料として指定しているものが通常は用いられる。酸素、水素同位体比に対しては、通常VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) を標準試料として δ 値は定義される。炭素同位体比に対しては、通常VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) を標準試料として δ 値は定義される。以下、本論文で記載している δ 値は、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD に関してはVSMOWを、 $\delta^{13}\text{C}$ に関してはVPDBを標準試料として定義した値を示している。

4.3 安定同位体比分析装置

本研究では2台のレーザ分光式の安定同位体比分析装置を用いた。

1台は蒸発器付の水同位体比アナライザL2120-i (Picarro, Inc., CA, USA)である。この装置は、試料を 110°C に設定された蒸発器中に注入し、試料中の水を水蒸気化した後、CRDS方式の同位体比アナライザに送り、試料中の水の酸素・水素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$ 、 δD)を分析する装置であり、果汁や飲料品などに含まれる水分の安定同位体比を分析するのに用いることができる。

もう1台は燃焼炉付の炭素・水素同位体比アナライザB2221-i (Picarro, Inc., CA, USA)である。この装置は、主として有機物に含まれる炭素、または水素同位体比を分析するために用いられる。試料は 980°C に設定された燃焼炉内で燃焼する。十分な量の酸素を供給しながら燃焼させるため、試料は完全燃焼し、試料有機物中の炭素原子は二酸化炭素に、水素原子は水(水蒸気)に変換させられる。この発生した二

表2 測定した水の採水地と緯度
Table 2 Sampling location and latitude.

記号	採水地	緯度
a	沖縄久米島(海洋深層水)	-
b	沖縄久米島	北緯26度
c	宮崎生駒高原	北緯32度
d	徳島竜ヶ岳	北緯34度
e	神奈川厚木(水道水)	北緯35度
f	山梨白州	北緯36度
g	青森白神山地	北緯40度
h	北海道羊蹄山	北緯43度

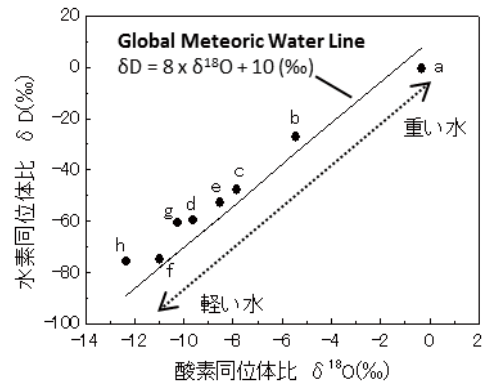


図2 日本国内の水の酸素・水素同位体比
Fig. 2 Oxygen and hydrogen isotopic composition of water in Japan.

酸化炭素と水蒸気を、CRDS方式の同位体比アナライザに送り、 $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 、及びHDO/ H_2O を測定することにより、試料有機物に含まれる炭素・水素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ 、 δD)を分析することができる。

4.4 日本国内の水の酸素・水素同位体比分析

採水地の異なる日本国内のボトルウォーター7種、及び我々の研究所内で採取した厚木市水道水の合計8種の水を準備し、L2120-iを用いて酸素・水素同位体比を測定した。表2はそれぞれの水の採水地とその地の緯度を示したものである。測定結果を図2に示す。図2の横軸は酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ 、縦軸は水素同位体比 δD を表す。また、図2中の直線は、世界の天水線(Global Meteoric Water Line)と呼ばれるもので、世界の降水に関する平均的な $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係を示すものである。

aとbはともに沖縄久米島の水であるが、大きな違いがある。aは海洋深層水、bは陸上の水源から採取された湧水である。標準試料であるVSMOWは平均

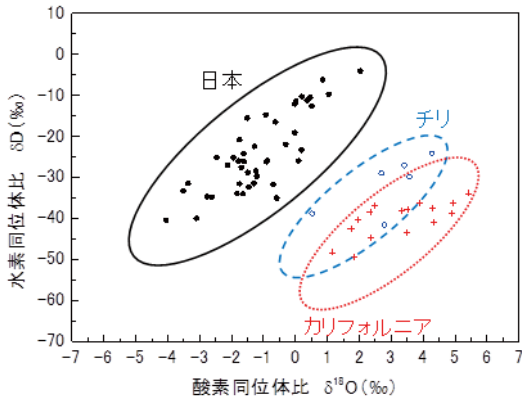


図3 レモンの産地と酸素・水素同位体比

Fig. 3 Isotopic composition of juice squeezed from lemons.

的な海水の値を標準として定められたものである。海洋深層水 a の $\delta^{18}\text{O}$, δD はほぼ 0 になっていることがわかる。陸上の水源から採取した水 b~h は、おおよそ採水地が高緯度になるほど同位体比は小さくなる、すなわち軽い水になっていることがわかる。h の竜ヶ岳と f の白州の値が例外的に緯度の順にはなっていないが、これはこれらの水源が他の水源に比べ標高が高いことが影響していると考えられる。

降水の同位体比が地理的条件と関連するのは、軽い水分子の方が重い水分子よりも蒸発して気体になりやすく、凝結して水に戻りにくいという化学的性質に起因している。そのため、大気中を漂う水蒸気は海の水よりも軽くなり、その軽い水蒸気の中の比較的重い成分が先に赤道に近い温暖な地方で雨となり、ますます軽くなった水蒸気が寒冷地に移動して軽い水の雨や雪を降らせるというように説明される。図 2 の結果は、その理由から考えて合理的な結果になっていることがわかる。

4.5 レモン果汁中の水の酸素・水素同位体比分析

安定同位体比分析による食品の産地推定への応用の可能性を検討するため、日本産、及び海外産のレモンを多数集め、それらのレモン果汁中の水の酸素・水素同位体比の測定を行った [9]。測定した試料は日本産 43 検体、チリ産 6 検体、カリフォルニア産 16 検体である。

測定用試料は、絞り器を用いてレモンを絞り採取したレモン果汁を $5\mu\text{m}$ 、及び $0.2\mu\text{m}$ のシリンジフィルタを順次用いてろ過することにより作製した。作製したレモン果汁試料中の水の酸素・水素同位体比を

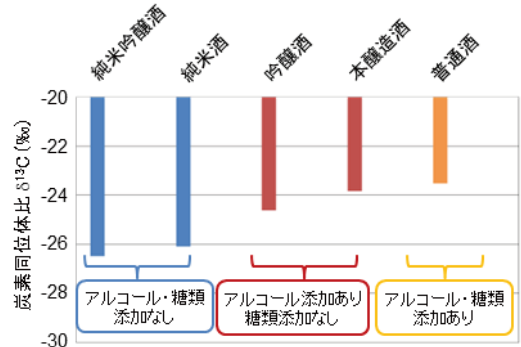


図4 日本酒の炭素同位体比分析

Fig. 4 Carbon isotope analysis of Japanese sake.

L2120-i を用いて測定した結果を図 3 に示す。図 3 から日本産、チリ産、カリフォルニア産のレモンでは、酸素・水素同位体比の分布に差があることがわかる。この結果は安定同位体比分析が食品の産地推定に有効な手法となる可能性があることを示していると考えられる。

4.6 日本酒の炭素同位体比分析

日本酒は、原料・製法の違いにより純米酒、本醸造酒など表示が許される名称に違いがある。これら原料・製法の違いを判別するために同位体比分析が有効か否かを検討するため、日本酒の炭素同位体比分析を行った [9]。

同一の酒造が製造した製法の異なる 5 種の日本酒 (純米吟醸酒、純米酒、吟醸酒、本醸造酒、普通酒) を入手し、それぞれの日本酒をマイクロピペットを用いて液体用スムーズウォールカプセルに入れた後、液が漏れないようカプセルシーラを用いて口をシールして測定用試料とした。それらの日本酒試料の炭素同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ を B2221-i を用いて測定した。結果を図 4 に示す。純米吟醸酒、純米酒に比べ、吟醸酒、本醸造酒の $\delta^{13}\text{C}$ は高い値を示し、普通酒の $\delta^{13}\text{C}$ は更に高い値を示していることがわかる。これは、純米吟醸酒、純米酒は米と麴のみを原料としているのに対し、吟醸酒、本醸造酒は米、麴他に醸造用アルコールが添加され、普通酒には更に糖類が添加されているためと考えられる。米、麴は C3 植物由来の原料であるため、それらを原料として作られたエタノールなどの日本酒中の有機物中の炭素の $\delta^{13}\text{C}$ は、C3 植物特有の値である $-30\sim-25\%$ 程度の値になる。一方、醸造用アルコールや添加用糖類は、ほとんどの場合 C4 植物由来の原料で作られている。C4 植物の $\delta^{13}\text{C}$ は $-15\sim-10\%$

程度と、C3植物より高いため、醸造用アルコールや添加用糖類の添加量が増えるに従い、 $\delta^{13}\text{C}$ は高い値を示すようになるものと考えられる。この結果は、同位体比分析が日本酒の原料・製法の検査・分析に有効な手法となる可能性があることを示していると考えられる。

5. む す び

レーザガスセンシング技術は、高速、高感度、高分解能など多くの優位な特徴をもつガス分析法であるため、様々な分野で応用されている。なかでも、安定同位体比分析への応用は、今後、広範な応用拡大が期待される分野の一つである。

レーザガスセンシング技術を用いた安定同位体比分析の食品の産地推定など起源・由来分析への応用の可能性を検討するため、CRDS方式の安定同位体比分析装置を用いて検討を行った。水及びレモン果汁中の水の酸素・水素同位体比を分析することにより、水やレモンの産地推定に応用できる可能性が示唆された。また、日本酒の炭素同位体比を分析することにより、日本酒の原料・製法の検査に応用できる可能性が示唆された。

レーザガスセンシング技術による安定同位体比分析技術は、食品の産地や原料・製法の判別・推定以外にも、二酸化炭素などの温室効果ガスの発生源（化石燃料、バイオマス、生物呼吸など）の推定[10]や、バイオプラスチックのリサイクル材料検査など、様々な分野への応用が検討されており、今後ますます注目されていくと期待される。

文 献

- [1] 吉村了行, 神徳正樹, 藤井孝治, 阪本 匡, 界 義久, “高感度レーザガスセンシング技術と同位体比分析応用,” NTT技術ジャーナル, vol.26, no.2, pp.27–30, Feb. 2014.
- [2] A. O’Keefe and D.A.G. Deacon, “Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources,” Rev. Sci. Instrum., vol.59, no.12, pp.2544–2551, Dec. 1988.
- [3] D.S. Baer, J.B. Paul, M. Gupta, and A. O’Keefe, “Sensitive absorption measurements in the near-infrared region using off-axis integrated cavity output spectroscopy,” Appl. Phys. B: Lasers and Optics, vol.75, no.2, pp.261–265, Sept. 2002.
- [4] M.B. Frish, R.T. Wainner, J. Stafford-Evans, B.D. Green, M.G. Allen, S. Chancey, J. Rutherford, G. Midgley, and P. Wehnert, “Standoff sensing of natural gas leaks: evolution of the remote methane leak detector (RMLD),” CLEO/QELS 2005, Baltimore, U.S.A., May 2005.
- [5] S. Kelly, K. Heaton, and J. Hoogewerff, “Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis,” Trends in Food Science & Technology, vol.16, no.12, pp.555–567, Dec. 2005.
- [6] 伊永隆史, “軽元素安定同位体比解析による食品の産地鑑別研究,” 食品衛生学雑誌, vol.51, no.5, pp.197–204, Oct. 2010.
- [7] 鈴木彌生子, “産地判別:安定同位体比:軽元素,” 食品表示を裏づける分析技術—科学の目で偽装を見破る, 日本分析化学会 表示・起源分析技術研究懇談会, 2.3.1, pp.46–53, 東京電機大学出版局, 東京, 2010.
- [8] <http://www.waterisotopes.org>
- [9] 大橋 大二, 宗研 一郎, 吉田 明弘, 植松 尚, 望月 伸晃, 保井 孝子, 吉村了行, 界 義久, “農業分野における R&D の取り組み,” NTT 技術ジャーナル, vol.28, no.3, pp.27–31, March 2016.
- [10] K. Tanaka and K. Tonokura, “Sensitive measurements of stable carbon isotopes of CO₂ with wavelength modulation spectroscopy near 2 μm ,” Appl. Phys. B: Lasers and Optics, vol.105, no.2, pp.463–469, Nov. 2011.

(平成 29 年 2 月 27 日受付, 7 月 14 日公開)



吉村 了行 (正員)

1987 慶應義塾大学・理工・物卒。1989 同大学院修士課程修了。同年, 日本電信電話株式会社入社。以来, ポリマ光回路, 半導体光デバイス, 及びその応用技術の研究開発に従事。2001 年博士 (工学)。NTT デバイスイノベーションセンター主任研究員。

2017 年 4 月より, NTT エレクトロニクス株式会社にて勤務。



保井 孝子

1994 年早大・理工・材工卒。1996 年同大学院修士課程修了。同年, 日本電信電話株式会社入社。主に, 光通信用半導体デバイスの研究, 半導体レーザのガスセンシング応用に関する開発及びプロモーション活動に従事。現在, NTT デバイスイノベーションセンター主任研究員。



界 義久 (正員)

1986 年金沢大学・工・電子工学卒。1988 年同大学院修士課程修了。同年, 日本電信電話株式会社入社。以来, 半導体レーザ, 及びその応用技術の研究開発に従事。1995 年博士 (工学)。2016 年より, NTT アドバンステクノロジー株式会社にて勤務。