



解説

ICP発光分光分析法による水中マイクロプラスチックの計測

Measurement of Microplastics in Water by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer

寺本慶之

TERAMOTO Yoshiyuki

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 環境創生研究部門 界面化学応用グループ

(原稿受付：2022年11月28日)

近年話題となっているマイクロプラスチック (MP) は、海洋汚染をはじめ、飲料水や食品への混入も報告されており、非常に身近な環境問題といえる。特に微小な MP は人体へのリスクが高いにも関わらず、迅速かつ正確な計測手法が存在しないため、定量的な実態把握がされていないのが現状である。本稿では、喫緊の課題を解決すべく開発に取り組んでいる時間空間分解誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-OES) について紹介する。本手法は、試料のプラズマ中における原子化発光過程を高い時間空間分解で詳細に観察することで、そのサイズ・化学構造に起因する原子発光過程の特徴から粒子分析を試みるものである。疑似 MP 分散液を用いた計測では、試料導入の安定化を図ることで、ハイスループットに高精度な粒度分布計測が行えることを確認した。また、混入物が多い系における MP 計測について発光過程の特徴から検討した。

Keywords:

plasma, ICP, microplastic, spectroscopy, water, environmental

1. はじめに

近代社会においてプラスチックは様々な用途に用いられ、生活に欠かせないものである。世界全体のプラスチック生産量は1950年あたりから増加し続け、現在では年間約4億トンに達し、その総量は80億トンを超えた。これに伴いプラスチック廃棄物も急激に増え、日本においては1人当たりのパッケージ用プラスチックごみの発生量が、アメリカに次いで世界で2番目に多い国となった。約半数が使い捨て目的で生産され、リサイクルされるプラスチックは10%以下と極めて少ない。何らかの要因により回収経路から漏れたプラスチックは自然環境へ流出しており、日本でも年間数万トンのプラスチックが海洋に流出していると推算されている[1,2]。

自然環境中のプラスチックは紫外線による劣化、摩擦や温度差による伸縮などの影響を受け、破碎を繰り返して次第に「マイクロプラスチック (MP)」と言われる5mm以下のプラスチック片となる[3-6]。MPはこの他にも製品原料など製造時から微小なプラスチックも含まれる。これら様々な要因で生じたMPによる環境汚染が年々深刻になっており、現状の把握と今後の対策に向けて世界中で活発な調査、議論が行われている[7]。

1.1 生態系への影響

プラスチックは軽量で丈夫という利点を有している反面、一度海洋へ流出すると数百年間消えないゴミとして海洋を漂う。このため北極海に浮かぶ海氷中や海洋生物

の体内においてもMPが確認されている[8-10]。またMPは海洋を漂いながら化学物質を吸着するため、食物連鎖を通じて汚染物質が生体濃縮されることも明らかになっている。

そんなさなか、自然環境中におけるMPの化学変化による「知られざるリスク」が明らかになった。アメリカ北西太平洋のギンザケが小川で原因不明の大量死に至る事象が毎年発生しており、この原因が自動車タイヤ由来MPの「未知の毒物」であることが判明した[11]。タイヤに使われている酸化防止剤がオゾンと反応し、未知の毒性物質となっていたのである。タイヤは最大のMP排出源であるため、今後同様の被害が拡大していくものと予想される。

被害の予測、及び対策には海洋・河川におけるMPの定量的な実態把握が必要不可欠となる。特に数 μm サイズ以下の微小なMPは生体に取り込まれやすく、数が多いためリスクが高い[12-15]。しかし、現状の調査結果ではMPサイズが小さいほど、予測値と計測値との間に大きな乖離が生じており、定量的な実態把握が困難な状況である[16]。要因として混入物が多い液中において、微小なMPの量やサイズを迅速かつ正確に把握する手段が現状存在せず、これがMPの全貌を解明する上で大きな壁となっている。

1.2 人体への影響

今年に入り、人の血液からPETをはじめとしたMP

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, IBARAKI 305-8569, Japan

author's e-mail: yoshiyuki-teramoto@aist.go.jp

が検出されたというショッキングなニュースが流れた。健康な被験者から採取した血液サンプルを調べたところ、4分の3の被験者の血液の中から数10 μm 以下のPETをはじめとした5種類のMPが検出された[17]。一人当たり耳かき数杯程度の量に当たり、MPが血流に乗って臓器に運ばれる可能性[18]は科学的に十分にありうると推測されている。

血液への侵入経路は、飲食や呼吸による粘膜接触の可能性が高く、我々が日頃から口にするものの多くにMPが含まれていることを暗示している。この推測を支持するかのよう、多くの食料品から続々とMPの検出が報告されている。主要な国際ブランドのペットボトル入り飲料水においては、93%からMPが検出され、多いものでは1本あたり1万個以上にのぼり、その95%が100 μm 以下であった[19,20]。また合成繊維を使用したティーバッグでお茶を入れると、1袋から約100億個のMPと約30億個のナノプラスチック（NP：MPの中でも非常に微小なナノサイズのプラスチック）が液中に放出されることが報告されている[21]。この他にもスーパーで売られている調味料や野菜などからもMPが検出されている[22-24]。

一方で、食料品中の微小MPを計測することは難度が高く、実用レベルの計測法が無いのが現状である。近い将来、健康リスクへの関心の高まりから、MP計測需要と共に計測難度も上昇していくことが予測されるため、多様な条件下においても微小MPの量やサイズを迅速かつ正確に把握する計測手法の確立が急務である[25]。

2. MP計測

MP計測は、その計測環境や対象サイズを考慮し最適な手法を用いることが重要となる。特に混入物が多く、計測対象サイズが小さい場合には難度が高くなる。主な計測手法とその対象サイズ域・計測速度の概要を図1に示す。一般的に液中MPを計測する際は、一週間程度かけて化学処理による有機物の除去と比重分離の前処理を行う必要があり、計測手法によっては追加の前処理を要する。このため1サンプルの計測に要する時間は非常に長く、対象サイズが小さくなるほど回収率も下がるといった課題が残る。

2.1 現在の主な計測手法

最も安価で容易な手法として、プラスチック表面に付

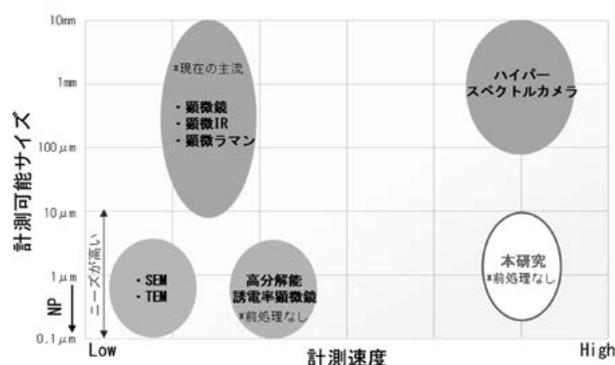


図1 主なMP計測手法の位置付け。

着する蛍光性染色試薬を用いた染色法による顕微鏡観察が挙げられる。一方で、プラスチック種の同定は行えないため、例えばペットボトル入り飲料水のMP計測など、計測対象溶液中の粒子が既知な系に使用が限られ、計測サイズ域は顕微鏡の分解能に依存する。プラスチック種の識別が必要な場合はラマン顕微鏡、顕微FT-IR（フーリエ変換赤外分光光度計）が用いられ、実用レベルで10 μm 程度まで測定可能である[26]。これらの手法も前処理が必須となるため、測定には時間を要する。

NPにおいては電子顕微鏡（SEM, TEM）による観測しか現状選択肢がなく、追加の前処理、及び測定毎におけるサンプル交換時間も含め測定には非常に時間がかかる[27,28]。ここで紹介した装置はそれぞれ一長一短があるものの、シチュエーションに合わせて利用することでMP計測における大きな武器となる。

2.2 新たな計測法

MP実態把握に向けて計測が律速となっている現状を打破すべく、様々な機関・企業において新たな計測手法の開発が行われている[29,30]。我々（国研）産業技術総合研究所においても領域横断プロジェクトとして高分解能走査電子誘電率顕微鏡、シングルパーティクル（sp）-ICP-MS（Mass Spectrometry）、時間空間分解ICP-OES（Optical Emission Spectrometry）などの手法を用い、微小MPの計測に取り組んでいる。開発した高分解能誘電率顕微鏡は、電子顕微鏡であるにもかかわらず試料を大気圧の状態にある特殊ホルダーに密閉することで、水溶液中のナノ粒子やエマルジョンなどを、前処理なく非破壊で10 nm以下の分解能で観察できるという特徴を有し、生体への影響が危惧されるNPの簡便な計測に重点を置いている[31,32]。一方、sp-ICP-MSと時間空間分解ICP-OESは、前処理なく微小なMPの量やサイズを迅速かつ正確に把握することを目的としている。時間空間分解ICP-OESについては次節で詳しく述べる。

（国研）海洋研究開発機構では、船上における海洋MPの材質・形状・サイズ・個数を迅速かつ自動で分析可能なシステム開発に取り組んでいる。ハイパースペクトルカメラと呼ばれる波長を細かく分光し、連続した数多くの波長要素（約100以上）を画像として取得できる特殊カメラと機械学習を活用した映像解析技術を組み合わせることを特徴としている。測定サイズ域などは未知な部分もあるが、海洋MPの現状を把握する上で非常に強力な武器になると期待されている。

3. 時間空間分解ICP-OESによるMP計測

一般的なICP-OES装置では高温アルゴンプラズマ（6000~10000 K）中に、ネブライザーを用い溶液試料を霧状に導入する。プラズマ中で試料は原子化、励起、発光し、そのスペクトルを回折格子により分光後、光電子増倍管やCCDで測定することにより元素の同定と定量を行う。プラズマヘランダムに導入された試料の発光を時間平均で測定するため、液中に粒子が存在していても平均濃度のみしか得られず、粒子数、粒子サイズといった

情報までは得られない。そこで試料を微小液滴として任意のタイミングで一滴ずつプラズマへ導入し、その挙動を計測する分析法が開発された（ドロプレット法）。この液滴に粒子を内包して射出することで、粒子個々の計測を可能とする。通常液滴生成にはピエゾ素子や電磁バルブを用いた装置を使用し、pL～nL程度の液滴を任意のサイズ・周波数で高精度に射出できる[33, 34]。

産総研では、粒子のプラズマ中における原子化発光過程をより高い時間空間分解で詳細に観察することで、そのサイズ・化学構造に起因する原子発光過程の特徴から、従来では行えなかった粒度分布計測・構造分析といった粒子分析可能な ICP-OES の開発に取り組んでいる[35]。装置の概要を図 2 に示す。ICP トーチは一般的な ICP 装置と異なり、ガス流が重力方向になるように設置されている（倒立型）。これは後述する試料液滴の安定導入を目的とするものである。全ての実験において ICP RF 電源 (T161-6227HAA, THAMWAY) の周波数は 27.12 MHz、電力は 1000 W とし、プラズマガス、補助ガス、キャリアガスの流量はそれぞれ 16, 1, 0.26 L/min とした。MP を含む試料分散液は、ピエゾ式液滴射出装置から直径 50 μm の液滴として 400 Hz でプラズマへ導入した。この際、液滴の直径誤差は 1% 以下であることを CCD カメラにより確認している。プラズマ中の試料を含む液滴の原子化発光過程は、石英レンズを装着したダブルモノクロメーター (M25-DP, Bunkoukeiki, 2400/mm (Blaze: 200 nm)) により ICP 側面から集光する。入口と中央スリット幅は、それぞれ 100 μm, 1 mm とし、MP 計測の際は波長を C (I) 193.09 nm に合わせ調整した。その後、イメージングインテンシファイア (C10880-13F, Hamamatsu Photonics K.K.) により増幅させ、ハイスピードカメラ (FASTCAM Nova S12, Photron) により撮影した。フレームレートは 40000 fps、空間及び波長分解能はそれぞれ 15 μm/pixel, 0.1 nm/pixel とした。予備実験として 10 μm の疑似 MP 分散液を計測した例では、プラズマ中で気化した液滴の水由来の OH 発光が現れた後、この消失と共に疑似 MP 由来の C 発光が徐々に現れるのが見て取れる (図 3)。

3.1 ハイスループット計測に向けた取り組み

微妙な原子化発光過程の特徴を捉えるためには、プラズマの変動を極力抑制し、計測起点となる原子化発光開

始位置を一定に保つ必要がある。一方で、ドロプレット法は従来法と比べ液滴サイズが 3 桁ほど大きいいため、導入時のプラズマインピーダンス変化も大きく、プラズマ明滅など ICP 擾乱の原因となる[36, 37]。条件にもよるが、安定状態への収束には数 10 ms を要するため、ドロプレット法の導入周波数は通常数 10 Hz である[38]。本研究では液中 MP 計測時のハイスループット化 (処理速度の高速化) に向けて、400 Hz と高い周波数に設定しているため、液滴間の時間間隔が 2.5 ms と短く、直前の液滴がプラズマ状態に与える影響が大きくなる。このため液滴がプラズマへ到達する際の時間間隔を一定に保つことが計測精度において重要となる。しかし、射出された液滴は外的要因によりプラズマへ導入される際の速度・経路がわずかに変動するため、液滴がプラズマに到達するタイミング、及び原子化開始位置にばらつきが生じ、計測誤差の要因となる。

そこで、従来と異なりプラズマトーチを倒立に設置し、重力方向 (重力とガス流の向きを揃える) へ試料を導入することで、試料をプラズマへ導入する際の速度・経路の安定化を図り、液滴到達タイミングと原子化開始位置のばらつきを抑制し、高周波数時における計測精度の向上を試みた。図 4 は液滴がプラズマに到達する際の時間誤差を示している。従来法では誤差が数 ms あったが、倒立型では約 200 μs と一桁の改善が見られた[39]。次に Ag ナノ粒子分散液を用い原子化発光開始位置を観測したところ、従来法と比較し倒立型では発光開始点にばらつきはみられなかった (図 5)。これらの結果から、従来と異なり重力方向へ試料を導入することにより試料導入の安定性が向上し、液滴到達タイミング及び原子化開始位置

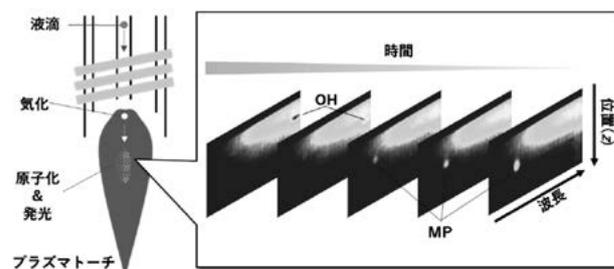


図 3 液滴に含まれる MP の原子化発光過程の様子。

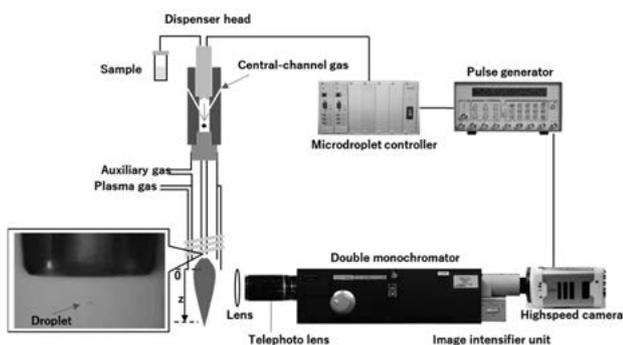


図 2 時間空間分解 ICP-OES 装置の概要 (参考文献[35]の図 1 を引用)。

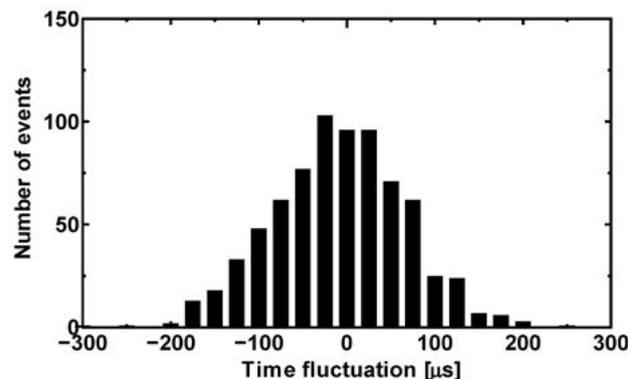


図 4 液滴がプラズマへ導入到達する際の時間誤差 (参考文献[35]の図 4 を引用)。

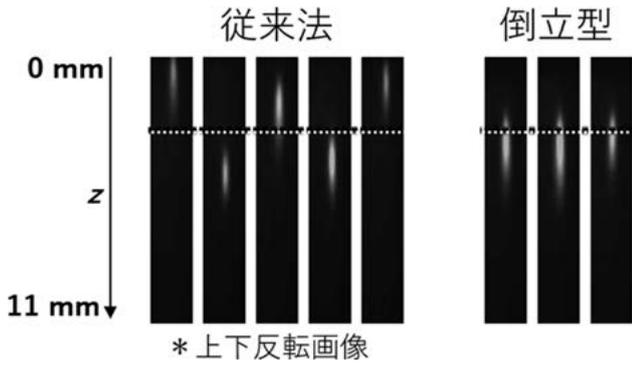


図5 従来法（重力逆方向）と倒立型（重力方向）における Ag 粒子の発光開始点のばらつき（計測波長：328.07 nm）.

のばらつきを抑制できることがわかった。これにより、ハイスループットで原子化発光過程の微妙な特徴を正確に捉えることが可能となる。

3.2 粒子サイズが原子化発光過程に及ぼす影響

疑似 MP として直径 1.5 μm と 3 μm のポリスチレンビーズ (Polysciences, Inc., USA) を使用し、粒径が発光過程に与える影響を調査した。3 μm ポリスチレン (PS) ビーズの分散液は、液滴に 2 個以上の PS ビーズが極力含まれないよう、1 液滴あたりの存在確率が 1/40 (3.82×10^5 particles/ml) になるように超純水で希釈した。また 1.5 & 3 μm PS ビーズの混合分散液は共に存在確率が 1/60 (2.55×10^5 particles/ml) になるように希釈した。

図 6 (a-c) に 3 μm PS ビーズ分散液の典型的な計測結果を示す。(a) は各画像データの発光強度積分値をプロットしたものである。図 6 (a) から、1 秒間 (= 400 shots) において PS ビーズ由来の炭素発光ピークが 12 回あり、その各発光強度から 1 液滴に 2 個以上の PS ビーズが含まれていないことがわかる。粒径 3 μm では frame 2 より原子化及び発光が開始し、frame 3 で発光強度がピークを迎

え、その後拡散により減衰している。一方、図 7 に示す 1.5 & 3 μm PS ビーズ混合分散液計測時の 1.5 μm PS ビーズの典型的な発光過程では、発光開始と発光強度ピークが共に frame 2 で確認され、粒径により発光過程が大きく変化することが見て取れた。また、図 6 (c), 7 (c) より見積もった総発光強度比 1.5 μm /3 μm は約 1/8 となり、質量比の 1/8 とよく一致した。これらの結果から、発光強度のみならず発光過程の特徴からも粒径の見積もりが可能であることがわかった。また発光強度比と質量比の一致は、プラズマ中において粒子が完全に原子化していることを示しており、10 μm の PS ビーズにおいても同様の傾向を確認したことから、ターゲットとする計測サイズ範囲において定量的な計測が行えることがわかった。

3.3 粒度分布計測

3 μm PS ビーズ分散液を用い 75 秒間 (= 30000 shots) の連続計測を行った結果、733 回の発光を確認した。理論上での発光回数 750 回に対し、実験値はその約 98% にあたる。一般的なネブライザーを用いた PS ビーズの導入効率は高くとも 50% 程度であるため、本手法は非常に高い効率で試料がプラズマに導入されていることを示している [30]。図 8 (a) は発光強度のヒストグラムを示したものであり、各粒子の発光強度は図 6 (b, c) より得られる一連の発光積分値である。PS ビーズを球と仮定した場合、その粒度分布は発光強度 (\propto 炭素原子数) の三乗根で表される。図 8 (b) は図 8 (a) の発光強度を三乗根で示したものであり、PS ビーズの粒度分布に相当する。このとき、CV 値 (Coefficient of Variation) は 6 % と見積もられ、オリジナルの CV 値 (< 5 %) と非常に近い値が得られた。図 9 (a, b) は PS ビーズ混合分散液を 25 秒間連続計測した際の発光強度のヒストグラム、及びこれを三乗根で示したもので

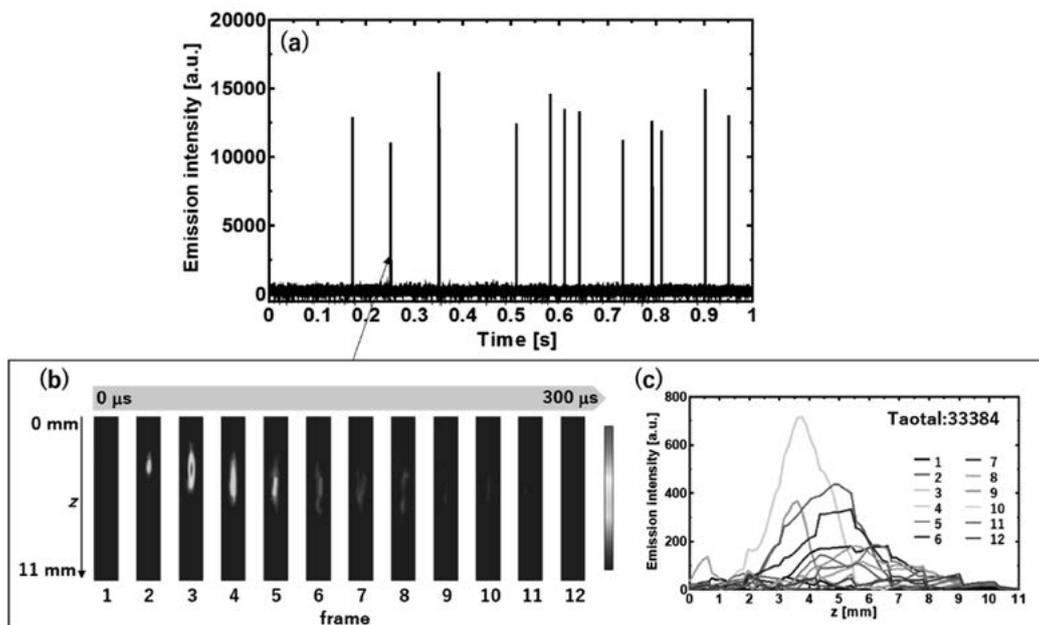


図 6 3 μm PS ビーズ分散液の計測例 (a) 1 秒間の発光強度, (b) 典型的な発光過程, (c) z 軸方向の発光強度分布 (参考文献 [35] の図 2 を引用).

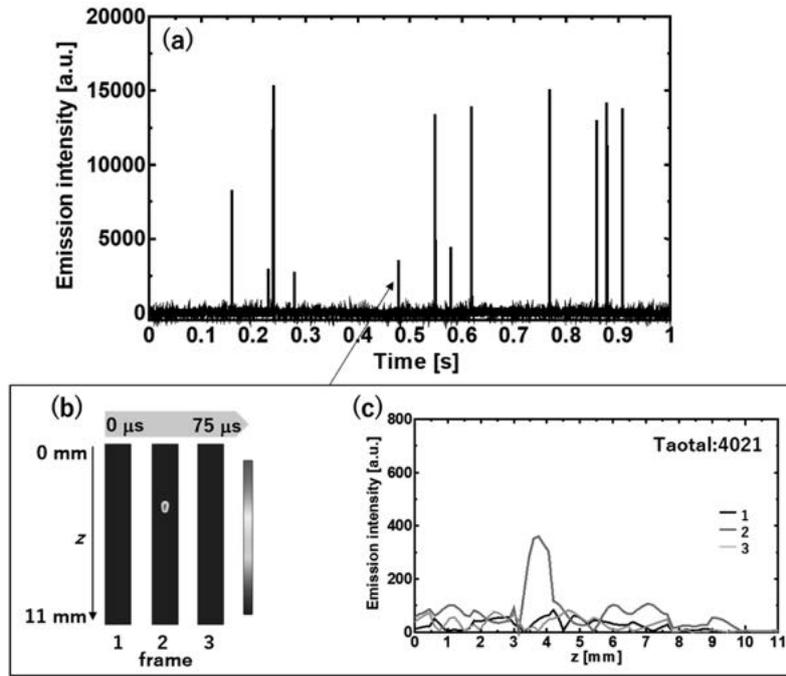


図7 1.5 μm & 3 μmPS ビーズ混合分散液の計測例 (a) 1秒間の発光強度, (b) 1.5 μmPS ビーズの典型的な発光過程, (b) z 軸方向の発光強度分布 (参考文献[35]の図6を引用).

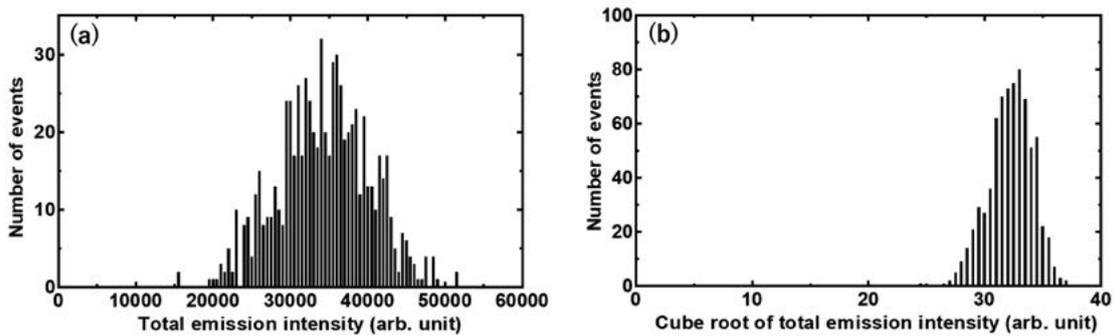


図8 3 μmPS ビーズ分散液計測時における(a)発光強度のヒストグラムと(b)その発光強度三乗根表記 (参考文献[35]の図5を引用).

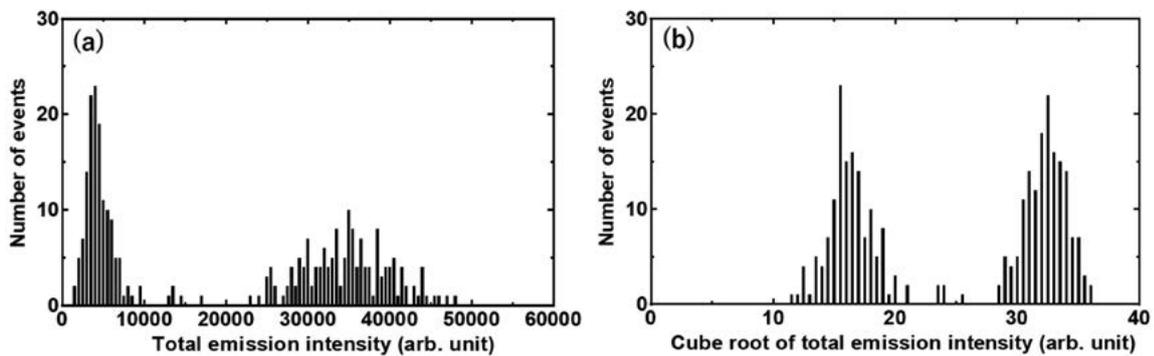


図9 1.5 μm & 3 μmPS ビーズ混合分散液計測時における(a)発光強度のヒストグラムと(b)その発光強度三乗根表記 (参考文献[35]の図7を引用).

ある. 1.5 μm, 3 μm に対応した144回と157回の発光が確認され, 2つのピークが明確に区別できる. 本研究では, 従来と比較し非常に高い周波数で液滴を射出しているため, プラズマインピーダンスの変動により, 発光強度に大きな影響を及ぼす懸念があったが, 良好な CV 値が得られたことから, ハイスループットにおいても高精度に計

測が行えることが示された.

3.4 同一元素が計測に与える影響

MP 計測では炭素原子の発光を利用しているが, 多くのケースでは液中に他由来の炭素原子が含まれる. 例えば海洋水では, 木片や微生物など多種多様な炭素源が混在する. このため前処理なく迅速に計測を行うためには,

同一元素存在下においてMPの識別が行えなければならぬ。図10は0.1 ppmの酢酸(CH₃COOH)水溶液を射出した際の典型的な炭素原子の発光過程である。MP計測時と異なり(図6), 発光開始位置がより上流で, 発光開始時から縦方向にブロードに発光していることが見て取れる。これは互いの酸化温度を考慮すれば, リーズナブルな結果といえる。同様に同じ固体であっても, 融点に差があれば発光過程に差が生じる。現在, PS以外の炭素含有粒子における発光過程を調査しており, これを基に同一元素存在下におけるMP計測, 及びプラスチック種の同定に取り組んでいる。一方で, 様々な発光過程パターンの微妙な特徴を迅速かつ正確に判別することは人間には困難であるため, 機械学習による特徴量の抽出, 及び判断モデルの作成を計測と並行で行っている。

4. まとめ

本稿ではMP問題, 及び将来のリスク予測・対策に必要な不可欠な計測手法の現状と, 新たなアプローチの一つとして時間・空間分解ICP-OES法について述べた。様々な条件下における, 微小MPの迅速かつ正確な計測を実現とすることで, 早急な実態把握をめざしており, 現在は食品をはじめとした実サンプル中のMP計測に取り組んでいる。

シミュレーションにおいて, 日本近海に浮遊するMP濃度が2030年には現在の2倍になると予測されており, 世界規模で環境・健康リスクの上昇は避けて通れない[40]。この来るべき未来の問題解決に向けて, 計測・対策が両輪となって発展していくことが必要不可欠である。

参考文献

- [1] J.R. Jambeck *et al.*, *Science* **347**, 768 (2015).
- [2] R. Geyer *et al.*, *Sic. Adv.* **3**, e1700782 (2017).
- [3] B. Nguyen *et al.*, *Acc. Chem. Res.* **52**, 858 (2019).
- [4] J. Gigault *et al.*, *Environ. Sci. Nano* **3**, 346 (2016).
- [5] A. Jahnke *et al.*, *Environ. Sci. Technol.* **4**, 85 (2017).
- [6] A.L. Andrady, *Mar. Pollut. Bull.* **62**, 1596 (2011).
- [7] J.P. da Costa *et al.*, *Sci. Total Environ.* **566**, 15 (2016).
- [8] A.L. Lusher *et al.*, *Mar. Pollut. Bull.* **67**, 94 (2013).
- [9] C.M. Boerger *et al.*, *Mar. Pollut. Bull.* **60**, 2275 (2010).
- [10] D. Neves *et al.*, *Mar. Pollut. Bull.* **101**, 119 (2015).
- [11] Z.Y. Tian *et al.*, *Science* **371**, 185 (2021).

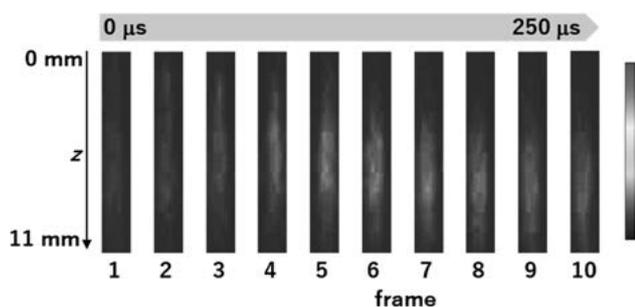


図10 酢酸水溶液計測時の典型的な発光過程。

- [12] S.L. Wright and F.J. Kelly, *Environ. Sci. Technol.* **51**, 6634 (2017).
- [13] H. Bouwmeester *et al.*, *Environ. Sci. Technol.* **49**, 8932 (2015).
- [14] S. Anbumani and P. Kakkar, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **25**, 14373 (2018).
- [15] S.A. Strungaru *et al.*, *TrAC* **110**, 116 (2019).
- [16] A. Isobe *et al.*, *Mar. Pollut. Bull.* **101**, 618 (2015).
- [17] H.A. Leslie *et al.*, *Environ. Int.* **163**, 107119 (2022).
- [18] C. Schwaferts *et al.*, *TrAC* **112**, 52 (2019).
- [19] A.A. Koelmans *et al.*, *Water Res.* **155**, 410 (2019).
- [20] S.A. Mason *et al.*, *Front. Chem.* **6**, 407 (2018).
- [21] L.M. Hernandez *et al.*, *Environ. Sci. Technol.* **53**, 12300 (2019).
- [22] A. Karami *et al.*, *Sci Rep* **7**, 46173 (2017).
- [23] J.S. Kim *et al.*, *Environ. Sci. Technol.* **52**, 12819 (2018).
- [24] C. Dessi *et al.*, *J. Hazard. Mater.* **416** (2021).
- [25] T. Rocha-Santos and A. C. Duarte, *TrAC* **65**, 47 (2015).
- [26] S.M. Mintenig *et al.*, *Environ. Sci. Nano* **5**, 1640 (2018).
- [27] L.M. Hernandez *et al.*, *Environ. Sci. Technol.* **4**, 280 (2017).
- [28] Q.Q. Chen *et al.*, *Sci. Total Environ.* **584**, 1022 (2017).
- [29] J. Jimenez-Lamana *et al.*, *Anal. Chem.* **92**, 11664 (2020).
- [30] E. Bolea-Fernandez *et al.*, *J. Anal. At. Spectrom.* **35**, 455 (2020).
- [31] T. Okada and T. Ogura, *Sci. Rep.* **7**, 43025 (2017).
- [32] T. Ogura, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **459**, 521 (2015).
- [33] K. Shigeta *et al.*, *J. Anal. At. Spectrom.* **30**, 1609 (2015).
- [34] S. Groh *et al.*, *Spectrochim. Acta B* **64**, 247 (2009).
- [35] Y. Teramoto and H. H. Kim, *J. Anal. At. Spectrom.* **36**, 1594 (2021).
- [36] G.C.Y. Chan and G.M. Hieftje, *Spectrochim. Acta B* **121**, 55 (2016).
- [37] 宮原秀一 *et al.*, *BUNSEKI KAGAKU* **63**, 109 (2014).
- [38] C.C. Garcia *et al.*, *J. Anal. At. Spectrom.* **25**, 645 (2010).
- [39] G.C.Y. Chan *et al.*, *Spectrochim. Acta B* **76**, 77 (2012).
- [40] A. Isobe *et al.*, *Nat. Commun.* **10**, 417 (2019).



てらもと よしゆき
寺本 慶之

産業技術総合研究所 環境創生研究部門
主任研究員。2012年東京大学大学院・博士
(科学)。大気圧非熱平衡プラズマ, ICP,
エレクトロスプレーなどの高電圧応用技術
及び, レーザー誘起蛍光法をはじめとした分光計測に従事。
最近では機械学習を学び, 研究テーマへの適用に取り組んで
いる。息子が少年野球に入ってから, 審判をやるようになりました。
夏はカブトムシより黒くなります。