

ぶんせき 12

Bunseki 2025

The Japan Society for Analytical Chemistry



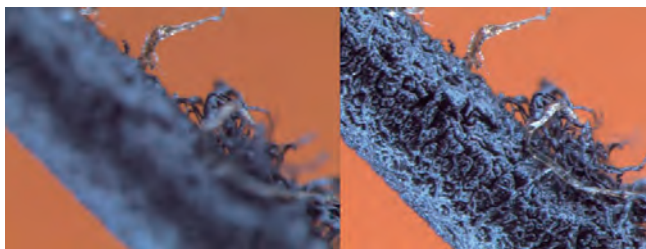
SHARPER INSIGHTS
SMARTER
DECISIONS

顕微 FTIR (顕微赤外分光光度計)

Spotlight Aurora



可視カメラの深度合成



旧モデル
深度合成なし

Spotlight Aurora
深度合成あり

新設計の光学系と電動ステージで
より高性能に、より使いやすく進化

- ・ 可視画像の 3D 深度合成 **業界初**
- ・ 観察可能な試料高さ 60 mm 以上を
実現 **業界初**
- ・ デュアルカメラシステム
(高解像度カメラ / 広角カメラ)
- ・ 暗視野視察に対応
- ・ 最大 3 種類の検出器を搭載可能
LN₂ 冷却 MCT / 電子冷却 MCT /
DTGS / InGaAs
- ・ 顕微測定 of 完全自動化モードを搭載



日本で最も詳しい IR 分析解析サイト
1,200,000 アクセス突破!



パーキンエルマー合同会社

www.perkinelmer.co.jp

本社 〒221-0031 神奈川県横浜市神奈川区新浦島町 1-1-32 アクアリアタワー横浜 2F TEL. (045) 522-7822 FAX. (045) 522-7830




PerkinElmer
Science with Purpose

ぶんせき Bunseki 2025 Contents 12

目次

とびら	情報と分析化学／四宮 一総 443
入門講座	分析におけるコンタミネーション・キャリーオーバー対策 環境水分析で気を付けること／岡村 慶・野口 拓郎 444
解説	地球外物質中の有機物の分析／癸生川 陽子 451
ミニファイル	分析用試薬 試薬の廃棄／橋本 剛 459
トピックス	エドマン分解法を代替する塩基誘導ペプチド配列決定法 ／近藤 直哉 461 特殊なシクロデキストリンの合成と分子認識素子としての応用 ／鈴木 陽太 461
こんにちは	栗田工業株式会社を訪ねて／久保田 哲央・橋本 剛 462
リレーエッセイ	「理科教育」と「環境教育」／飯盛 啓生 466
報告	日本分析化学会第 74 年会開催報告／渡慶次 学 467
ロータリー	470 談話室：放射能分析の必要性和分析技術者の養成／インフォメーション：第 410 回 液体クロマトグラフィー研究懇談会；第 411 回液体クロマトグラフィー（LC）研究 懇談会；九州分析化学若手の会 第 38 回若手研究講演会および第 43 回夏季セミ ナー；2025 年度啓育指導賞授賞者；第 412 回液体クロマトグラフィー研究懇談会／ 執筆者のプロフィール

〔論文誌目次〕	475	〔ガイド〕	A8
〔お知らせ〕	M1	〔図書案内〕	A10
〔カレンダー〕	iii	〔2025 年目次〕	S1
〔広告索引〕	A7	〔2025 年広告掲載会社一覧〕	S5

放射能測定信頼性を確保する放射能標準物質を開発 —大豆およびしいたけ放射能分析用認証標準物質—

(公社)日本分析化学会では、2011年3月の原発事故により広く飛散した放射性物質の放射能濃度を信頼性高く定量するための認証標準物質を開発し頒布中である。開発された標準物質は、国内の信頼ある分析機関の計量トレーサビリティが確保された測定機により求められた値に基づく共同分析により JIS Q0035(ISO ガイド 35)に準拠して認証値および不確かさが決定された。

1) 放射能分析用大豆認証標準物質

(低濃度 : JSAC 0761, 0762, 0763, 高濃度 : JSAC 0764, 0765, 0766)

○認証値と拡張不確かさ U (包含係数 $k = 2$) 基準日 : 2013年2月1日

	低濃度	高濃度
^{134}Cs 放射能濃度 (Bq/kg) :	37.1 ± 2.6	190 ± 11
^{137}Cs 放射能濃度 (Bq/kg) :	68.2 ± 4.6	345 ± 19
^{40}K 放射能濃度 (Bq/kg) :	619 ± 60	613 ± 40

○充填容器と価格

JSAC 0761, 0764:U8 容器(50 mm 高さ) 20,000 円, JSAC 0762, 765:100 mL 容器 20,000 円,
JSAC 0763, 0766:1 L 容器 100,000 円 (価格はいずれも本体価格、送料込み・消費税別)

2) 放射能分析用しいたけ認証標準物質

(低濃度 : JSAC 0771, 0772, 0773, 高濃度 : JSAC 0774, 0775, 0776)

○認証値と拡張不確かさ U (包含係数 $k = 2$) 基準日 : 2013年12月1日

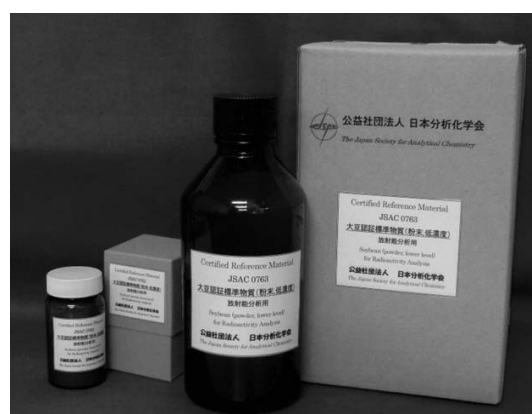
	低濃度	高濃度
^{134}Cs 放射能濃度 (Bq/kg) :	99 ± 9	225 ± 15
^{137}Cs 放射能濃度 (Bq/kg) :	233 ± 20	533 ± 34
^{40}K 放射能濃度 (Bq/kg) :	707 ± 53	633 ± 50

○充填容器と価格

JSAC 0771, 0774:U8 容器(50 mm 高さ) 20,000 円, JSAC 0772, 0775:100 mL 容器 20,000 円,
JSAC 0773, 0776:1 L 容器 100,000 円(価格はいずれも本体価格、送料込み・消費税別)

* 内容に関する問い合わせ先 : (公社)日本分析化学会 標準物質係 TEL : 03-3490-3351, FAX : 03-3490-3572, E-mail : crmpt@ml.jsac.or.jp, <http://www.jsac.jp/srm/srm.html/>

* 頒布に関する問い合わせ先 : 西進商事(株)東京支店, TEL:03-3459-7491, FAX:03-3459-7499, E-mail : info@seishin-syoji.co.jp, <http://www.seishin-syoji.co.jp/>



写真左 U8 容器(50 mm 高さ) 写真右, 100 mL 容器, 1 L 容器に充填された大豆認証標準物質

カレンダー

2025 年

- 12月1～11日 第16回社会人のための表面科学ベーシック講座〔オンライン〕……………(11号 M3)
- 3～5日 VACUUM2025 真空展〔東京ビッグサイト〕……………(10号 M12)
- 4・5日 LC&LC/MS-DAYS 2025 ～自己研鑽・公的資格取得・ヒューマンネットワーク
〔東レ総合研修センター〕……………(10号 M8)
- 4・5日 第40回分析電子顕微鏡討論会〔オンライン〕……………(10号 M12)
- 5日 第19回茨城地区分析技術交流会〔水戸市民会館南側3階大会議室および2階展示室〕……………(9号 M3)
- 5・6日 第4回LCシニアクラブ
〔第1部～第4部：東レ総合研修センター，第5部：JR「三島」駅付近の名所探訪〕……………(10号 M10)
- 8・9日 日本金属学会オンライン教育講座「医療用無機材料の表面反応」〔オンライン〕……………(M 4)
- 9日 新アミノ酸分析研究会第15回学術講演会
〔味の素川崎事業所クライアント・イノベーション・センター(CIC)〕……………(9号 M5)
- 11・12日 第45回キャピラリー電気泳動シンポジウム〔昭和医科大学上条記念館〕……………(M 1)
- 12日 第63回高分子と水に関する討論会〔東京都市大学世田谷キャンパス〕……………(7号 M7)
- 12日 2025年度第3回近畿支部講演会〔大阪科学技術センター7階702号室〕……………(M 1)
- 16・17日 第12回分散凝集科学技術講座 分散・凝集のすべて—希薄系から濃厚系までのあらゆる分散・
凝集現象に関わる研究者・技術者のための最新理論とテクニック—〔オンライン〕……………(11号 M3)
- 16・17日 第310回ゴム技術シンポジウム「先端産業を支える接着技術の最新動向」
～接着学会と日本ゴム協会接着研究分科会の共催〔東部ビル5階〕……………(M 4)
- 16・17日 電気化学セミナーD「最先端電池技術—FY2025」
〔千葉工業大学津田沼キャンパス2号館3階大教室〕……………(M 4)
- 17日 第414回液体クロマトグラフィー研究懇談会〔島津製作所東京支社イベントホール〕……………(9号 M3)
- 18・19日 日本金属学会オンライン教育講座
「金属材料の耐環境性(3)水素脆化と水素検出・計測技術」〔オンライン〕……………(M 4)

2026 年

- 1月 23日 第43回コロイド界面技術シンポジウム“自己組織化や分子集合体を活用した製剤設計・評価技術”
〔同志社大学東京サテライト・キャンパス〕……………(M 5)
- 26日 2025年度イオンクロマトグラフィー分析士(初段)試験〔リモートによる筆記試験〕……………(11号 M2)
- 26日 第34回放射線総合利用シンポジウム
〔サンエイビル(大阪ニュークリアサイエンス協会事務局ビル)3階会議室〕……………(M 5)
- 28～30日 nano tech 2026 第25回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議
イノベーションで未来のビジネスを拓く〔東京ビッグサイト〕……………(7号 M7)
- 29・30日 第36回分析化学基礎実習—微量分析技術実習コース—
〔東京理科大学神楽坂キャンパス10号館1階1011教室〕……………(M 1)
- 2月 18・19日 第31回LC&LC/MSテクノプラザ〔北とびあ・ペガサスホール(15F)〕……………(10号 M10)
- 20日 2026年分析士会総会・研修講演会〔オリエンタル技研工業ショールーム〕……………(M 2)
- 3月 5・6日 第46回分析化学における不確かさ研修プログラム〔日本電気計器検定所本社〕……………(11号 M1)
- 5月 14・15日 第42回希土類討論会〔タワーホール船堀〕……………(M 5)
- 6月 6・7日 第23回ホスト・ゲスト・超分子化学シンポジウム(SHGSC 2026)
「分子化学と生物機能分子をつなぐ超分子化学—分子認識から生命機能発現・応用まで」
〔大阪大学豊中キャンパス〕……………(8号 M9)
- 26・27日 有機微量分析研究懇談会
第93回日本分析化学会有機微量分析研究懇談会 第131回計測自動制御学会力学量計測部会
第43回合同シンポジウム〔徳島文理大学高松駅キャンパス〕……………(M 2)
- 7月 22～24日 HPLC&LC/MS 講習会 2026〔日立ハイテクアナリシスサイエンスソリューションラボ東京〕……………(M 2)

＜マグネシウム認証標準物質 7 種類の頒布開始＞

日本分析化学会は、実試料の分析時への妥当性確認などのために高純度マグネシウム認証標準物質として JAC 0141, JSAC 0142 及び JAC 0143 を開発し、汎用マグネシウム合金認証標準物質として JAC 0151, JSAC 0152, JSAC 0153 及び JAC 0154 を開発した。マグネシウム中の成分分析における機器の校正及び分析結果のバリデーションに使用することを目的としたものである。

◇微量元素分析用 高純度マグネシウム認証標準物質◇

[JAC 0141～JAC 0143 (ディスク状 3種類)]

JIS H 2150 に準拠したインゴットからビレットを作製し、押し出し加工により丸棒にし、ディスク状に切り出した標準物質で 3～6 元素を認証した。

直径 50 mm 厚さ 20 mm のディスク状：表面を平滑に研磨仕上げ

単位 (µg/g)

	Mg 純度(%)	Al, Si, Mn	Ca, Zn, Fe	Cu, Ni, Pb	Li, Ga, Ce
JSAC 0141	99.9	100 ~ 200	10 ~ 100	1 ~ 10	0.1 ~ 1
JSAC 0142	99.95	50 ~ 100	10 ~ 50	0.5 ~ 5	0.1 ~ 1
JSAC 0143	99.99	5 ~ 20	5 ~ 20	0.5 ~ 5	0.1 ~ 1

◇汎用マグネシウム合金認証標準物質◇

[JAC 0151～JAC 0154 (ディスク状 4種類)]

JIS H 4203 に準拠したマグネシウム合金を連続鋳造で作製したビレットを押し出し加工により丸棒にし、ディスク状に切り出した標準物質で Al, Mn, Zn を主成分に他 3～7 元素を認証した。

直径 50 mm 厚さ 20 mm のディスク状：表面を平滑に研磨仕上げ

	Al (質量分率%)	Mn (質量分率%)	Zn (質量分率%)	Si, Fe, Cu, Ni (µg/g)	Ca, Ga, Pb, La, Ce (µg/g)
JSAC 0151	3	0.5	1	10 ~ 100	1 ~ 10
JSAC 0152	6	0.5	1	10 ~ 100	1 ~ 10
JSAC 0153	9	0.3	1	10 ~ 100	1 ~ 10
JSAC 0154	6	0.3	0.05	10 ~ 100	1 ~ 10

◇ 頒布方法：真空パックした標準物質(a)をプラスチックケースに入れて頒布します(b)



(a)



(b)

◇ 頒布価格：試料 1 ディスクにつき

本会団体会員：40,000 円, それ以外：60,000 円 (送料込み、消費税別)
7 ディスクセット購入の場合は 10 %引きとします。

見積及び頒布問合先 〒105-0012 東京都港区芝大門 2-12-7 (RBM 芝パークビル)

西進商事 (株) 東京支店 [電話：03-3459-7491, FAX：03-3459-7499,

E-mail：info@seishinsyoji.co.jp, URL：http://www.seishinsyoji.co.jp/]

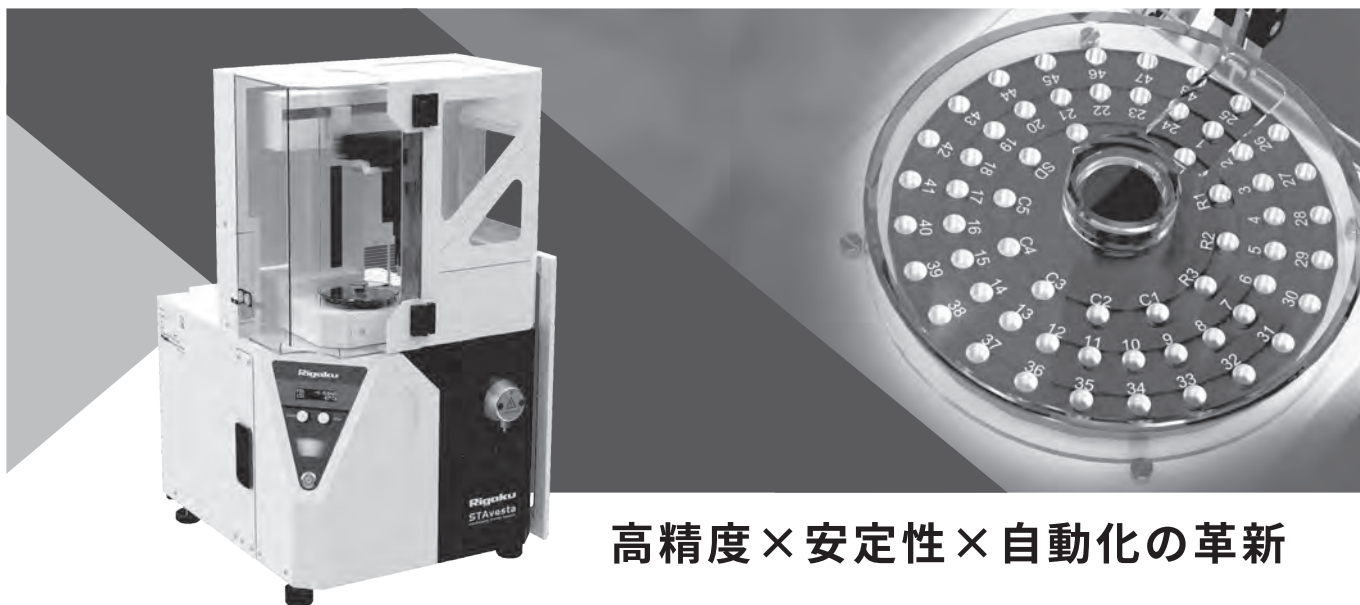
技術問合先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2 五反田サンハイツ 304 号

(公社) 日本分析化学会 標準物質委員会 事務局 [電話：03-3490-3352, FAX：03-3490-3572,

E-mail：crmpt@ml.jsac.or.jp, URL：https://www.jsac.jp/]

STAvesta

熱重量-示差走査熱量測定装置



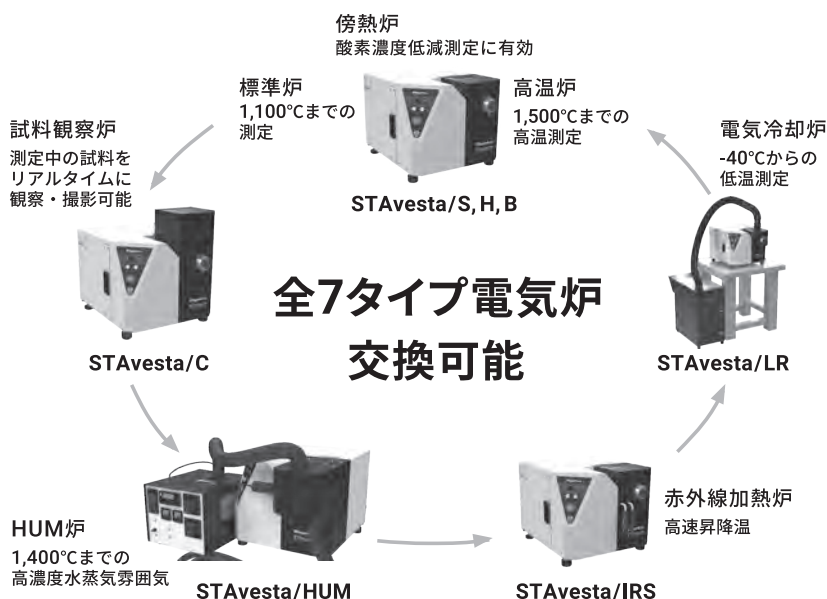
高精度 × 安定性 × 自動化の革新

別次元の新世代TG-DSC

温度精度: ± 0.05 °C
TG感度: 0.18 μ g
TGレンジ: ± 500 mg
DSC熱量制度: $\pm 1\%$
DSC比熱精度: $\pm 3\%$

他に類を見ない圧倒的な拡張性

全ての電気炉をユニット化したことにより、装置本体はそのまま、試料観察はもちろん、低温・加湿・高速昇温と、電気炉交換だけで測定が可能になりました。1台で多様な熱分析を実現するマルチユース設計になっています。



業界初の自己診断機能
vestaeye 搭載

装置状態を常時監視、
異常の早期発見で
毎日安心した測定に貢献

STAVesta

詳細はWEBページへ



ス濃度計 CGP-31 が、海外では、Hamilton より CO₂ 拡散膜と中赤外線による光学観測を組み合わせた光学式溶存二酸化炭素センサ CO2NTROL が入手可能である。どちらも溶存二酸化炭素を計測できるものであり、炭酸イオンや炭酸水素イオンは測定できない。イオン種も含めた全炭酸濃度を分析する場合は、溶液を pH4 以下の酸性することで、二酸化炭素の形状に合わせる必要がある。これらセンサでは測定結果を mg/L 等の単位で表示することができるが、光学式溶存酸素センサと同等に、測定は二酸化炭素分圧として行っているため測定時の分圧値を、水温を用いて濃度に変換することになるので注意が必要である。また検出範囲の下限値で 0.1 %、すなわち 1000 ppm 程度であることから、大気平衡時の溶液の二酸化炭素濃度の計測は難しいが、呼吸・生分解などで二酸化炭素濃度が上昇しているサンプルの測定には非常に有効である。なお、上記センサには制御に専用の装置が必要である。

3.5 栄養塩センサ

環境水中での植物プランクトンや藻類の栄養塩である硝酸イオン、リン酸イオンの濃度計測は、富栄養化の指標、養殖時の給餌量の調整や、赤潮の発生予測の基礎データ等に需要がある。硝酸イオン計測用のセンサとしては、イオン選択性電極と紫外吸光法がある。イオン選択性電極は農業用等として多数普及している。測定下限が 10 μmol/L 程度であり、河川や土壌関係の濃度計測に便利である。しかしながら、共存塩化物イオンが妨害するため、海水中の硝酸イオン濃度計測は難しい。紫外吸光法では、硝酸・亜硝酸イオンが紫外域に吸収を持つことを利用し計測を行うことができるが、臭化物イオン、硫酸イオンなども同波長帯に吸収を持つ。濃度算出には、妨害除去の計算や、複数波長での観測が必要であるため、海水用硝酸イオンセンサは海外製などでいくつかの販売はあるものの高額である。リン酸イオンについては、比色法による分析が主流であり、環境水計測用の電気化学的な汎用センサは市場に出回っていないのが現状である。

4 海水測定時のセンサ出力値から成分値への計算

現場でのセンサ観測の一例として、海水をセンサで測定した場合に、電気伝導度値から塩分を、pH と塩分から炭酸系成分値をそれぞれ算出する手法について述べる。

4.1 電気伝導度値と塩分の関係

海洋学の分野において、海水の塩分について 19 世紀末には海水中の成分比は全海洋でほぼ同一という知見が得られており、これを基に塩分を、海水 1 kg 中に含まれる海塩の質量 (g) と定義していた。その値は海洋表

層で 30 前後となる。その後、様々な定義が与えられていたが、1982 年以降は測定した電導度そのものの数値を塩分とすることになり、その数値を「実用塩分 (practical salinity)」として使用している³⁾。現在では全溶存塩類の総量を質量分率で表した厳密な値である「絶対塩分」も定義されている。なお、海洋学的な正しい定義は各種文献を参照していただきたい⁴⁾。塩分値は、「塩分濃度」として、パーミル (‰: 海水 1 kg に対して海塩の g 単位での質量を示す千分率)、ppt (parts per “thousand”, parts per trillion ではなくパーミルと同じ意味になる) や psu (practical salinity unit) がしばしば使用される。海洋学的な呼称は「塩分」であり、無次元のため単位は無いので注意してほしい。上記のいずれのケースでも数値としてはほぼ同じになる。以下塩分値として「実用塩分」で見ていく。

水温を t °C、圧力を P dbar、電気伝導度を C mS/cm とすると、実用塩分 S は下記式により求められる³⁾。

$$S = \sum_{i=0}^5 a_i R_i^{i/2} + \frac{t-15}{1+k(t-15)} \sum_{i=0}^5 b_i R_i^{i/2} \dots\dots\dots (1)$$

$$R_i = R / (R_p r_i) \dots\dots\dots (2)$$

$$R = C / C(35, 15, 0) \dots\dots\dots (3)$$

$$R_p = 1 + \frac{P(e_1 + e_2 P + e_3 P^2)}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + (d_3 + d_4 t) R} \dots\dots\dots (4)$$

$$r_i = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 \dots\dots\dots (5)$$

上式の定数は次のとおりである。{ $a_0 \sim a_5$ } = {0.0080, -0.1692, 25,3851, 14.0941, -7.0261, 2.7081}, { $b_0 \sim b_5$ } = {0.0005, -0.0056, -0.0066, -0.0375, 0.0636, -0.0144}, { $c_0 \sim c_4$ } = {0.6766097, 2.00564 × 10⁻², 1.104259 × 10⁻⁴, -6.9698 × 10⁻⁷, 1.0031 × 10⁻⁹}, { $d_1 \sim d_4$ } = {3.426 × 10⁻², 4.464 × 10⁻⁴, 4.215 × 10⁻¹, -3.107 × 10⁻³}, { $e_1 \sim e_3$ } = {2.070 × 10⁻⁵, -6.370 × 10⁻¹⁰, 3.989 × 10⁻¹⁵}, $k = 0.0162$, $C(35, 15, 0) = 42.914$ 。

上式は、実用塩分 S が 2~42、水温 t が -2~35 °C、水圧 P が 0~10000 dbar の範囲で有効である。ここで $C(35, 15, 0)$ は水圧 0 dbar の陸上にて水温 15 °C で塩分 35 の標準溶液 (塩化カリウム 32.4356 g を含む水溶液 1 kg) を測定したときの電気伝導度の値であり³⁾、本来 42.914 mS/cm となるが、センサの個体差があるため、当該溶液を用いた校正で決定する。簡易な運用法としては、センサ以外の別方法で計測した塩分値と、上記式での塩分値が一致するように $C(35, 15, 0)$ を、非線形最小二乗法で合わせこむ手法で構わない。塩分の計測方法としては、電気伝導度式塩分計のほか、旋光度による塩分計や、海水密度から塩分に換算する方法などがある。

4.2 炭酸系成分の値

海水で測定可能な成分としては、pH、アルカリ度、

全炭酸、二酸化炭素分圧の4成分がある。それぞれ海洋学的に正確な定義は文献を参照されたい⁵⁾。ここでは、センサで連続観測可能な成分である、pH電極と電気伝導度センサでの連続観測を想定し、pHと塩分から4成分を算出する方法を述べる。

4・2・1 pH_T

通常、pH電極によるpH計測は、pH標準液を用いて校正を行った後に行う。日本で通常使用されている標準液は、等モル混合リン酸塩緩衝液、フタル酸水素カリウム緩衝液等であるが、海洋学分野ではこれらをNBS (national bureau of standards) 緩衝系と呼ぶ。NBS緩衝系の標準液で校正したpHメーターで計測したpHをpH_{NBS}と呼ぶ。pH_{NBS}は溶液の水素イオン濃度の対数である $-\log [H^+]$ に近い値となる。海洋学においては、海水の塩濃度が高いため、海水を測定することを想定したpH標準液 (Tris-HCl緩衝液、AMP緩衝液等：海水用pH緩衝溶液ともいう) を用いてpH電極の校正を行う。海水用pH緩衝溶液で校正したpHメーターで計測したpHをpH_T (トータルスケールpH) と呼ぶ。pH_Tは水素イオンと硫酸水素イオン濃度の対数である $-\log ([H^+] + [HSO_4^-])$ に近い値となる。海水での炭酸系の取り扱いではpH_Tを使用する。

pH_Tでの計測の場合、海水用pH緩衝溶液での校正が必須となるが、調整に非常に手間を取るものであり、温度依存性も非常に大きく測定時の取り扱いも難しい。理論的に計算すると、pH_{NBS}=8.000、塩分35、水温25.0℃のときにpH_Tとの差は、pH_{NBS}-pH_T=0.107となる。そのため簡易的には、通常のpH緩衝液で校正したpHメーターで算出したpH値 (pH_{NBS}) から約0.11を引いた値をpH_Tの近似値として扱えばよい。ただし実際のpH_TとpH_{NBS}の関係は、電極ごとに異なった挙動を示し⁶⁾、このように計算で一意に算出することはできないことには留意してほしい。

4・2・2 全アルカリ度 A_T

海水の全アルカリ度A_Tは、以下の式に示すように、プロトン供与体とプロトン受容体との差で定義される⁷⁾。なお、以下の式で省略されているものについては無視できるほど小さい存在である。

$$A_T = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [B(OH)_4^-] + [OH^-] + [HPO_4^{2-}] + 2[PO_4^{3-}] + [SiO(OH)_3^-] + [NH_3] + [HS^-] + \dots - [H^+]_F - [HSO_4^-] - [HF] - [H_3PO_4] - \dots \quad (6)$$

全アルカリ度と塩分はおおむね直線比例関係にある。例えば、田口ら⁸⁾によると、大阪湾、伊勢湾、東京湾では、湾ごとに異なる値ではあるが、すべての湾でアルカ

リ度と塩分に直線関係がみられている。測定した海域で文献値があればその値を、なければ対象地点で複数の塩分の異なる試料を採取し、塩分と全アルカリ度の直線関係を決定することで、塩分値から全アルカリ度の算出が可能となる。

4・2・3 二酸化炭素分圧

二酸化炭素分圧のうち二酸化炭素フガシティ*f*CO₂は、pH_Tの指数値である $[H^+]_T (= 10^{-pH_T})$ と、炭酸アルカリ度A_Cから次式で算出できる

$$fCO_2 = A_C \times [H^+]_T^2 / (K_0 K_1 [H^+]_T + K_0 K_1 K_2) \quad \dots \quad (7)$$

ここでK₀、K₁、K₂は海水中での炭酸の解離定数である。炭酸アルカリ度A_Cは以下の式で示す成分である。

$$A_C = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] \quad \dots \quad (8)$$

前述の全アルカリ度A_Tと炭酸アルカリ度A_Cとの関係は、以下の式で示すことができる。

$$A_T - A_C = [B(OH)_4^-] + [OH^-] + [HPO_4^{2-}] + 2[PO_4^{3-}] + [SiO(OH)_3^-] + [NH_3] + [HS^-] + \dots - [H^+]_F - [HSO_4^-] - [HF] - [H_3PO_4] - \dots \quad (9)$$

A_T=2400 μmol/Kg、塩分35、水温25.0℃、pH_T=8.000のとき[B(OH)₄⁻]が約84 μmol/Kg、[OH⁻]が6 μmol/Kgで、それ以降の項はA_Tの値に比べて小さい。したがって、A_Cは簡便には次式のように、B_Tを海水中のホウ酸総濃度、K_Bをホウ酸の海水での酸解離定数とし、 $[B(OH)_4^-] = B_T / (1 + [H^+]_T / K_B)$ を算出し、A_Tから引くことで算出できる。

$$A_C = A_T - B_T / (1 + [H^+]_T / K_B) \quad \dots \quad (10)$$

4・2・4 全炭酸濃度

最後のパラメーターである全炭酸濃度C_Tは*f*CO₂から以下の式で算出できる。

$$C_T = K_0 fCO_2 (1 + K_1 / [H^+]_T + K_1 K_2 / [H^+]_T^2) \quad \dots \quad (11)$$

ここまで4節の各酸解離定数の塩分、水温依存に関する式は文献7)にて提供されている。

5 おわりに

本稿は、筆者が各種センサの開発と実証試験を通しての経験を中心にまとめたものである。筆者の研究対象は環境水全般とした水圏地球科学分野であるが、特に研究船舶に乗船して海水や熱水、間隙水など高塩分な環境水

を対象とした分析手法の開発を主戦場としてきた。船舶を用いた研究航海では、学際的な研究チームを構築し、様々な研究分野の研究者と同乗することが多く、使用する専門用語の擦り合わせなどが日常茶飯事である。一方で、類似のセンサ機器などを持ち込んでいるにもかかわらず、運用方法の差異により、試料間の比較が困難となる場合も多々経験した。例えば、海洋化学分野では、pH校正溶液と実試料間のイオン強度差問題などはごく一般的であるのに対し、必要とする精度の違いなどもあるが、生物分野だけでなく、高塩分な熱水や温泉水を対象とする地球化学分野の研究者にもイオン強度差を気にしないものもある。採取した環境水試料の周辺情報（メタデータ）としての活用に限定するのであれば特段問題はないが、これらセンサ情報をちょっとの注意を払い、比較可能なデータセットとして報告することはまさに“人類共通の財産（Common Heritage of Mankind）”であると考えている。ぜひ、読者の皆さまには本稿を頭の片隅に入れて、環境水分析を進めていただけるとありがたい。

文 献

- 1) 桑本恵子：ぶんせき (*Bunseki*), **2020**, 1618.
- 2) K. Okamura, T. Noguchi, M. Hatta : *Galaxea*, **27**, 70 (2025).
- 3) N. P. Fofonoff, R. C. Millard J. "Algorithms for computation of fundamental properties of seawater". p.53, (1983), (UNESCO, Paris).

- 4) 河野 健：海の研究, **19**, 127 (2010).
- 5) 村田昌彦：ぶんせき (*Bunseki*), **2020**, 236.
- 6) K. Okamura, H. Kimoto, M. Hatta, T. Noguchi, A. Nakaoka, T. Suzue, T. Kimoto : *Geochem. J.*, **48**, 153 (2014).
- 7) A. G. Dickson, C. L. Sabine, J. R. Christian : "Guide to best practices for ocean CO2 measurements", (2007), (PICES Special Publication, Sidney).
- 8) 田口二三生, 藤原建紀, 山田佳昭, 藤田弘一, 杉山雅人 : 沿岸海洋研究, **47**, 71 (2009).



岡村 慶 (OKAMURA Kei)

高知大学教育研究部総合科学系複合領域科学部門 (〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻 194 高知大学海洋生物研究教育施設). 東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士後期課程. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》天然水中溶存化学種の現場化学分析計測法の開発. 《主な著書》岡村慶：“海をはかる一温故知新一”. はかつてなんぼ環境編. 141-153, (2002), (日本分析化学会近畿支部 編), (丸善出版). 《趣味》珈琲の溶媒抽出法に関する研究.
E-mail : okamurak@kochi-u.ac.jp



野口 拓郎 (NOGUCHI Takuroh)

高知大学教育研究部総合科学系複合領域科学部門 (〒783-8502 高知県南国市物部乙 200). 琉球大学大学院理工学研究科海洋環境学専攻. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》海底熱水活動に伴う物質収支と周辺環境中での動態解明. 《趣味》料理・子育て.
E-mail : noguchitk@kochi-u.ac.jp

『ぶんせき』再録集 vol. 1 出版のお知らせ

ぶんせき誌の過去記事の有効利用の一環として、『ぶんせき』再録集 vol. 1 が出版されました。2011年から2020年まで、10年間分の〈ミニファイル〉の記事が詰まっています。

下記10章からなり、それぞれ12から14の話題が集められています。

1. 実験器具に用いられる素材の特徴, 2. 分析がかかわる資格, 3. 顕微鏡と画像データ処理, 4. 最新のweb文献検索データベース, 5. ポータブル型分析装置, 6. 分析化学と材料物性, 7. 分析化学者のための多変量解析入門, 8. 土壌分析, 9. サンプルング, 10. 前処理に必要な器具や装置の正しい使用法。

本書はアマゾンオンデマンド出版サービスを利用して出版した書籍ですので、書店には並びません。アマゾンサイトからのネット注文のみとなりますので、ご注意ください。詳しくは「ぶんせき」誌ホームページをご確認ください。

地球外物質中の有機物の分析

本解説では、隕石や小惑星サンプルといった地球外物質に含まれる有機物の分析手法を紹介する。地球外有機物は、太陽系の形成過程や生命起源の手がかりを秘めており、溶媒抽出される可溶性有機物（SOM）と、鉱物の溶解の後に得られる不溶性有機物（IOM）に大別される。これらの抽出によらないその場分析も盛んである。各種分光法、質量分析法、これらとクロマトグラフィーや顕微鏡の組み合わせなど、様々な手法が活用されており、今後のサンプルリターンミッションなども合わせてさらなる発展が期待される。

癸生川 陽子

1 はじめに

近年、はやぶさ2による小惑星からのリターンサンプルの分析も話題になったため、地球外物質に関心を持った読者もいらっしゃるかもしれない。これまでは、地球外物質分析と言えば主に隕石であった。小惑星は隕石のふるさとであり、地球上での汚染などの影響を受けていない地球外物質をダイレクトに取りに行けるとはよい時代になったものである。このような地球外物質は、超新星爆発、星間分子雲、原始惑星系円盤、小天体・惑星形成など、太陽系の形成過程の情報をとどめているいわば「太陽系の化石」である。これらの分析を通して太陽系を形作る物質の情報や、太陽系形成史、物質進化の過程が紐解かれてきた。さらに、一部の隕石には有機物が含まれており、これらが原始地球にもたらされ、最初の生命の原材料となった可能性からも着目されている。量が限られており、貴重なサンプルである地球外物質は常に最先端の分析手法の活躍の場であった。本解説では、このような地球外物質における有機物分析に利用される手法や注意点について解説する。

地球外物質の有機物分析を大きく分類すると、(1) 溶媒で抽出する方法、(2) 無機成分を HF/HCl など溶解し、溶媒で抽出不可能な有機物成分を残渣として抽出する方法、(3) 抽出操作をせずにその場分析する手法、の三つに分けられる。(1) で抽出された成分を可溶性有機物 (soluble organic matter, SOM)、(2) で回収された成分を不溶性有機物 (insoluble organic matter, IOM) と呼ぶ。有機物を含む隕石は主に炭素質コンドライトと呼ばれる種類の隕石である。中でも代表的な Murchison 隕石は、およそ 2 wt.% の炭素を含んでいる。その内訳は図 1 に示す通り、多くを IOM が占めている

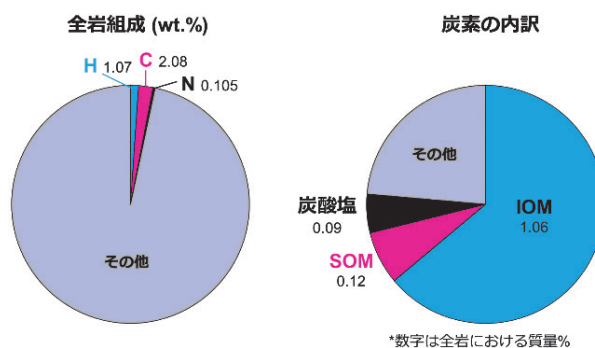


図 1 Murchison 隕石の有機物関連成分 (文献^{3)~6)}による)

が、無機物である炭酸塩鉱物を除いても、IOM や SOM として回収できない成分も多くあることがわかる。IOM は不定形の複雑な高分子有機物であり (分子構造のモデル図は Glavin らの総説¹⁾を参照されたい)、SOM は 100 万種類を超えられている²⁾。このように、まだ明らかになっていないことも多く、チャレンジしがいのある分野だと言える。

2 可溶性有機物 (SOM) の分析

2.1 GC/MS や LC/MS によるターゲット分析

アミノ酸、カルボン酸、アミンなど、溶媒抽出可能な化合物のターゲット分析には、主にガスクロマトグラフィー質量分析法 (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS) や液体クロマトグラフィー質量分析法 (liquid chromatography mass spectrometry, LC/MS) が使われる。通常、GC/MS または LC/MS 分析の前には複雑な前処理が必要となる。

アミノ酸分析の際には、まず粉末化した試料に対して熱水による抽出を行う。溶出液は、抽出液中の金属イオン等を除去するためにイオン交換樹脂を用いて脱塩し、誘導体化を行って GC/MS または LC/MS により分析を

行う⁷⁾。また、熱水抽出の後には、酸加水分解を行う手順を挟むことも常套である。これは、より高分子のアミノ酸前駆体からアミノ酸を遊離させることを目的としている。酸加水分解は6 Mの塩酸を用い、110℃で24時間加熱、あるいは150℃で3時間加熱(vapor-hydrolysis法)によって行われる⁷⁾。酸加水分解の後に得られたアミノ酸は遊離のアミノ酸と前駆体のアミノ酸を含んでおり、酸加水分解せずに分析した試料は遊離のアミノ酸のみ検出されることになる。誘導体化はGC/MSとLC/MSのいずれにおいても必要である。GC/MSでは、例えば、トリフルオロ酢酸(TFA)またはトリフルオロ酢酸無水物(TFAA)誘導体化法により、キラルカラムを使用してエナンチオマー(D-アミノ酸とL-アミノ酸)を分離することができる⁷⁾。LC/MSでは、キラルカラムを使用せずに逆相カラムでエナンチオマーの分離を可能にする、*o*-フタルアルデヒドおよび*N*-アセチル-L-システイン(OPA/NAC)誘導体化法がよく用いられる。OPA/NAC誘導体化は、質量分析と組み合わせたUV蛍光検出にも適しており、精密な分子識別による高感度な定量分析が可能となる。さらに、GC/MSと同位体比質量分析法(isotope ratio mass spectrometry, IRMS)を組み合わせると、各化合物の安定同位体比の測定が可能である。¹³C/¹²Cなどの安定同位体は、その化合物の形成過程の推定や汚染でないことの確認のために使われる。

アミノ酸の他、アミン、カルボン酸、アルデヒド、ケトンなどの極性有機化合物は、主に熱水による抽出、炭化水素やヘテロ環化合物などの極性の低い化合物はメタノール、ジクロロメタン、ベンゼン、あるいはその混合溶媒を用いて抽出される。必要に応じて適切な誘導体化などの前処理を行った後にGC/MSやLC/MSで分析する。例えば、安定にガス化できるカルボン酸等はGC/MS分析の際に誘導体化不要である。

2.2 高質量分解能質量分析法を用いたノンターゲット分析

GC/MSやLC/MSを用いたターゲット分析は古くから行われてきた一方で、近年は900000以上に上る高い質量分解能を持つフーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴質量分析(Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry, FT-ICR MS)などの活躍により、ノンターゲット(網羅)分析も行われている。フラグメンテーションを起こさないソフトイオン化法であるエレクトロスプレーイオン化(electrospray ionization, ESI)を用いたESI-FT-ICR MSにより、Murchison隕石のSOM成分について分析した結果、数万種類の異なる分子組成が検出された²⁾。このようなマススペクトルは複雑であるため、mass-defect解析やH/C、O/C、N/C比などに変換して解析し、検出された化合物間の分子多様

性を明らかにする目的で使用される。様々な試料間の関係性を調べることによって、隕石母天体における変質の程度などを読み解くことができる。

3 不溶性有機物(IOM)の分析

3.1 IOMの抽出

溶媒で抽出できない高分子有機物は、フッ化水素酸等を用いてケイ酸塩や各種鉱物を溶解し、残渣として回収する⁸⁾。これは従来、地球の天然有機物であるケロジェンなどの回収に用いられてきた方法である。一般的には、まず隕石粉末からSOM成分をジクロロメタンやメタノール等で抽出する。次に、炭酸塩と金属を溶解除去するために、6 M塩酸を加えて48時間程度攪拌した後、遠心分離し、上澄みを除去する。さらに、ケイ酸塩を溶解除去するため、9 Mフッ化水素酸と1 M塩酸の混合物を用い、同様に処理する。これらの6 M塩酸と9 Mフッ化水素酸/1 M塩酸での処理を3回ほど繰り返す。最後に、沈殿物を1 M塩酸、純水、メタノールで洗浄し、乾燥させるとIOMが回収できる。ただし、金属硫化物(CrS, NiS)など、溶け残るものもある。また、試料中にMgが多いと不溶性のフッ化物作りやすく、注意が必要である。高純度のIOMを抽出するにはCsF/HF溶液を用いる手法もある⁹⁾。

3.2 元素分析

IOMの主要元素は水素、炭素、窒素、酸素、硫黄である。これらの元素存在度および安定同位体比は、熱分解や燃焼とガスクロマトグラフによる分離を組み合わせた質量分析を用いて実施される。窒素と炭素の分析は、IOM試料を高温(約1000℃)のオープンに導入し、酸素と触媒を用いて燃焼させ、CO₂とN₂ガスとして分析する(ガスクロマトグラフィー/燃焼/同位体比質量分析: gas chromatography/combustion/isotope ratio mass spectrometry, GC/C/IRMS)。標準ガスとの比較により、¹²C、¹³C、¹⁴N、¹⁵Nを定量する。IOM試料中の水素と酸素は、高温熱分解(約1500℃)によりH₂とCOガスとして同様に、¹H、²H(D)、¹⁶O、¹⁷O、¹⁸Oを定量する(ガスクロマトグラフィー/同位体比質量分析: gas chromatography/isotope ratio mass spectrometry, GC/IRMS)。一般に、これらの安定同位体比は以下(水素の場合)のようにδ値で表されることが多い。

$$\delta D = \left[\frac{(D/{}^1H)_{\text{Sample}}}{(D/{}^1H)_{\text{Standard}}} \right] \times 1000$$

例えば、Murchison隕石から抽出されたIOMの組成は炭素を100とするとC₁₀₀H_{58.8}N_{3.27}O_{18.3}S_{1.8}であり(Sの存在量はH、C、N、灰分の重量分率から推定)、δ¹³Cは-18.91±0.01%、δ¹⁵Nは-1.0±0.4%、δDは777±27%、δ¹⁸Oは13.6±0.6%である¹⁰⁾。始原的な隕石は

δD や H/C 比が高いが、隕石母天体における変成過程を経ると、H/C 比や δD 値が下がることが知られており、変質過程の指標となる¹⁰⁾。

3・3 熱分解 GC/MS

固体有機物の分析手法として熱分解 GC/MS がある。800 °C 程度に瞬時に加熱してガス化した分子を GC カラムで分離し、各成分の質量スペクトルから成分を同定する。ポリマーなどによく使われる手法である。

カラムは汎用性のある無極性のものが使われることが多い。カラムは 70 °C から 300 °C 程度まで 2~4 °C/min 程度で徐々に升温させる。保持時間と質量スペクトルの 2 次元的なデータが得られる。クロマトグラムの各ピークが各化合物に対応している。それぞれの質量スペクトルは電子イオン化によりフラグメント化されているため、フラグメント化パターンを用いて、National Institute of Standards and Technology (NIST) のライブラリー検索で分子種を推定することができる。各化合物を確実に同定したい場合はスタンダードを用いる。

芳香族炭化水素、脂肪族炭化水素、フェノール類、窒素や硫黄を含む複素環式化合物など多様な成分が隕石 IOM の熱分解生成物として検出される¹¹⁾。このような分析によって、始原的な隕石の IOM は芳香族コアが脂肪族およびエーテル結合で架橋され、さまざまな機能基が結合した構造をもつと考えられてきた¹²⁾。

3・4 固体核磁気共鳴

固体核磁気共鳴 (solid state nuclear magnetic resonance, NMR) は、固体中の原子核の磁氣的性質を利用して分子構造や化学環境を解析する分光法である¹³⁾。基本原理は液体 NMR と同様で、強い外部磁場中に置かれたスピンをもつ原子核 (例: 1H , ^{13}C , ^{15}N など) に高周波パルスを与え、核スピンの磁場に対して歳差運動 (ラーモア歳差) することによって生じる共鳴信号を検出する。ただし、固体中では分子が自由に回転できないため、化学シフト異方性や双極子相互作用、四極子相互作用といった固体特有の広がったスペクトルが得られる。このため、以下のような技術が用いられる:

(1) マジック角試料回転 (magic angle spinning, MAS): 試料を約 54.74° の角度で高速回転させ、異方性相互作用を平均化して液体のように鋭いピークを得る手法。

(2) クロスポーラリゼーション (cross polarization, CP): 感度の低い核 (例: ^{13}C) の信号を高感度な核 (例: 1H) から移して増強する技術。

他の分光法と比較すると、実験にはより大量の試料 (数十 mg の IOM) が必要であるが、定量性には優れている。隕石には鉄のような常磁性の物質が多く含まれており、測定のためには抽出された

有機物に対して行う必要がある。様々な隕石 IOM の固体 ^{13}C -NMR 分析から、水質変質が進むにしたがって脂肪族が減少し、芳香族の割合が増えることが知られている¹⁴⁾。

3・5 電子スピン共鳴

電子スピン共鳴 (electron Spin Resonance, ESR) は、不対電子を対象とした分光法である。強い外部磁場中で、電子スピンの状態はエネルギー的に分裂する。この状態にマイクロ波 (通常は 9~10 GHz 帯) を照射し、電子が低エネルギー準位から高エネルギー準位にスピン反転する際に共鳴が起こる。この現象を検出して、物質中の不対電子の存在やその化学環境を調べる。

原理的には NMR と多くの点で類似しているが、NMR が主に分子構造の情報を得るために使われるのに対し、ESR は主にラジカルを対象としている。ESR により、Murchison 隕石と Orgueil 隕石から分離された IOM には、局在性の高いラジカルが豊富 (IOM の 5~20 % に相当) に含まれていることが知られている¹⁵⁾。

3・6 赤外分光

フーリエ変換赤外分光法 (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) は、赤外光の吸収、透過、反射による、特徴的な分子振動を通じて有機官能基を検出することができる。一般的に、双極子モーメントの変化を引き起こす分子振動は、赤外分光では活性があり、ラマン分光 (後述) では不活性となる。双極子モーメントの変化を引き起こさない分子振動はその逆である。したがって、赤外分光法とラマン分光法は互いに補完的な関係にある。例えば C-O, C=O, C-N は赤外吸収が強いが、N≡N, O=O は赤外吸収を持たない。

赤外の波長領域は、近赤外線 (14000~4000 cm^{-1} , 0.7~2.5 μm), 中間赤外 (4000~400 cm^{-1} , 2.5~25 μm), 遠赤外線 (400~10 cm^{-1} , 25~1000 μm) に分けられる。IOM の分析では中間赤外領域での透過法が用いられることが多い。例として Murchison 隕石 IOM の赤外吸収スペクトルを図 2 に示す。透過 IR スペクトル

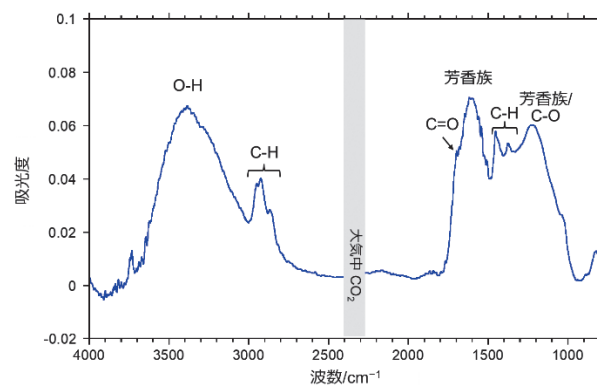


図 2 Murchison 隕石 IOM の赤外吸収スペクトル

は、ランベルトベールの法則により、定量的な議論が可能である。理想的にはKBr錠剤法を用いると最も定量性が良いが、微量なIOMを測定する場合は、KBrやダイヤモンドなどの板に粉末試料を圧着して顕微赤外測定を行うことが多い。この場合、厚さを一定にすることが難しいため、ピーク強度比などを用いることが多い。簡便に、 CH_2/CH_3 や $\text{C}=\text{O}/\text{C}=\text{C}$ などのピーク強度比の相対的な強度でIOMの分子構造の傾向を議論することもできる。既知の吸光係数を用いれば、各官能基（例えば、 CH_2 , CH_3 , $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}=\text{C}$ など）の存在量を見積もることができるが、不確実性も高い。減衰全反射 (Attenuated Total Reflection, ATR) 法を用いれば、厚みのある試料に対して透過と同様のスペクトルを得ることができる。

赤外スペクトルから得られる、 $\text{C}=\text{O}/\text{C}=\text{C}$ や $(\text{CH}_2 + \text{CH}_3)/\text{C}=\text{C}$ ピーク強度比は、隕石母天体における変成により減少することが知られている¹⁶⁾。なお、赤外分光法の場合は、IOMだけでなく未処理の隕石の透過測定あるいは反射測定に用いることもできる。その場合は有機物の情報は限られるが、鉱物の情報を得ることができ、特に含水鉱物の特徴を調べたり、天体表面の赤外分光観測との比較に利用される¹⁷⁾¹⁸⁾。

3.7 ラマン分光

ラマン分光法は、光の非弾性散乱 (ラマン散乱) を利用して分子や結晶の状態を調べる分析手法である。試料にレーザー光 (通常は可視または近赤外) を照射すると、ほとんどの光はそのまま散乱される (レイリー散乱) が、わずかにエネルギーが変化した光も散乱される。これがラマン散乱であり、光子のエネルギー差は分子内の振動・回転エネルギーに対応している。

隕石 IOM のラマンスペクトルは、 1350 cm^{-1} 付近と 1580 cm^{-1} 付近に特徴的なピークを持つ (図3)。後者は Graphite (G) バンドと呼ばれ、グラファイト的な構造に由来する。前者は、Disorder (D) バンドと呼ばれ、グラファイト的な構造の無秩序性や欠陥によって生じる。これらのピークに対してスペクトルのフィッティン

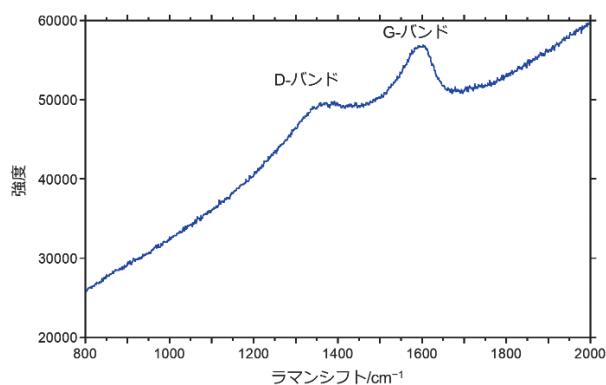


図3 Murchison 隕石 IOM のラマンスペクトル

グを行うことによりピーク位置、半値幅、強度比を求め、これらを指標として取り扱うことが一般的である。例えば、Dバンドの半値幅 Γ_D の値を用いて以下の式：

$$\text{PMT}(\text{°C}) = 931 - 5.10\Gamma_D + 9.1 \times 10^{-3}\Gamma_D^2$$

により隕石母天体が経験したピーク温度 (peak metamorphic temperature, PMT) の推定が可能である¹⁹⁾。ただし、低温ではあまり精度が良くない。また、フィッティングの方法もいくつか提案されている。おそらく一般的かつシンプルで実用的なのはDバンドを Lorentzian 関数、Gバンドを Breit-Wigner-Fano 関数によりそれぞれフィッティングする L-BWF モデルである²⁰⁾。その他、四つの pseudo-Void 関数でフィッティングする方法などが考案されている²¹⁾。

ラマン分光法は熱処理による炭素質物質のわずかな構造変化にも高い感度を示し、簡便な試料処理 (平坦な面があることが望ましいが、隕石粒子そのものでも測定可能である) で測定できるという利点がある。一方で、装置や測定条件の違いにもセンシティブなため、異なる装置や測定条件で得られたデータ間の比較には注意を要する。

4 その場分析

このセクションでは、SOMやIOMを抽出せずに、直接分析する手法を紹介する。したがって、これらの手法で検出される有機物には、SOMとIOM、さらにそれ以外の成分 (図1の「その他」に相当) が含まれている可能性がある。

4.1 透過型電子顕微鏡

透過型電子顕微鏡 (transmission electron microscopy, TEM) は、高エネルギー電子線 (200 kV 程度) を十分に薄い試料に透過させて、原子レベルの構造を観測することができる。電子線と原子の相互作用による特性X線を検出することにより、元素組成の情報を得ることができる。また、電子エネルギー損失分光 (electron energy-loss spectroscopy, EELS) を組み合わせることにより、分子構造の情報を取得することができる。EELSではX線吸収端近傍構造 (X-ray absorption near edge structure, XANES, 次項参照) と同様のスペクトルを得ることができる。

隕石の有機物分析においては、炭素や窒素をターゲットとしたEELSにより、ナノスケールでの局所的な有機物、例えばナノグロビュールと呼ばれる球状の有機物の分子構造の情報を得ることができる²²⁾。このような分析では3章で説明したIOMのバルク的な情報では失われる、局所的な情報を得ることができる。そのため、おそらく複数の起源をもつものの混合である、隕石中の有機物の複雑な形成過程の解明に有用なツールである。一方

で、電子線により試料にダメージを受けやすいため、エネルギーを落としたり短時間で測定するなど、注意を要する。また、電子線を透過するために試料を厚さ 70 nm 程度まで薄くする必要がある。集束イオンビーム (focused ion beam, FIB) で加工する方法やウルトラマイクロトームで薄片を切り出す必要がある。通常ウルトラマイクロトームを使用する際は、樹脂に試料を埋めたうえで薄片を切り出すのであるが、有機物を分析対象とする場合は試料を直接樹脂に埋めると樹脂の影響を免れない。そのため樹脂の代わりに溶かした硫黄の液滴に埋める手法が用いられる²³⁾。

4.2 走査型透過 X 線顕微鏡

走査型透過 X 線顕微鏡 (scanning transmission X-ray microscopy, STXM) は、軟 X 線 (通常は 100~2000 eV 程度) を用いて試料の元素分布や化学状態をナノメートルスケールで可視化する分析手法である。有機物分析では主に炭素 K 端領域 (およそ 280~340 eV) 及び窒素 K 端領域 (およそ 380~420 eV) が用いられる。エネルギー間隔 0.1 eV 程度でエネルギーごとに試料画像をスキャンすることにより、X 線吸収スペクトル情報を含む画像スタックを得る。これにより、30 nm 程度の空間分解能で分子/元素の存在量および分布マップを得ることができる。X 線吸収スペクトル中の XANES と呼ばれる領域では各官能基構造に由来するピークが見られるため、有機物の分子構造の局所的な分布の違いなどを詳細に明らかにすることができる。例として Murchison 隕石 IOM の C-XANES スペクトルを図 4 に示す。上述の電子線ほどではないが、軟 X 線によっても試料ダメージは起こるため²⁴⁾、あまり測定時間 (dwell time) を長くしない、同じエリアを複数回測定しないなど、注意が必要である。軟 X 線を透過するために、試料は 100 nm 程度の厚さの薄片にする必要がある。試料の作成方法は前述の TEM と同様である。

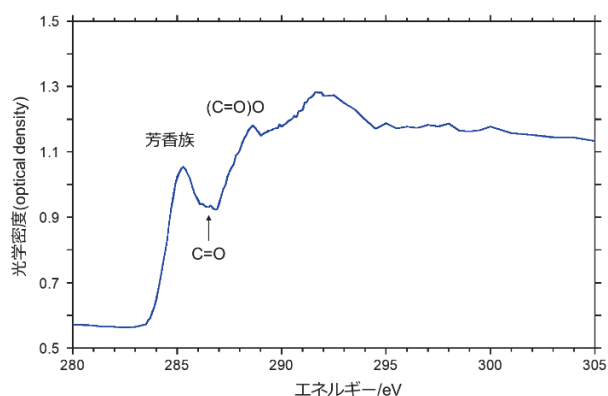


図 4 Murchison 隕石 IOM の C-XANES スペクトル

4.3 ナノ赤外分光

赤外分光法は非破壊で有機官能基や鉱物の情報を取得できる優れた手法であるが、空間分解能については回折限界のためおよそ赤外光の波長と同等であるため、地球外物質に見られる微細な構造を直接分析するには不向きであった。そこで、原子間力顕微鏡 (atomic force microscope, AFM) と組み合わせることにより、nm スケールの分解能で分光データを取得することができるようになった。

AFM は、カンチレバーと呼ばれる柔軟な板の先端に取り付けられた先端のシャープなプローブ (先端径数 nm) を試料表面に近づけ、探針と表面の間に働く原子間力を検出することで、表面の凹凸や物性を可視化する顕微鏡である。AFM と赤外分光との組み合わせは 2 通りある。一つは、AFM を波長可変赤外レーザーと組み合わせ、AFM 探針の光機械応答を介して試料の光熱膨張 (photothermal induced resonance, PTIR) を検出するものである²⁵⁾。二つめは、散乱型走査近接場光学顕微鏡 (scattering-type scanning near-field optical microscopy, s-SNOM) を用いるものである。s-SNOM では、入射光 (レーザー) を AFM プローブの先端に集光し、散乱光から赤外スペクトルを取得する。前者 (PTIR 型) はやや空間分解能は劣る (数十 nm) が、通常の赤外吸収スペクトルと同等のスペクトルを得やすく、後者は空間分解能ではやや勝っているが (10 nm 程度) 通常の赤外吸収スペクトルに対してピークのシフトが見られる場合がある。したがって現状では、標準物質を用意しにくい地球外有機物分析では前者のほうが向いていそうである。

4.4 質量分析イメージング

質量分析法は、イオン化法や質量分離法が多岐にわたっており、これらの特性を活かして様々な応用がなされている。ここでは、地球外物質の有機物分析に利用される質量分析イメージング法をいくつか紹介する。

最も普及している方法は、ナノスケール二次イオン質量分析法 (nanoscale secondary ion mass spectrometry, NanoSIMS) であろう。NanoSIMS は、試料表面に一次イオン (Cs^+ など) を照射し、放出される二次イオンを分析する手法であり、数十 nm の空間分解能で安定同位体の測定に使用される。地球外物質中のナノグロブュール (有機球状粒子) の多くは重水素 (D) や ^{15}N の濃縮がみられる²⁶⁾。D や ^{15}N は宇宙の分子雲や原始惑星系円盤外縁部など極低温環境で濃縮することが知られており、これらの有機物あるいはその前駆物質の起源のヒントとなる。

マイクロプローブ 2 ステップレーザー質量分析法 (microprobe laser-desorption laser-ionization mass spectrometry, $\mu\text{L}^2\text{MS}$) は、レーザー脱離とレーザーイオン化を組み合わせた高空間分解能の質量分析法で、固

体試料中の有機分子の分析に適している。約 40 μm の空間分解能で、PAH および関連化合物のその場分析に使用される²⁷⁾。

脱離エレクトロスプレーイオン化質量分析法 (desorption electrospray ionization mass spectrometry, DESI-MS) は、溶媒 (メタノールなど) を微細なエレクトロスプレーとして試料表面に噴霧し、表面の分子を溶媒に溶かしつつ脱離、イオン化する。高分解能の質量分析と組み合わせることで、精密質量から各成分の組成を推定し、これらの 50~100 μm でのイメージングができる²⁸⁾。溶媒抽出を伴うため、SOM 成分に特化したイメージング法である。

5 汚 染

隕石など、地球外物質に含まれる有機物は微量であるため、汚染の管理は欠かせない。アミノ酸などの微量成分の分析は通常はクリーンルーム内で行われる。また、500 $^{\circ}\text{C}$ で焼いて有機物を除去した蛇紋石粉末などをコントロールとして、実試料と同様に分析し、分析の過程における汚染がないことを確認するのが一般的である。さらに、化合物ごとの ^{13}C などの安定同位体の分析を行い、地球の物質と異なる値であることを確認する場合もある。アミノ酸の場合は、およそラセミ体であることも地球外物質由来の証拠といえる。地球上のアミノ酸はほとんどが L 体であるのに対し、地球外で非生物的に作られたアミノ酸は D 体と L 体の比がおおよそ 1:1 になるからである。しかし、非生物由来でも D/L 比にやや偏りができる場合があり、実際に隕石でも生物汚染ではない L 体過剰が報告されている²⁹⁾。このような分析の場合は特に汚染ではないことを的確に示す必要があり、地球上ではほとんど見つからないアミノ酸に対して L 体過剰が見つかったことなどが汚染でない証拠とされる。

環境中の揮発性有機化合物 (volatile organic compound, VOC) も汚染源になりえる。VOC はクリーンルームでも完全に除去することは難しく、注意が必要である。例えば、顕微赤外分光分析用に基板上に圧着された試料には VOC が吸着されやすく、汚染とみられる赤外吸収ピークがみられることがある³⁰⁾。特に周囲にシリコン製品があると、メチルシロキサン由来の赤外吸収ピークが 1265 cm^{-1} 付近に見られるのがわかりやすい。他にも粘着物質などから VOC が発生しやすいようで、これらのそばにクラッシュしたサンプルをおくと短時間 (<1 時間) で 2960 や 2930 cm^{-1} 付近の脂肪族 CH のピークの増加がみられる。このような現象は、表面積が大きく OH 基を持つといった吸着しやすい特徴を持つフィロケイ酸塩が多く含まれている隕石に見られる。試料調整のためにクラッシュされ、新鮮な表面が露出して生じた吸着サイトに VOC が吸着すると考えられる。実験環境中の VOC の完全除去は困難だが、VOC が発生し

やすい素材の使用を避ける、試料を調整したらすぐに測定するといった対策により、汚染を最小限にとどめることができる。有機物を除去した蛇紋石粉末をコントロールとして、実試料と同様に分析することも有効である。

6 今後の展望

近年宇宙探査技術が向上し、太陽系の様々な天体からのサンプルリターンが実行・計画されている。日本 (JAXA) の「はやぶさ」ミッションはその先駆的な存在であった。はやぶさ初号機のターゲットの小惑星イトカワは、高温を経験しており、ほとんど有機物を含まない天体のため、有機物分析の観点からすると、あまり着目されていない。続く「はやぶさ 2」のターゲットの小惑星リュウグウは有機物を豊富に含んでおり、今回紹介した有機物の分析手法が活躍した³¹⁾³²⁾。また、NASA の OSIRIS-REx ミッションでも有機物を多く含む小惑星 Bennu をターゲットとしており、試料の分析が行われている³³⁾。日本では引き続き火星の衛星であるフォボスからのサンプルリターンを行う MMX (Martian moons exploration) ミッション³⁴⁾が計画されており 2026 年度の打上げが予定されている。中国の探査機が月の試料を持ち帰るなど (月はあまり有機物は期待できないが)、国内外で太陽系の天体からのサンプルリターンが計画されており、今後は隕石として落ちてくる試料をただ待つだけではなく、試料を取りに行く時代になったといえよう。

地球の環境に曝^{さら}されていない試料を手に入れることができるようになったことに伴い、酸化や汚染を防ぐため地球大気に曝さずに試料を管理したり分析する手法も確立されてきている。例えば、JAXA の地球外物質研究グループでは、帰還した試料を大気に曝すことなく、真空あるいは窒素雰囲気下での試料のハンドリングや簡易分析が可能で設備が整っている³⁵⁾。また、将来の分析手法の向上を見据え、リュウグウ試料の一部は大気に曝されることなく高純度の窒素雰囲気下で保管されている。

最後に、歴史的にみても、地球外物質の研究は、分析装置の高度化と密接に関係してきた。筆者は新しい分析手法があると聞くと飛びつくタイプのユーザーであり、自身で装置開発ができないことに引け目を感じているところであるが、「ぶんせき」読者には最先端の装置開発に携わっておられる方も多いと思う。ぜひとも自慢の装置を地球外試料分析に適用していただきたい。

文 献

- 1) D. P. Glavin, C. M. O. D. Alexander, J. C. Aponte, J. P. Dworkin, J. E. Elsila, H. Yabuta : "Primitive Meteorites and Asteroids", Edited by N. Abreu, p. 205 (2018), (Elsevier).
- 2) P. Schmitt-Kopplin, Z. Gabelica, R. D. Gougeon, A. Fekete, B. Kanawati, M. Harir, I. Gebeuegi, G. Eckel, N. Hertkorn : *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

- States of America*, **107**, 2763 (2010).
- 3) C. M. O. D. Alexander, S. D. Newsome, M. L. Fogel, L. R. Nittler, H. Busemann, G. D. Cody : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **74**, 4417 (2010).
 - 4) C. M. O. D. Alexander, R. Bowden, M. L. Fogel, K. T. Howard, C. D. Herd, L. R. Nittler : *Science*, **337**, 721 (2012).
 - 5) C. M. O. D. Alexander, R. Bowden, M. L. Fogel, K. T. Howard : *Meteorit. Planet. Sci.*, **50**, 810 (2015).
 - 6) R. H. Becker, S. Epstein : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**, 97 (1982).
 - 7) D. N. Simkus, J. C. Aponte, J. E. Elsila, E. T. Parker, D. P. Glavin, J. P. Dworkin : *Life*, **9**, 47 (2019).
 - 8) A. Gardinier, S. Derenne, F. Robert, F. Behar, C. Largeau, J. Maquet : *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **184**, 9 (2000).
 - 9) G. D. Cody, C. M. O. D. Alexander, F. Tera : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **66**, 1851 (2002).
 - 10) C. M. O. D. Alexander, M. Fogel, H. Yabuta, G. D. Cody : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **71**, 4380 (2007).
 - 11) F. Okumura, K. Mimura : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**, 7063 (2011).
 - 12) M. A. Sephton : *Nat. Prod. Rep.*, **19**, 292 (2002).
 - 13) G. D. Cody : "Treatise on Geochemistry (Third edition)", Edited by A. Anbar, D. Weis, p. 883 (2025), (Elsevier, Oxford).
 - 14) G. D. Cody, C. M. O. D. Alexander : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1085 (2005).
 - 15) L. Binet, D. Gourier, S. Derenne, F. Robert : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **66**, 4177 (2002).
 - 16) Y. Kebukawa, C. M. O. D. Alexander, G. D. Cody : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**, 3530 (2011).
 - 17) P. Beck, E. Quirico, G. Montes-Hernandez, L. Bonal, J. Bollard, F. R. Orthous-Daunay, K. T. Howard, B. Schmitt, O. Brissaud, F. Deschamps, B. Wunder, S. Guillot : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **74**, 4881 (2010).
 - 18) F. E. DeMeo, B. J. Burt, M. Marsset, D. Polishook, T. H. Burbine, B. Carry, R. P. Binzel, P. Vernazza, V. Reddy, M. Tang, C. A. Thomas, A. S. Rivkin, N. A. Moskovitz, S. M. Slivan, S. J. Bus : *Icarus*, **380**, 114971 (2022).
 - 19) H. Busemann, C. M. O. D. Alexander, L. R. Nittler : *Meteorit. Planet. Sci.*, **42**, 1387 (2007).
 - 20) A. C. Ferrari, J. Robertson : *Physical Review B*, **61**, 14095 (2000).
 - 21) Y. Homma, Y. Kouketsu, H. Kagi, T. Mikouchi, H. Yabuta : *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **110**, 276 (2015).
 - 22) L. A. J. Garvie, P. R. Buseck : *Meteorit. Planet. Sci.*, **42**, 2111 (2007).
 - 23) T. Noguchi, M. Takase, R. Matsumoto, Y. Kebukawa, H. Suga, M. Kondo, Y. Takahashi, Y. Takeichi, H. Yabuta : *Life*, **10**, 135 (2020).
 - 24) J. Wang, C. Morin, L. Li, A. P. Hitchcock, A. Scholl, A. Doran : *J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom.*, **170**, 25 (2009).
 - 25) A. Dazzi, D. Glotin, R. Carminati : *J. Appl. Phys.*, **107**, 124519 (2010).
 - 26) K. Nakamura-Messenger, S. Messenger, L. P. Keller, S. J. Clemett, M. E. Zolensky : *Science*, **314**, 1439 (2006).
 - 27) F. L. Plows, J. E. Elsila, R. N. Zare, P. R. Buseck : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **67**, 1429 (2003).
 - 28) H. Naraoka, M. Hashiguchi : *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **32**, 959 (2018).
 - 29) J. R. Cronin, S. Pizzarello : *Science*, **275**, 951 (1997).
 - 30) Y. Kebukawa, S. Nakashima, T. Otsuka, K. Nakamura-Messenger, M. E. Zolensky : *Meteorit. Planet. Sci.*, **44**, 545 (2009).
 - 31) H. Naraoka, Y. Takano, J. P. Dworkin, Y. Oba, K. Hamase, A. Furusho, N. O. Ogawa, M. Hashiguchi, K. Fukushima, D. Aoki, P. Schmitt-Kopplin, J. C. Aponte, E. T. Parker, D. P. Glavin, H. L. McLain, J. E. Elsila, H. V. Graham, J. M. Eiler, F.-R. Orthous-Daunay, C. Wolters, J. Isa, V. Vuitton, R. Thissen, S. Sakai, T. Yoshimura, T. Koga, N. Ohkouchi, Y. Chikaraishi, H. Sugahara, H. Mita, Y. Furukawa, N. Hertkorn, A. Ruf, H. Yurimoto, T. Nakamura, T. Noguchi, R. Okazaki, H. Yabuta, K. Sakamoto, S. Tachibana, H. C. Connolly, D. S. Lauretta, M. Abe, T. Yada, M. Nishimura, K. Yogata, A. Nakato, M. Yoshitake, A. Suzuki, A. Miyazaki, S. Furuya, K. Hatakeda, H. Soejima, Y. Hitomi, K. Kumagai, T. Usui, T. Hayashi, D. Yamamoto, R. Fukai, K. Kitazato, S. Sugita, N. Namiki, M. Arakawa, H. Ikeda, M. Ishiguro, N. Hirata, K. Wada, Y. Ishihara, R. Noguchi, T. Morota, N. Sakatani, K. Matsumoto, H. Senshu, R. Honda, E. Tatsumi, Y. Yokota, C. Honda, T. Michikami, M. Matsuoka, A. Miura, H. Noda, T. Yamada, K. Yoshihara, K. Kawahara, M. Ozaki, Y.-i. Iijima, H. Yano, M. Hayakawa, T. Iwata, R. Tsukizaki, H. Sawada, S. Hosoda, K. Ogawa, C. Okamoto, N. Hirata, K. Shirai, Y. Shimaki, M. Yamada, T. Okada, Y. Yamamoto, H. Takeuchi, A. Fujii, Y. Takei, K. Yoshikawa, Y. Mimasu, G. Ono, N. Ogawa, S. Kikuchi, S. Nakazawa, F. Terui, S. Tanaka, T. Saiki, M. Yoshikawa, S.-i. Watanabe, Y. Tsuda : *Science*, **379**, eabn9033 (2023).
 - 32) H. Yabuta, G. D. Cody, C. Engrand, Y. Kebukawa, B. De Gregorio, L. Bonal, L. Remusat, R. Stroud, E. Quirico, L. Nittler, M. Hashiguchi, M. Komatsu, T. Okumura, J. Mathurin, E. Dartois, J. Duprat, Y. Takahashi, Y. Takeichi, D. Kilcoyne, S. Yamashita, A. Dazzi, A. Deniset-Besseau, S. Sandford, Z. Martins, Y. Tamenori, T. Ohigashi, H. Suga, D. Wakabayashi, M. Verdier-Paoletti, S. Mostefaoui, G. Montagnac, J. Barosch, K. Kamide, M. Shigenaka, L. Bejach, M. Matsumoto, Y. Enokido, T. Noguchi, H. Yurimoto, T. Nakamura, R. Okazaki, H. Naraoka, K. Sakamoto, H. C. Connolly, D. S. Lauretta, M. Abe, T. Okada, T. Yada, M. Nishimura, K. Yogata, A. Nakato, M. Yoshitake, A. Iwamae, S. Furuya, K. Hatakeda, A. Miyazaki, H. Soejima, Y. Hitomi, K. Kumagai, T. Usui, T. Hayashi, D. Yamamoto, R. Fukai, S. Sugita, K. Kitazato, N. Hirata, R. Honda, T. Morota, E. Tatsumi, N. Sakatani, N. Namiki, K. Matsumoto, R. Noguchi, K. Wada, H. Senshu, K. Ogawa, Y. Yokota, Y. Ishihara, Y. Shimaki, M. Yamada, C. Honda, T. Michikami, M. Matsuoka, N. Hirata, M. Arakawa, C. Okamoto, M. Ishiguro, R. Jaumann, J.-P. Bibring, M. Grott, S. Schröder, K. Otto, C. Pilorget, N. Schmitz, J. Biele, T.-M. Ho, A. Moussi-Soffys, A. Miura, H. Noda, T. Yamada, K. Yoshihara, K. Kawahara, H. Ikeda, Y. Yamamoto, K. Shirai, S. Kikuchi, N. Ogawa, H. Takeuchi, G. Ono, Y. Mimasu, K. Yoshikawa, Y. Takei, A. Fujii, Y.-i. Iijima, S. Nakazawa, S. Hosoda, T. Iwata, M. Hayakawa, H. Sawada, H. Yano, R. Tsukizaki, M. Ozaki, F. Terui, S. Tanaka, M. Fujimoto, M. Yoshikawa, T. Saiki, S. Tachibana, S.-i. Watanabe, Y. Tsuda : *Science*, **379a**, eabn9057 (2023).
 - 33) D. S. Lauretta, H. C. Connolly Jr, J. E. Aebbersold, C. M. O. D. Alexander, R.-L. Ballouz, J. J. Barnes, H. C. Bates, C. A. Bennett, L. Blanche, E. H. Blumenfeld, S. J. Clemett, G. D. Cody, D. N. DellaGiustina, J. P. Dworkin, S. A. Eckley, D. I. Foustoukos, I. A. Franchi, D. P. Glavin, R. C. Greenwood, P. Haenecour, V. E. Hamilton, D. H. Hill, T. Hiroi, K. Ishimaru, F. Jourdan, H. H. Kaplan, L. P. Keller, A. J. King, P. Koefoed, M. K. Kontogiannis, L. Le, R. J. Macke, T. J. McCoy, R. E. Milliken, J. Najorka, A. N. Nguyen, M. Pajola,

A. T. Polit, K. Richter, H. L. Roper, S. S. Russell, A. J. Ryan, S. A. Sandford, P. F. Schofield, C. D. Schultz, L. B. Seifert, S. Tachibana, K. L. Thomas-Keprta, M. S. Thompson, V. Tu, F. Tusberty, K. Wang, T. J. Zega, C. W. V. Wolner, t. O.-R. S. A. Team : *Meteorit. Planet. Sci.*, **59**, 2453 (2024).

34) T. Usui, K.-i. Bajo, W. Fujiya, Y. Furukawa, M. Koike, Y. N. Miura, H. Sugahara, S. Tachibana, Y. Takano, K. Kuramoto : *Space Sci. Rev.*, **216**, 49 (2020).

35) T. Yada, M. Abe, M. Nishimura, H. Sawada, R. Okazaki, Y. Takano, K. Sakamoto, T. Okada, A. Nakato, M. Yoshitake, Y. Nakano, K. Yogata, A. Miyazaki, S. Furuya, A. S. Iwamae, S. Nakatsubo, K. Hatakeda, Y. Hitomi, K. Kumagai, S. Suzuki, Y. N. Miura, M. Ito, N. Tomioka, M. Uesugi, Y. Karouji, K. Uesugi, N. Shirai, A. Yamaguchi, N. Imae, H. Naraoka, Y.

Yamamoto, S. Tachibana, H. Yurimoto, T. Usui : *Earth, Planets and Space*, **75**, 170 (2023).



癸生川 陽子 (KEBUKAWA Yoko)

東京科学大学理学院地球惑星科学系 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1). 大阪大学大学院理学研究科博士課程修了, 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》太陽系小天体の環境を模擬した有機物形成実験や, 隕石など地球外物質の有機物分析を中心とした研究を行っている. 《趣味》多肉植物, 息子 (4歳) と公園に行く.
E-mail : kebukawa.y.aa@m.titech.ac.jp

日本分析化学会の機関月刊誌『ぶんせき』の再録集 vol. 2 が出版されました! 初学者必見! 正しく分析するための 241 ページです.

本書は書籍化の第二弾として, 「入門講座」から分析試料の取り扱いや前処理に関する記事, 合計 36 本を再録しました. 『ぶんせき』では, 分析化学の初学者から専門家まで幅広い会員に向けて, 多くの有用な情報を提供し続けています. これまで掲載された記事には, 分析化学諸分野の入門的な概説や分析操作の基礎といった, いつの時代でも必要となる手ほどきや現役の研究者・技術者の実体験など, 分析のノウハウが詰まっています.

本書は下記の二章だてとなっています.

〈1 章 分析における試料前処理の基礎知識〉

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. 土壌中重金属分析のための前処理法 | 11. 大気中揮発性有機化合物分析のための前処理 |
| 2. 岩石試料の分析のための前処理法 | 12. 放射性核種分析のための前処理法 |
| 3. プラスチック試料の分析のための前処理法 | 13. 脂質分析のための前処理法 |
| 4. 金属試料分析のための前処理 | 14. 糖鎖分析のための試料前処理 |
| 5. 分析試料としての水産生物の特徴と取り扱い | 15. イムノアッセイのための前処理法 |
| 6. 食品分析のための前処理法 | 16. 加速器質量分析における超高感度核種分析のための試料前処理法 |
| 7. Dried blood spot 法による血液試料の前処理 | 17. 生元素安定同位体比分析のための試料前処理法 |
| 8. 生体試料のための前処理法 (液-液抽出) | 18. セラミックス試料分析のための前処理法 |
| 9. 生体試料のための前処理法 (固相抽出) | |
| 10. 環境水試料の分析のための前処理法 | |

〈2 章 分析試料の正しい取り扱いかた〉

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1. 生体 (血液) | 10. 岩石 |
| 2. 生体 (毛髪) | 11. 食品 (農産物の残留農薬) |
| 3. 金属 (非鉄金属) | 12. ガラス |
| 4. 金属 (鉄鋼) | 13. 環境 (陸水) |
| 5. 食品 (酒類) | 14. 温泉付随ガス |
| 6. 医薬品 (原薬・中間体・原料) | 15. 透過電子顕微鏡観察の試料調整 |
| 7. 海水 (微量金属) | 16. 環境 (ダイオキシン類) |
| 8. 考古資料 | 17. 高分子材料 |
| 9. 海底下の試料 (地球深部の堆積物および岩石) | 18. 沈降粒子 |

なお, 『ぶんせき』掲載時から数年が経過しているため, 記事の中には執筆者の所属も含め, 部分的に現在の状況とは異なる内容を含むものがあるかもしれません. 本書では, 各記事の『ぶんせき』掲載年を明記することで, 再録にともなう本文改稿を割愛しました. これらの点については, 執筆者および読者の方々にご了承いただきたく, お願い申し上げます. 本シリーズが化学分析の虎の巻として多くの方に活用されることを願ってやみません.

試薬の廃棄

1 はじめに

生産や研究開発の現場において未使用・使い残しの試薬や化学反応後の固形物・溶液の廃棄に注意を払うことは重要である。本稿では特に試薬の保管・廃棄時に気をつけるべき点について、筆者が勤務する大学の学部安全委員として見聞したことを中心に、試薬管理に関する法規制なども含めて解説する。

2 試薬廃棄時の注意点

2.1 廃棄の方法

バイオハザードや環境汚染の可能性が少ない、例えば塩化ナトリウム、エタノール、D-グルコースの希薄水溶液などのような生活排水と同レベルの廃液を除き、ほとんどの試薬はそのまま下水道に流すことはできない。下水道法および水質汚濁防止法の規制に従うと、下水に流すことや一般廃棄物として廃棄できる試薬はほぼないと考えてよい。

一番安全で確実な方法は専門の廃棄物処理業者にすべて引き渡して処分してもらうことである。しかし、すべての処分を依頼するのは現実には大変であるので、十分な化学的知識や法規制に関する知識などを持ったうえで、万一の事故発生時の対策を立ててから（できるだけヒュームフード内で）処理を行うことが求められる。

空き容器は内容物を十分に除去してから廃棄する。特に含塩素系有機化合物（クロロホルム、四塩化炭素など）は下水に流すことが全くできないので、ガラス器具の洗浄液も含めて回収し、廃液用タンクに入れる。もし、十分な除去が難しい場合は瓶も薬品付着ゴミとなるので、産業廃棄物として処分を依頼することになる。

気体の化合物は処分不可能な場合もあり、購入費用より廃棄費用が高いものも多い。また毒劇物も購入費用より処理費用の方が高額になることが多いので、試薬の購入にあたっては廃棄時の手間や費用も考慮することが必要である。

2.2 廃液反応

試薬を廃棄する際、その試薬どうしを一つの廃液あるいは廃棄物固体として混合することは、特に大学の研究室においてしばしばあることだと思われる。しかし、予期せぬ反応が起こり、危険になることもある。以下、いくつかの事例を紹介する。

1) ある研究室で、ガラス器具の洗浄に使用していた

希硝酸洗浄溶液を中和しようと、学生が水酸化ナトリウムを一気に投入したところ、中和発熱反応により液温が急上昇、湯気が出てパニックになり、溶液の飛沫で火傷しそうになった。この場合、顆粒あるいはペレット状の水酸化ナトリウムは酸性溶液にあらかじめ氷を加えて十分に冷却したのち徐々にかき混ぜながら加える必要がある。弱塩基である炭酸水素ナトリウムを使用する場合は、発泡に気を付けながら添加する。

2) 電気電子系の研究室で、半導体の表面処理に使用したアルカリ溶液廃液タンクに、誤って酸溶液を加えてしまい、中和反応による生成物の発生で部屋中に白煙が充満し、火事と誤認し消防車が来る騒ぎとなった。

3) ある研究室の大掃除で、不要試薬（溶媒など液体の有機化合物）を一つの廃液タンクまとめている際、学生が廃棄予定ではないジスルフィド化合物を誤って廃液タンクの中に投入してしまい、これが加水分解されてメルカプタンとなった（図1）。この分解生成化合物の構造は都市ガスのにおい付けに使われる *tert*-ブチルメルカプタンに類似しており、都市ガスが漏洩したときと同様の臭いが階下の建物中に充満して大騒動となった。なお、試薬メーカーによるジスルフィド化合物のSDS（安全データシート）には臭気に対する情報はなく、原因の特定には化学的知識が必要であった。

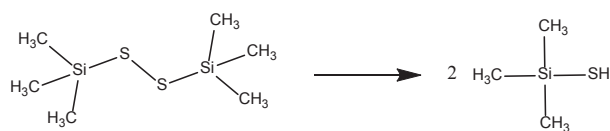


図1 ジスルフィド化合物の加水分解

廃液タンクの管理にも気をつけるべきである。有機溶媒を入れる容器に関して、蓋をきっちりと密閉してしまうと中で廃液が気化し、その圧力でタンクが膨張・変形することがある。（特に夏季のような気温が高い時期や内容量が少ないとき（＝タンク内の気積が大きいとき）に注意が必要である。かといって蓋を開放したままにすると、気化した溶媒による健康被害の恐れや閉め忘れの状態では運搬すると万一転倒した際に内容物が流出する恐れがある。理想は換気設備のあるところ（ヒュームフード内など）で少しでも蓋をあけて保管するとよい。

また、有機溶媒のタンクの材質はそれほど高価なものではなくて十分であるが、特殊引火物（ジエチルエーテル等）を満タンになるほど一杯に入れるとタンクが破裂する危険な状態になることがある。タンク廃液中の特殊引

火物の割合は 10 % 程度以下に抑える方が望ましい。

2・3 有効期限

試薬に有効期限がある場合、期限後は速やかに処分すべきである。有機化合物の場合、酸化を受けやすいもの、アミン類は劣化が起りやすい。また触媒は失活することがある。一方で、無機塩類は数十年経っても劣化しないものもある。「いつか使う」と思って保管していてもいつまでも使用しなかったり、逆に「もう使わないだろう」と思って廃棄したとたんに必要になったりすることがあるかもしれない。しかし、試薬購入コストと保管・廃棄コストを比較して、なるべく在庫は最小限にする方が望ましい。

2・4 不明試薬

処分する際に最も困るのは、内容物が不明な試薬や溶液である。大学の化学系研究室でよくある例として、前任者が残していった、ラベルがはがれた古い試薬が挙げられる。処分するためには内容物を調査し特定したうえで処分方法を検討する必要があるが、考えられる化合物の危険性・有害性がかなり幅広く、特定が困難になることも多い。廃棄物処理業者によっては不明試薬を調査の上引き取ってくれる場合もあるが、調査費用は一般に高価であり、内容物の正体が判明した場合でも、その処理は別料金となることが多い。

こういった事態を防ぐための最も効果的な対策は、一連の研究が終了する度に試薬を処分してしまうことであり、保存期間（有機化合物は 5 年など）を定めることが効果的である。

3 試薬廃棄と関連する制度

3・1 SDS との連携

先月の本稿「試薬の有害性情報」¹⁾でも紹介した SDS（安全データシート）には、その化合物の危険有害性情報などと共に、廃棄方法について記載がある（表 1）。

廃棄にあたっては、まず、SDS の記載内容に沿った措置をすることが原則である。

表 1 SDS に表示される項目 JIS Z 7253:2019²⁾

項目の番号	記載項目名	項目の番号	記載項目名
1	化学品及び会社情報	9	物理的及び化学的性質
2	危険有害性の要約	10	安定性及び反応性
3	組成及び成分情報	11	有害性情報
4	応急処置	12	環境影響情報
5	火災時の処置	13	廃棄上の注意
6	漏出時の処置	14	輸送上の注意
7	取扱い及び保管上の注意	15	適用法令
8	ばく露防止及び保護措置	16	その他の情報

3・2 PRTR 制度

環境省 WEB サイト³⁾からの説明を一部改変の上、以下に引用する。“PRTR とは Pollutant Release and Transfer Register（化学物質排出移動量届出制度）の略称である。有害性のある多種多様な化学物質が、どのような発生源から、どれくらい環境中に排出されたか、あるいは廃棄物に含まれて事業所の外に運び出されたかというデータを把握し、集計し、公表する仕組みである。対象としてリストアップされた化学物質を製造したり使用したりしている事業者は、環境中に排出した量と、廃棄物や下水として事業所の外へ移動させた量とを自ら把握し、行政機関に年に 1 回届け出る。行政機関は、そのデータを整理し集計し、また、家庭や農地、自動車などから排出されている対象化学物質の量を推計して、二つのデータを併せて公表する。

PRTR によって、毎年どんな化学物質が、どの発生源から、どれだけ排出されているかを知ることができる。諸外国でも導入が進んでおり、日本では 1999（平成 11）年、「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」（化管法）により制度化された。”

東京都の条例では（指定 58 物質について）年間 100 kg 以上、PRTR 制度では年間 1 t 以上使用した物質について、化合物の移動先（製品/廃棄物/下水に放出/大気に放出）を年度ごとに報告する。すなわち試薬の使用者はその行先を把握している必要があるということになる。使用量の見積もりは試薬管理システムを導入していれば比較的容易であるが、環境への放出量の見積もりは使用している研究者自身が見積もる必要がある。

4 おわりに

本稿では試薬の廃棄について、不十分ながらも筆者の 20 年に及ぶ体験をもとに記述した。特に困ったのが教員の退職時に伴う余剰試薬の処理であり、化学が専門でない教員が（昭和時代の）水銀化合物・アスベスト化合物を含む古い試薬を大量に保管しているケースもあった。研究開発の現場において、試薬購入時に廃棄方法まで考慮することは、今後は一層重要になると思われる。

文 献

- 1) 橋本 剛：ぶんせき (*Bunseki*), **2025**, 353.
- 2) JIS Z 7253, GHS に基づく化学品の危険有害性情報の伝達方法 —ラベル, 作業場内の表示及び安全データシート (SDS)— (2019).
- 3) 環境省 WEB サイト「PRTR インフォメーション広場」, (<https://www.env.go.jp/chemi/prtr/about/about-1.html>), (2025 年 8 月 20 日最終確認).

〔上智大学理工学部 橋本 剛〕

エドマン分解法を代替する塩基誘導ペプチド配列決定法

ペプチドのアミノ酸配列決定は、タンパク質の機能解明、創薬、合成生物学の進展に不可欠な基盤技術である。この分野では、1950年にEdmanによって開発されたエドマン分解法が、75年近くにわたり標準手法として広く利用されてきた¹⁾。しかし、エドマン分解は反応工程に強酸であるトリフルオロ酢酸を使用する制約を有している。Deolらは塩基のみを利用したN末端アミノ酸分解法開発のため、N-hydroxysuccinimideを脱離基、hydrazinecarboxamideを求核部位に持つDR3を設計した²⁾。DR3は迅速・高収率にN末端導入され、1%水酸化物塩(Ba(OH)₂)の温和な塩基条件下、隣接アミドへの分子内攻撃と六員環化を経てN末端アミノ酸を脱離させ、一残基短縮したペプチドを残留させる。この工程を繰り返すことで、配列を順次決定する(図1)。

DR3は20種類すべてのN末端アミノ酸で高収率の除去を達成し、一部(Cys, Gluなど)に既知の副反応傾向が見られるものの、条件最適化や前処理で実用域に到達し、モデルペプチドでは60℃、2時間の反応で90%程度N末端アミノ酸の脱離が進行した。消化ウシ血清アルブミン由来の複合ペプチド混合物に対してもDR3導入は高効率であり、続く塩基処理により配列端が切断された。

本手法は、トリフルオロ酢酸処理で問題となるDNAのデプリン化を最小限とし、DNAバーコード連結のような酸感受性要素を伴う次世代タンパク質シーケンシング系への適合性が強く示唆された。

総じて、本研究は「酸に依存しないN末端段階分解」という未踏の実装を達成し、酸不耐の蛍光色素や核酸を守りつつシーケンス可能な選択肢を提供する。今後、固相法への展開により精製工程を省略したスループット向上が期待される。本ペプチド配列決定法は、フルオロシーケンシングやDNAバーコード型手法、ナノボア等の新興技術と相補的に、次世代プロテオミクスの基盤技術としての発展が見込まれる。

- 1) P. Edman, E. Högfeltd, L. G. Sillén, P.-O. Kinell : *Acta. Chem. Scand.*, **4**, 283 (1950).
- 2) H. Deol, A. Raeisbahrani, P. H. T. Ngo, J. Swaminathan, O. Papoulas, E. M. Marcotte, E. V. Anslyn : *J. Am. Chem. Soc.*, **147**, 13973 (2025).

〔関西医科大学 近藤 直哉〕

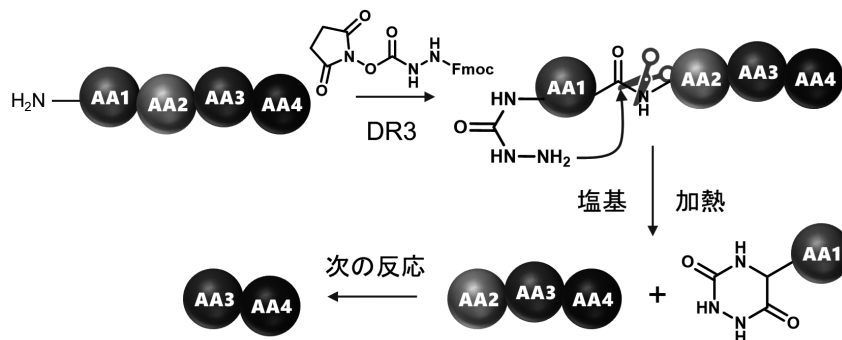


図1 DR3によるペプチドN末端分解反応の機構図

特殊なシクロデキストリンの合成と分子認識素子としての応用

物質間の特異的な相互作用である分子認識は、分析化学研究においても重要な役割を担い続けてきた。その中で、大環状オリゴ糖であるシクロデキストリン(CyD)は、分析化学の研究分野では代表的な分子認識素子として長年用いられてきた。CyDはキラルな疎水性空孔を有し、水中で様々な分子と包接錯体を形成する。この錯形成を分子認識機構として利用することで、これまで様々な分析試薬や分離技術が開発されている¹⁾。そこで本欄ではこのCyDの科学に着目し、主にCyDの合成に関する最先端の研究を紹介する。

一般的なCyDである α -、 β -、 γ -CyD(それぞれ6、7、8分子のD-グルコースから成る)に対し、より大きなサイズの空孔を持つものとして、9分子のD-グルコースから成る δ -CyDが知られている。ただ、その合成には26段階もの操作が必要であり、包接錯形成の熱力学的な評価をするための十分な試薬量を得ることができなかった。最近、Hansenらは1段階反応による δ -CyDの大量合成法の確立に成功した²⁾。CyD合成酵素による α -CyDの加水分解及び再環状化反応を、鑄型であるホウ素クラスター化合物の存在下において進行させることで、 δ -CyDが選択的に生成されることを明らかにした。この合成法により、著者らはグラムスケールで δ -CyDを合成し、さらにホウ素クラスター化合物との錯形成定数を決定した。今後、 δ -CyDの科学が進展されることに伴い、将来的にはそれを応用した分析技術の開発が期待される。

Wuらは、CyDの鏡像異性体、つまり、L-グルコースによって構成される α -、 β -、 γ -CyD(LCyDとする)を初めて合成した³⁾。NMR測定による錯形成定数の決定の結果、キラルな有機化合物であるフェンコンの(+)体と(-)体に対し、LCyDはCyDと完全に逆転したキラル選択性を示すことが判明した。このように、LCyDは従来のCyDでは実現できないキラル認識を可能にすることから、分析化学研究にも今後大きなインパクトを与え得るものである。

このような新しい分子認識素子を、新規な分析試薬や分離技術の材料として利用することだけでなく、その包接錯形成における溶液内平衡の精密な定量的評価を行うことも、分析化学としては今後興味深い研究になると言える。

- 1) L. Szente, J. Szemán : *Anal. Chem.*, **85**, 8024 (2013).
- 2) K. H. Hansen, A. Erichsen, D. Larsen, S. R. Beeren : *J. Am. Chem. Soc.*, **147**, 13851 (2025).
- 3) Y. Wu, S. Aslani, H. Han, C. Tang, G. Wu, X. Li, H. Wu, C. L. Stern, Q.-H. Guo, Y. Qiu, A. X.-Y. Chen, Y. Jiao, R. Zhang, A. H. G. David, D. W. Armstrong, J. F. Stoddart : *Nat. Synth.*, **3**, 698 (2024).

〔埼玉大学 鈴木 陽太〕

こんにちは



栗田工業株式会社を 訪ねて

〈はじめに〉

JR 中央線・青梅線の昭島駅北口から徒歩7分のところに、縦に並べた白いパイプでガラス張りの建物を囲んだ、とてもユニークなデザインの会社があります。8月初旬、この夏一番の酷暑日ではあったものの、涼を取るのに相応しい、水の清涼感を感じる外観です（写真1）。

ここは、栗田工業株式会社の Kurita Innovation Hub



写真1 KIH 外観



写真2 左から栗田工業の内保様、北見様、取材者の橋本編集幹事、久保田編集幹事、橋本研究室の佐藤さん

（KIH）と呼ばれる拠点です。筆者らは同社 サステナビリティ経営戦略室担当部長の北見 勝信 様、KIH 活用プロジェクト・プロジェクトリーダーの内保 顕 様にご案内いただき、栗田工業の歴史や KIH の設備、研究開発のエリアを見学致しました（写真2）。

〈栗田工業の企業理念と KIH の設計思想〉

栗田工業（以後クリタと表記）は「“水”を究め、自然と人間が調和した豊かな環境を創造する」という企業理念のもと、水処理薬品・水処理施設・およびメンテナンス・サービス事業を手掛ける企業です。今回訪問させていただいた KIH は企業理念に沿って環境やサステナビリティにも配慮した施設で、1日の水の使用量800トンのうち、最大80%もの実験排水を再利用するほか、再生可能エネルギー由来のグリーン電力も使用しており、環境配慮のための施策が随所に見られます。

KIH は2022年にオープンし、現在510名の従業員が在籍されています。「社内外の多様な人々が集い、学び、つながる、技術革新・社会変革の中心」というコンセプトのもとに設計された拠点で、コンセプト実現のために KIH に集う様々な人々を想定して、随所に工夫を凝らした設備が整えられています。

例えば、大学や研究機関、顧客企業を招いてグループ内外の知識・ノウハウの最大活用をする場として、セキュリティの万全なオープンラボが用意されています。またクリタグループ人材の技術教育・トレーニングの場として、実際に稼働する水処理施設が備わっています。新しい働き方を実践する場として、後述するとおりオフィスやラボにも様々な工夫が施されています。さらに社会・顧客価値に資する技術情報の発信、ソリューションの創出の場として撮影スタジオもあるそうです。地域とのかかわりという観点では、小中学生の社会科見学や、大学生・高専生のインターンが実施されているほか、フルタイムの正社員が所属するラグビーチーム「クリタウォーターガッシュ昭島」も擁しており、建物のすぐ隣にはきれいに整備されたラグビー場がありました。

〈TEC 内の見学施設〉

KIH は2棟の建物から構成されており、それぞれ TEC (Technology Educational Center)、TIC (Technology Innovation Center) と名付けられています。前者 TEC は展示物が多数用意された見ごたえのある見学施設、後者 TIC はオフィスやラボ、巨大な水処理施設を備えた近未来的な研究開発拠点という印象を受けました。

はじめに TEC にて、会社の歴史をご紹介いただきました。（写真3）クリタは1949年、ボイラ薬品の販売・ボイラ洗浄事業の会社として創立します。1960年代には三本の柱となる水処理薬品、装置、メンテナンスの技術により事業を伸ばしていきました。電子産業では最先



写真3 クリタ歴史の紹介をする内保様



写真5 (上) 工場模型にタブレットをかざすと (下) AR 技術のアプリが模型に重なるように絵や文章を表示し、クリタの技術を分かりやすく解説してくれる。



写真4 宇宙ステーションで使用された次世代水再生システムの姉妹号機

端の大工場でクリタの水処理プラントが利用されているほか、近年は国際宇宙ステーションで宇宙飛行士の利用できる水を再生するなど、宇宙産業にも携わっているとのこと。近くには実際に宇宙ステーションで使用された装置の姉妹機が展示されていました(写真4)。

続いて案内されたクリタシアターと呼ばれるミニシアターでは、水の大切さと、クリタの企業理念、クリタの技術が社会に貢献する利用事例などが迫力のある映像で紹介され、筆者はぐっと心をつかまれました。

クリタシアターを抜けると、クリタが長年培ってきた水にまつわる基盤技術の紹介パネルや、クリタの技術が産業界でどのように用いられているかを模型で紹介するコーナーが広がっていました。カメラの起動した専用タブレットを使って、製鉄、半導体など様々な産業のアイコンを読み取ると、画面の中に映し出された模型が拡張現実(AR)技術で動き出し、クリタの技術が工場のどこに使われているか、どのように産業の課題を解決しているかが手に取るようにわかります(写真5)。さらには KIH 周辺の町を模した大きなオブジェもありました。ここでもタブレットをかざすと、子どもを対象とした科



写真6 街を模したジオラマ (AR 対応)

学実験教室やラグビーチームなど、クリタが地域社会へ貢献している様子が動画で再生されます(写真6)。

〈TIC 内の研究開発拠点〉

AR 技術を活用した TEC の展示をひととおり楽しんだ後、一行は歩道橋で別棟の TIC へ移りました。TIC の建物にはオフィスエリアと水処理施設、さらには「分析の庭」と呼ばれるラボがあります。ひとつ大きな特徴として挙げられるのは、水処理施設を併設している関係で1フロアごとの天井が高いことです。その結果、通常のエアコンでは室温管理が難しいため、夏は冷水・冬は温水を流した金属製のラジエーターが壁の代わりにあ



写真7 オフィスエリア

数mずつフロアに高低をつけて、複数の作業エリアを分けている。

ちこちで設置されていました。

オフィスエリアでは、静かに集中して仕事をするフロア、会話でコミュニケーションをとりながら仕事をするフロアなど、従業員の業務内容や気分に応じて場所を自由に選べる開放的な空間が広がっています。フロアが縦に長いことを生かして、各エリアを小さな階段で仕切ったスキップフロア構造となっていて、各層の内装の雰囲気を変えているため、気分転換にも効果的と感じました(写真7)。

オフィスの裏手にはKIHの水処理施設があり、そこらも見学させていただきました。地下から汲み上げた井戸水を超純水にするプラントと、KIHから出た廃水を処理してその大半を再利用するプラントがひしめき、無数のパイプが整然と並ぶさまは壮観です(写真8)。規模の大きさもさることながら、インシデント発生時の対応も考慮されています。プラントの各所についたセンサーで水処理を監視し、リアルタイムで使用量や回収率などを表示する管理システムも見せていただきました。

続いて、いよいよ本取材の目玉となる「分析の庭」へご案内いただきました。まず目を奪われたのは、どのラボも壁全体がガラス張りで遠くまで見通せることです。ラボをガラス張りにすることで、「面白そうな実験をしているな」とラボ内の実験者に声をかけに行ったり、逆に「オフィスエリアにいるベテランに相談しよう」と実験者がラボの外に出たりと、ラボ内外での人と人との相互作用が起り、イノベーションが加速することを期待しているそうです。分析の庭では核磁気共鳴分析室(NMR)、金属元素分析室(写真9)、X線分析室、表面観察室、物理化学分析室、クロマト分析室、ポリマー分析室など、水の分析にまつわる主要な分析化学技術がひとつとおり揃っています。2022年に栃木から移転した際には、分析装置メーカーや代理店の協力のもと、バリデーションチェックとして移設前後の性能評価を実施したそうです。装置を長年大切に使用されていて、10年



写真8 TIC内の巨大な水処理設備

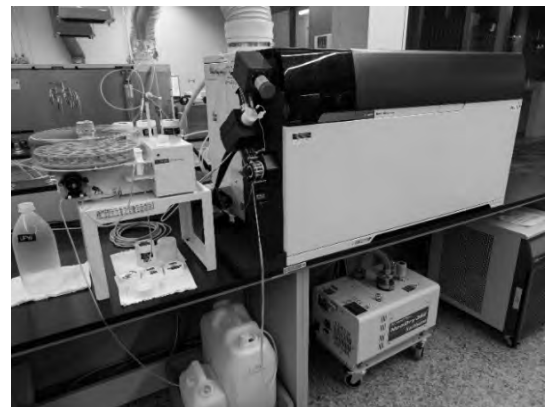


写真9 金属元素分析室のICP-MS/MS

お客様からいただくサンプル水や、クリタの開発者が実験で作り出したサンプル水を測定する(特別な許可を得て撮影)。

以上使用されている装置も珍しくないと胸を張って話されていました。

さらに、最先端の半導体製造工場と同レベルの清浄度を誇るクリーンルームも見せていただきました。微量元素分析装置のICP-MSや半導体工場で使われるオンライン分析装置が何台も並ぶ様子がガラス越しに窺えます。状況に応じて見学コースのガラスの透明度を調整し、秘匿性の高いお客様のサンプルや装置が見えないように配慮しているそうです。クリーンルーム内ではppq(1.0×10^{-12} g/kg)レベルという極微量の元素を測定可能で、超純水製造技術開発やお客様が使っている超純水の評価に適用します。これはICP-MSを毎日使う筆者も驚いたほど、桁違いに低い濃度です。極微量レベルの濃度を正確に分析するために、定量下限値よりもさらに不純物の少ないブランクを用意する必要があります。1mほどの長いカラムで超純水を精製して、最高純度のブランク超純水を準備している様子を見せていただきました。

クリーンルームで分析する対象物としてもうひとつ重要なものはナノ粒子です。半導体の小型化実現のため、回路の幅は年々狭くなっており、数ナノメートルサイズの粒子の混入ですら回路をショートさせてしまう恐れがあります。そこで超純水中のナノ粒子を走査電子顕微鏡

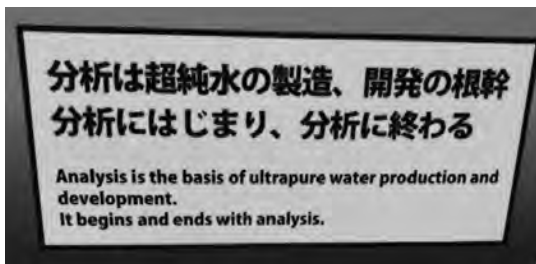


写真 10 クリタの開発精神

(SEM) や X 線分析装置 (EDX) で測定し、形状や元素組成を評価します。

最後にご紹介するのは、KIH の一角にある展示スペースです。どちらかといくとこぢまりとした部屋ですが、電子産業の発展とともに進歩してきたクリタの技術・製品のラインナップが壁一面の年表でまとめられています。開発担当者の方々の写真の傍らに、本学会員の皆さまにもぜひお読みいただきたいクリタの開発精神が記されていました (写真 10)。

〈おわりに〉

KIH 内の施設で特に本誌読者にアピールされたいポイントを伺うと、「お客様の秘密を守るよう、オープンラボのセキュリティを完備したので、共同研究の機会

があればぜひお声かけください」と仰っていました。

その他にも水処理にまつわる様々なお話を聞かせていただきました。食品・飲料産業のお客様に納品する際は、水処理に用いるイオン交換樹脂のアミン臭が食品・飲料の風味に影響するため、樹脂を長期間洗浄して納品すること。多くの工場で使われている RO 膜の交換頻度を減らすため、客先ごとに最適化された RO 膜洗浄メソッドを開発すること。フィルターで水から取り除いた汚れの中にも有価物があり、それを回収したいお客様もいることなど。

産業において普遍的に利用される「水」ひとつとっても、業界によって千差万別のニーズがあるようです。そのひとつひとつを真正面から受け止めて解決策を考えることが、栗田工業の技術力を高めているのだと、見学の中で実感しました。そして、分析を開発の根幹と位置付ける栗田工業の精神が、研究開発に携わる従業員に強く根付いていることも伝わってきました。

最後になりましたが、ご多用の中、快く取材に応じていただきました北見様と内保様に、この場を借りてお礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

アジレント・テクノロジー・
 インターナショナル株式会社 久保田 哲央
 上智大学理工学部 橋本 剛

原稿募集

「技術紹介」の原稿を募集しています

対象：以下のような分析機器、分析手法に関する紹介・解説記事

- 1) 分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術、
- 2) 分析手法の特徴および手法開発に関わる技術、
- 3) 分析機器および分析手法の応用例、
- 4) 分析に必要な試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説、
- 5) 前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項、
- 6) その他、分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など

報など

新規性：本記事の内容に関しては、新規性は一切問いません。新規の装置や技術である必要はなく、既存の装置や技術に関わるもので構いません。また、社会的要求が高いテーマや関連技術については、データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません。

お問い合わせ先：

日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会

[E-mail : bunseki@jsac.or.jp]



「理科教育」と「環境教育」

西九州大学健康栄養学部の安田みどり先生からバトンを受け取りました。西九州大学子ども学部の飯盛と申します。私は幼いころから科学に興味を持っておりました。鹿児島大学理学部化学科に入学後、卒業研究は物理化学系でしたが、修士課程から分析化学系の研究を行うようになりました。その後は地球環境科学の分野の研究で学位を取得しました。それから、紆余曲折を経て現在の職場である西九州大学子ども学部子ども学科に籍を置くことになりました。子ども学科は保育士、幼稚園、小学校および特別支援学校の資格、免許が取得できる、いわゆる教育学系の学科であり、私はそこで「理科」や「生活」といった科目を担当することになりました。教育学系の科目を担当することは、初めてのことであり、かなり不安があったことを記憶しております。

そこで、これらの科目を担当するにあたって、教科書を改めて確認しました。私が教わった時代の理科とはかなり違っている印象を受けました。特に印象深かったことは、「環境問題」について昔と比べてより多く触れられている点です。

人間社会の文明の発達に伴って、特に「産業革命」以降において、大気汚染や水質汚染など、さまざまな環境問題が生じてきました。日本においても、環境問題が大きな社会問題となり、「公害対策基本法」が1967年に制定されました。また、近年、環境問題がグローバル化してきたことを背景に、1993年には「環境基本法」が制定されました。一方で、「環境」についての教育、いわゆる「環境教育」の目的および目標は、1975年に開催された「ベオグラード会議」によって次のように決定されました。「環境とそれに関連する諸問題に気づき、関心をもつとともに、現在の問題解決と新しい問題の未然防止に向けて、個人及び集団で活動するための知識、技能、態度、意欲、実行力を身に付けた人々を世界中で育成すること」¹⁾。

この「環境教育」の理解に大きな影響を与えるとされる概念が「持続可能な開発目標 (Sustainable Development)」です。「持続可能な開発目標」は「将来の世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、現在の世代のニーズを満たす開発」と定義されています。また、「持続可能な社会の担い手を育む教育」が「持続可能な開発のための教育 (Education for Sustainable Development, ESD)」です。

ESDは、環境的視点、経済的視点、社会・文化的視点から、より質の高い生活を次世代を含むすべての人々にもたらすことのできる開発や発展を目指した教育であり、持続可能な未来や社会の構築のために行動できる人の育成を目的としています¹⁾。

したがって、学校教育と社会教育の融合が図られ、幼児教育からすべての学校段階、そして生涯学習へとつながる「環境教育」がなされています。

現在の担当科目（「理科」、「生活」）における「環境教育」を行うにあたって、大学で研究してきたことが、かなり役立っていると感じています。例えば、小学校6年生の単元「燃焼の仕組み」においては、植物体の物の燃え方について、空気中の酸素が使われて二酸化炭素が生じることを学びます。その空気の変化について考える中で、教科書によっては化石燃料の燃焼による大気汚染について触れられているものがあります。そこで、大学の講義の中で、以前研究した大気汚染の一例である酸性雨について紹介しています。

また、同じく6年生の単元である「生物と環境」においては、指導する項目の一つに「人は、環境と関わり、工夫して生活していること」とあります。これについては、海水、河川水、地下水などの環境水を分析および研究したときの内容を講義で紹介しています。

当初は「理科」や「生活」に関する科目を担当することに戸惑いがありましたが、このように自分が研究してきた内容を組み合わせることで、自分なりの「理科教育」を行えているのではと考えております。ただ、正直なところ学生が興味を持って講義を聴いているかといえば、中々難しい現状にあるかと言えます。現在は少しでも学生が「理科」や「環境」に興味をもってくれるように、教育内容の改善の毎日です。

次号の執筆者は鹿児島大学の児玉谷仁先生にお願いいたしました。お忙しい中執筆をご快諾いただきまして感謝いたします。

1) 国立教育政策研究所教育課程研究センター：「環境教育指導資料【幼稚園・小学校編】」, p. 3-5 (2014), (東洋館出版社)

〔西九州大学 飯盛 啓生〕

日本分析化学会第74年会開催報告

1 はじめに

日本分析化学会第74年会は、2025年9月24日（水）～26日（金）の日程で北海道大学にて開催された。今年、ASIANALYSIS XVII（実行委員長：小澤岳昌 東京大学教授）も同日に北海道大学で開催され、ポスター発表を両学会ともに体育館で実施し、活発なディスカッションが行われただけでなく、多くの参加者による国際交流も活発に行われた。

参加人数は1191名、講演件数は口頭発表216件、ポスター発表379件（一般ポスター135件、テクノレビューポスター6件、若手ポスター228件、高校生ポスター10件）、受賞講演12件、研究懇談会講演17件、シンポジウム講演29件（5つの特別シンポジウム（うち1つは公開シンポジウム）と1つの産業界シンポジウムの合計講演件数）であった。



工学部正面入口

2 講演

講演分類は、第72年会（熊本）、第73年会（名古屋）と同様に22分類とした（表1）。近年の傾向として、「原子スペクトル分析」、「センサー」、「環境分析」、「バイオ」の講演件数が多く、本年会においても同様の傾向であった。さらに本年会では、「材料分析」および「食品・医療・臨床」の講演件数も多かった。

口頭発表は、A～Jの10会場において、一般講演とシンポジウム講演が行われた。特別シンポジウムとして、

1) 環境工学で注目を浴びる分析化学、2) 先端分光・電気化学・バイオセンシングの新展開：ナノ・分子レベルの計測と制御、3) エクソソームと分析化学、4) 生体界面とバイオセンシング、5) 分析化学における信頼性確保のための取り組み（公開シンポジウム）の5件が開催された。これらのシンポジウムでは、環境問題や生命科学、信頼性評価など、社会的にも重要な課題の解決に向けた分析化学の役割と可能性が議論され、最先端の分析・センシング技術に関する発表が行われた。いずれのシンポジウムにおいても、活発な議論・討論が交わされ、今後の研究の方向性についても共有がなされた。また、初日の午後に開催された産業界シンポジウムでは、「分析化学におけるスマートラボ化」をテーマで、企業、国立研究機関、大学の研究者・技術者が講演し、

表1 講演分類と発表件数

分類	一般口頭	一般ポスター	若手ポスター
1. 原子スペクトル分析	15	11(1*)	6
2. 分子スペクトル分析	7	2	7
3. レーザー分光分析	3	1	6
4. X線分析・電子分光分析	10	4	12
5. 放射線・磁場	0	0	2
6. 電気化学分析	11	3	12
7. センサー	16	4	14
8. 質量分析	5	8(2*)	17
9. マイクロ分析	7	1(2*)	5
10. FIA	5	0	4
11. LC	9	12	9
12. 抽出	5	4	7
13. GC	2	3(1*)	0
14. 分離・分析試薬	6	6	10
15. 反応基礎論	12	1	1
16. 標準物質・データ処理	2	2	0
17. 界面分析	6	0	10
18. 微粒子分析	17	5	6
19. 環境分析	26	20	40
20. 材料分析	13	18	18
21. 食品・医療・臨床	12	29	19
22. バイオ	27	1	23
計	216	135(6*)	228

* ()内はテクノレビューポスターの件数

** 高校生ポスターは講演分類がないため表には示していない

ラボラトリーオートメーションの現状と課題、今後の展望などが紹介された。近年、研究現場におけるデジタル化・自動化が急速に進む中で、スマートラボは分析化学分野でも重要なテーマとなっており、本シンポジウムではその最新動向や今後の方向性について活発な議論が行われた。加えて、15の研究懇談会では、それぞれの懇談会の研究に関する講演が行われ、活発な議論が交わされた。

ポスター発表は、体育館を会場として行われ、企業展示およびASIANALYSISのポスター発表も同一会場で実施された。これらを一箇所に集約したことで、広い会場空間を活かした展示が可能となり、参加者の動線が効率化されたほか、産学・国際間の交流促進にも大きく貢献した。会場では研究内容に対する活発な意見交換が行われ、終始盛況のうちに進行した。厳正な審査の結果、26名に若手ポスター賞が授与された。本年会では、英国王立化学会（Royal Society of Chemistry）の sponsorshipのもと、受賞者の中から Analyst 賞および Lab on a Chip 賞が各1名、各ジャーナルの Associate Editor により選出された。また、高校生ポスターの講演者には全員に優秀講演賞を授与し、その中から1件を最優秀講演賞として表彰した。高校生による発表のレベルは年々向上しているように思われ、質疑応答においても専門的な質問に的確に回答するなど、非常に高い理解度がうかがわれた。学会参加を通じて、高校生が専門家から直接アドバイスを受れたり、自身の考えを述べたりすることは、科学への関心をさらに高める有意義な機会となっている。今後、より多くの高校生が参加できるよう、学会としても周知や環境整備を進めていくことが期待される。



(上) ポスター発表の様子 (下) 企業展示の様子

3 授賞式・受賞講演

学会賞を除く各賞の受賞講演は、関連する研究分野に近い講演分類の会場において行われた。各賞の受賞者は次の通りである。技術功績賞：辻田明氏、奨励賞：石井千晴氏、金尾英佑氏、眞塩麻彩実氏、横山悠子氏、先端分析技術賞：松田和大氏、森川悟氏、森川剛氏、柳田顕郎氏、松下美由紀氏、蛭田多美氏、富岡勝氏、福田真人氏、女性 Analyst 賞：高野恵里氏、高橋幸奈氏。

二日目の午後には、北海道大学工学部日本製鉄オープンホールにおいて、名誉会員推戴式・授賞式および学会賞受賞講演が行われた。授賞式に先立ち、加納健司氏と渋川雅美氏に名誉会員の推戴が行われた。上記の奨励賞、先端分析技術賞、女性 Analyst 賞の受賞者に加え、学会賞：川崎英也氏、長谷川浩氏、前田耕治氏、「分析化学」論文賞：石井千晴氏ほか6名、柳澤華代氏ほか3名、有功賞：46名に各賞が授与された。授賞式後には、3名の学会賞受賞者による講演が行われた。いずれの講演も、自身の研究の経緯や背景から現在の研究内容、さらには今後の展望に至るまでをわかりやすく説明され、学会賞にふさわしい充実した内容であった。



授賞式（有功賞）の様子

4 ものづくり技術交流会、ランチオンセミナー

二日目の9:30~14:00に、分析イノベーション交流会実行委員会主催（特別実行委員長：石田晃彦氏）による「ものづくり技術交流会 2025 in 北海道」が、北海道大学工学部アカデミックラウンジ3（T会場）で開催された。本交流会では、北海道の企業や大学を中心に、ものづくりや試薬・材料などの開発を展開している企業の協力を得て、展示交流会およびレクチャー講演が行われた。多数の参加者が来場し、盛況であった。

ランチオンセミナーは、初日と二日目にそれぞれ2件、計4件が実施された。また、日本分析化学会女性研究者ネットワーク・日本分析化学会第74年会実行委員会主催（世話人：保倉明子氏）による「みんなのキャリアデザイン交流会」が、(株)島津製作所の sponsorshipにより初日に開催された。例年同様、ランチオンセミナーはいずれも盛況であった。

5 懇親会

二日目の夕方(18:00~)に札幌グランドホテル本館2階(金枝)にて懇親会を開催した。懇親会は南尚嗣氏の司会で進行され、実行委員長の挨拶に続き、来賓として北海道大学総長 寶金清博氏および日本分析機器工業会副会長 飯泉謙氏からご挨拶をいただいた。その後、日本分析化学会会長の山本博之氏の乾杯により、懇親会が開始された。会場では、北海道の食材を用いた料理や北海道大学ワイン、北海道産ウイスキーなども提供され、参加者同士の交流が和やかに行われた。会食の半ばでは、2026年度開催予定の第86回分析化学討論会の実行委員長である佐賀大学の高椋利幸氏および日本分析化学会第75年会的実行委員長である東北大学の壺岐伸彦氏から、それぞれの学会の案内があった。主催者側では、参加者が北海道の料理を十分に楽しめるよう、食事



懇親会の様子

は十分に準備したつもりであったが、料理が好評であったためか、思いのほか早くなくなった。追加の料理をホテルに依頼したが、材料が準備できず、参加者に提供できなかったのは残念であった。一方で、料理が好評であったことは、参加者に喜ばれたこととして、主催者側にとっても喜ばしい結果であった。最後に、北海道支部長の坂入正敏氏の閉会の挨拶により、盛会のうちに終了した。

6 おわりに

本年会は、ASIANALYSIS XVII と同時開催であったこともあり、準備段階から実行委員の先生方、特に北海道大学所属の実行委員の先生方(谷博文(総務)、上野貢生(会計)、佐藤久(会場:工学部)、石田晃彦(会場:体育館)、山田幸司(プログラム))の協力がなければ、円滑に運営することは困難であった。また、ASIANALYSIS 実行委員長の小澤岳昌先生をはじめ、合同開催にご尽力いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。さらに、Confit 小委員会の津越敬寿氏、平山直紀氏、学術会合協議会担当理事の手嶋紀雄氏、日本分析化学会事務局の高島章子さんには多大なご協力をいただいた。加えて、企業展示、ランチョンセミナー、広告などご協力いただいた企業の皆さま、運営を支えてくれた学生アルバイトの皆さん、そして参加くださったすべての皆さまに、実行委員会を代表して心より御礼申し上げます。

[北海道大学大学院工学研究院 渡慶次 学]

原稿募集

ロータリー欄の原稿を募集しています

内容

談話室：分析化学、分析方法・技術、本会事業(会誌、各種会合など)に関する提案、意見、質問などを自由な立場で記述したもの。

インフォメーション：支部関係行事、研究懇談会、国際会議、分析化学に関連する各種会合の報告、分析化学に関するニュースなどを簡潔にまとめたもの。

掲示板：分析化学に関連する他学協会、国公立機関の主催する講習会、シンポジウムなどの予告・お知らせを要約したもの。

執筆上の注意

1) 原稿量は1200~2400字(但し、掲示板は400

字)とします。2) 図・文献は、原則として使用しないでください。3) 表は、必要最小限にとめてください。4) インフォメーションは要点のみを記述してください。5) 談話室は、自由投稿欄ですので、積極的発言を大いに歓迎します。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2

五反田サンハイツ304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]

放射能分析の必要性和分析技術者の養成

筆者は、永年放射能分析とその周辺分野の仕事に携ってきた。編集委員会より、本欄記事を執筆する機会をいただいたので、筆者周辺における放射能分析の現状と将来に関する私見を紹介させていただく。

中性子放射化分析 (NAA) と放射性核種 (RN) 分析は、第2次世界大戦後に原子力開発とともに発展した。しかし、ICP-AES 及び ICP-MS 等の競合する分析法の出現や、放射性物質の取扱いの煩わしさから、近年、開発が終わった時代遅れの分析法のようになっていた。しかし、2011年の福島第一原子力発電所事故により、両者の状況は大きく変わった。

事故によって放出された RN の汚染区域が広大であったため、分析試料数が膨大になり、放射能分析が未経験の試験所も、 γ 線スペクトロメトリーによる放射性セシウム (^{134}Cs と ^{137}Cs) 分析を実施することになった。このような試験所に対して、本会の標準物質作製委員会は、種々の認証標準物質 (CRM) を調製して提供するとともに、CRM を使用した技能試験を実施して、放射性セシウム分析の信頼性向上に貢献した。この活動により、我が国で標準的に使用されていた、Ge 検出器- γ 線スペクトロメトリーによる ^{134}Cs (半減期: 2.07 年) 分析の結果は、約 -3% の偏りをもつことが明らかになった¹⁾。もし、この分析法の解析プログラムをリリースする前に、妥当性確認試験が十分に行われていれば、このような事態を防ぐことができたと思われる。しかし、解析プログラムを開発した民間会社では、馴染みのない ^{134}Cs 分析の妥当性確認試験は考えられなかったようである。放射性セシウム分析の需要は時間とともに減少したが、「万が一」の事態に備え、CRM 調製と技能試験を継続して、分析能力をある程度維持する必要があるように思う。

他方、この事故によって我が国の全研究用原子炉 (研究炉) が 10 年以上にわたって運転を停止した。日本原子力研究開発機構 (原子力機構) の研究炉 JRR-3 は、2021 年から運転を再開したが、長期間の運転停止によって NAA の利用は大きく減少したようである。近年、京都大学の研究炉 KUR も運転を再開したようであるが、同炉は老朽化により数年後には運転を完全に停止するようである。研究炉による NAA は、正確性に優

れた高感度多元素分析法であるため、環境試料や高純度物質の分析に有効で、標準物質の分析には不可欠である。このため、JRR-3 には、新たな NAA システムを整備して、国内の利用者に提供する必要がある。また、本会の標準物質作製委員会の放射能分析用 CRM は、当初、事故によって放出された ^{134}Cs と ^{137}Cs を含んでいたが、放射壊変によって ^{134}Cs はほぼ消滅した。JRR-3 での中性子照射によって、 ^{134}Cs をはじめ、種々の RN を簡単に作るができるうえ、種々の RN を含む CRM を調製して、国内の試験所の分析能力の向上に資することもできる。

我が国には、将来解体が必要となる発電用原子炉が 40 基以上もある。運転を終了した原子炉を解体するには、RN 分析が必要である。 γ 線を放出する RN は比較的 analysis が簡単であるが、 α 線や β 線のみを放出する RN の分析には、放射化学分離が不可欠である。使用済み核燃料や事故炉のデブリに含まれる α 線放出核種のアクチノイドの分析では、あらかじめアクチノイドを放射化学分離してから、質量分析又は α 線スペクトロメトリーによって定量する必要がある。また、海洋環境試料に含まれる長寿命の純 β 線放出核種 ^{90}Sr の分析は、複雑な放射化学分離法によって分離・精製した後、比例計数管や液体シンチレーション計数法によって β 線を測定しなければならない。この分析には 2 週間以上の時間を要し、放射化学分離と放射線測定知識と技術を持つ経験豊富な専門家が必要である。そのため、放射化学分析の技術を維持するには、分析技術者を養成することが求められる。

筆者は、1968 年から 38 年間、日本原子力研究所 (原研) 東海研究所の化学部分析センターで NAA と RN 分析の技術を習得した。分析センターは、核燃料及び原子炉材料等の分析法の開発と原研内からの依頼分析を使命として、40 人を超える分析の専門家で構成されていたが、1993~2001 年に行われた組織改編によって消滅した。その後、2005 年に旧原研と旧核燃料サイクル開発機構が合併して日本原子力研究開発機構が発足した。この合併により、旧原研東海研究所は原子力科学研究所 (原科研) になった。しかし、そこには核物質の保障措置分析や廃棄物分析など、限られた分野の分析研究グループはあるが、分析の専門部署はないようである。そのため、 γ 線スペクトロメータ等の放射線測定装置、質量分析装置、ICP-AES 及び ICP-MS 等の分析装置は、各研究グループで保有するようになり、測定操作は主に人材派遣会社からの派遣職員によって行われていると聞いている。派遣職員は、その制度上契約期間が限られているため、放射化学分離を併用した分析など、技術と経験を要する分析には不向きであり、分析技術の継承も困難になっているようである。

原子力機構の原科研は、研究炉 JRR-3 と RN の使用施設を保有するため、放射能分析を実施できる我が国で唯一の研究所である。筆者は、同研究所に分析の専門家で構成される「放射能分析センター」を設置して、放射能分析が実施されることを願っている。

1) 米沢ほか: 分析化学 (BUNSEKI KAGAKU), 67, 213 (2018).

[日本国際問題研究所 米沢 仲四郎]

第 410 回液体クロマトグラフィー研究懇談会

2025 年 9 月 19 日（金）に第 410 回液体クロマトグラフィー研究懇談会が、「HPLC, LC/MS における検出についてのあれこれ」という講演主題で、(株)日立ハイテクアナリシス サイエンスソリューションラボ東京で開催された。

HPLC を用いた分析において、分析結果に大きな影響を与える検出には、高感度、高精度や選択性などが求められている。本例会では、高感度化、選択的な検出を実現する装置・手法、あるいは特徴的な装置の紹介など、検出に関するあれこれについて 7 題の講演があり、参加者は 25 名であった。以下に、各講演の概要を紹介する。

石井直恵氏（メルク株）から、「高感度 HPLC および LC/MS のための分析用水の最適化」という演題で、HPLC, LC/MS に用いる水の規格、分析に影響を及ぼす水の中の不純物、分析に求められるグレードなどについて説明があった。また、超純水の精製方法や超純水製造装置の仕組みについての紹介があった。

太田茂徳氏（ジーエルサイエンス株）から、「高感度化を達成するための高選択の前処理と分析例」という演題で、固相抽出を用いた前処理における選択性の違いと、高感度を達成するための高い選択性を有する固相抽出カラムについて説明があった。各固相の特徴、比較、違いなどについて、固相の高選択型担体であるホウ酸担体、キレート担体、金属酸化物担体については、データを交えての紹介があった。

清水克敏氏（株)日立ハイテクアナリシス）から「ポストカラム誘導体化法による分析手法の紹介」という演題で、選択的かつ高感度に検出することができる誘導体化法による分析方法の紹介があった。ここでは、アミノ酸、有機酸、糖分析を中心にポストカラム誘導体化法での結果について、システムの構成や測定結果を紹介しながら説明があった。

筆者からは「キラル分析用検出器の紹介と応用例」という演題で、キラル分析用検出器である旋光度検出器及び円二色性検出器の紹介を行った。また、応用例として、円二色性検出器の特長的な機能である g-factor を利用した光学異性体存在比率の算出方法、分取時の純度モニターおよび選択的検出とキラル定性情報について、円二色性検出器を使用する際の留意点について説明した。

約 15 分の休憩を挟み、寺田英敏氏（株)島津製作所）から、「2 次元 LC (2D-LC) による高感度化、選択的な検出」という演題で、HPLC の検出法として一般的に使用されている吸光度検出にフォーカスし、検出器のオプションやソフトウェアを用いての高感度化、選択性の向上についての説明に加え、2 次元 LC (ハートカット 2D-LC, Comprehensive 2D-LC) を用いることで、システムとして感度や分離を含めた選択性の向上について応用例の紹介があった。

高橋 豊氏（浜松医科大学/エムエス・ソリューションズ株/株)プレッパーズ）から、「LC/MS 高感度化のための技術・手

法・注意点」という演題で、LC 側、MS 側それぞれで高感度化に寄与している技術や手法、注意点について紹介があった。具体的には、LC と ESI をナノスケールにダウンサイズすることで高感度化が望め、また oa-TOF-MS による技術の改良、さらにイオンの利用効率 (duty cycle) の改善するための工夫により、数%以下と言われていた duty cycle が 80% 以上に向上することができたとの情報があると説明があった。

最後に中村 洋委員長（東京理科大学）から、総括として「HPLC, LC/MS における検出についてのあれこれ」について講演いただいた、各講演者に対しての講演内容についての質問や補足が行われ、参加者により理解を深めてもらうことができた。

講演終了後、講演者を囲んだ情報交換会が開催され、11 名が参加し、交流を深める場となった。

最後に本例会開催にあたり、講演依頼を快諾していただいた講演者の皆様、例会開催準備にご協力いただいた役員の皆様、会場の提供および設営を行っていただいた(株)日立ハイテクアナリシスの皆様、そして聴講いただいた参加者の皆様に深く感謝を申し上げる。

〔日本分光株) 佐藤 泰世〕

第 411 回液体クロマトグラフィー (LC) 研究懇談会

標記懇談会が(公社)日本分析化学会 (JSAC) 第 74 年会 (北海道大学工学部、札幌市) の初日 2025 年 9 月 24 日 (水)、10.30 から 11.00 まで H 会場 (C214 講義室) で開催された。JSAC では現在 19 の研究懇談会が活動中であるが、第 74 年会実行委員会から提供された講演枠 (原則 30 分間) に 3 日間で 16 の研究懇談会が講演を行った。LC 研究懇談会は 8 月を除く毎月研究懇談会例会を 11 回開催しており、年會会期中に実行委員会から提供される特別講演会を加えると年間に 12 回例会を開催している。

さて、第 411 回 LC 研究懇談会と題した特別講演会には株)フジクラの市川進矢氏を依頼講演者として選出し、「工業分野における LC の有効活用」と題する講演 (講演番号 H1004C) を拝聴した (座長: 筆者)。参加者は、ほぼ教室が埋まる 60 名程度であった。以下、当日の講演概要を紹介する。

1. HPLC によるフタル酸エステル類の分析

環境負荷物質であるフタル酸エステルの HPLC 分析においては、C18 カラムは一部の分析種が異性体の存在により、複雑なピーク形状となる問題がある。これに対し、フェニルカラムを用いることで異性体に対する選択性が抑えられる結果、ピーク形状がシンプルとなり、フタル酸エステルのスクリーニングが容易となることが紹介された。また、LC-MS/MS による REACH 規則の高懸念物質 (SVHC) のうち、ヘキサブプロモシクロドデカン (HBCD) とテトラブプロモビスフェノール A (TBBPA) の分析事例が紹介された。HBCD と TBBPA は一斉分析が可能であり、HBCD はジアステレオマーの分離分析も達成されることが示された。

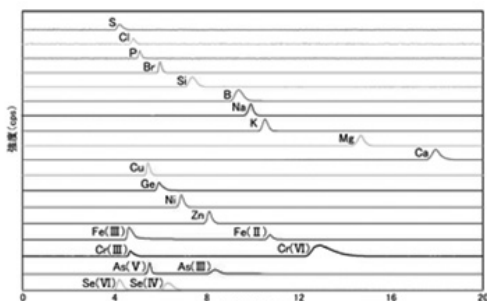
2. 材料分析における HPLC の有効活用

銅の防錆剤として使用されるベンゾトリアゾール (BTA) の定量分析において、従来法では再現性や感度に課題があったが、LC-MS/MS を活用することで感度が向上し、銅と錯体を形成する微量の BTA について定量分析が可能となることが報告された。また、樹脂・ゴム中の添加剤分析では、添加剤に含まれる特徴的な元素を定量分析した方が正確な定量値が得られることから、その手法の一つとして燃焼イオンクロマトグラフによる有機材料中のハロゲンと硫黄の定量分析事例が紹介された。

3. 今後に期待される HPLC 分析

無機陰イオンと陽イオンの一斉分析が可能な分離カラム Super IC-A/C (内径 6 mm, 長さ 150 mm; 4 μm) と、シュウ酸溶液 (3 mmol/L) を用いた LC-ICP-MS による 72 元素の一斉分析の試みが紹介された。そのうちの 10 元素については、感度や分離に課題が見られたものの、検討した 72 元素のすべてが保持・分離可能であることが示された。今回、18 元素のクロマトグラム (下図) が開示されたほか、As, Se, Cr および Fe は元素スペシエーションが可能であることも示された。従来から LC-ICP-MS はヒ素化合物やセレン化合物の一斉分析法として有用であることが知られているが、その他の活用事例は少ない。本講演の結果は、LC-ICP-MS が多元素の一斉分析に展開可能であることを示唆しており、多方面への応用が期待される。

以上、HPLC は生体試料、環境試料、食品試料などに含まれる有機化合物の定量に主に使用されてきたが、工業分野における無機分析の手段としても大いに期待されるツールであることが示された。



〔LC 研究懇談会委員長 中村 洋〕

九州分析化学若手の会 第 38 回若手研究講演会および 第 43 回夏季セミナー

第 38 回若手研究講演会および第 43 回夏季セミナーを 2025 年 7 月 25 日から 26 日の 2 日間にわたり開催した。九州支部では若手の研究者育成と交流を目的に、1983 年から夏季セミナーを継続的に実施している (2020 年からは、それまで春に実施されていた若手研究講演会を統合する形で現在の開催形式となった)。昨年まで合宿形式で開催されてきたが、今年はセミナーと宿泊を切り離して開催され、96 名 (学生 70 名, 教員・社会人 26 名) の参加者が、2 日間のさまざまな行事を通

じて活発な交流を行った。

1 日目は、開会式後、模範ポスター発表を行った。座長の進行のもと、第 62 回化学関連支部合同九州大会での九州分析化学ポスター賞受賞者 3 名が、一般ポスター発表の手本となるような発表を行った。各発表者の前には多くの学生および教員が集まり、活発な議論が行われた。続いて 44 件の一般ポスター発表を行い、教員や学生が入り交じって活発な討議が繰り広げられた。発表終了後に、参加者全員による投票を行い、7 件の九州分析化学若手賞を選定した。その後、招待講演として、1 件目に東北大病院薬剤部・東北大学大学院薬学研究科の前川正充先生に「LC-MS/MS を活用した検査診断法開発ならびに病態分子機構解析」というタイトルでご講演いただいた。2 件目として、九州大学大学院工学研究院の伊藤 茜先生に「ICP 質量分析を用いたクロムの化学種および同位体比からみる地球化学的プロセス」というタイトルでご講演いただいた。いずれの講演も、分析法の基礎的なことから実用例までを含む幅広い内容で大変興味深く、参加学生からの活発な質疑が後を絶たなかった。

2 日目は、九州分析化学奨励賞の授賞式と第 62 回化学関連支部合同九州大会における九州分析化学ポスター賞 (4 名のうち 1 名は欠席) の授賞式を執り行った。授賞式では、支部長の井倉則之先生 (九州大学) から受賞者への賞状授与、並びに受賞者への祝辞と激励のお言葉をいただいた。九州分析化学奨励賞受賞者による受賞講演はどれも完成度が高く、活発な質疑が行われた。また、セナーアンドバーンズ(株)の黒木祥文様に「超純水の最大の汚染要因は あなた」というタイトルで、分析に不可欠な超純水の汚染原因と対策について興味深い特別講演をしていただいた。講演終了後、九州分析化学若手の会の総会を開催し、若手の会に関連した各種活動報告や会計報告を行った後、夏季セミナーの授賞式 (九州分析化学若手賞 7 件, 九州分析化学活性化賞 3 件) を行った。閉会式では支部長の井倉先生から総評をいただき、次年度の実行委員長である江藤真由美先生 (大分大学) より次回夏季セミナーの案内が行われた。最後に全員で記念写真撮影を行い、本年度の夏季セミナーを終了した。

来年も、歴史ある本セミナーで再会できることを楽しみにしている。



九州分析化学若手の会第 43 回夏季セミナー参加者集合写真

〔第 38 回若手研究講演会および第 43 回夏季セミナー〕

実行委員長 石井 千晴 (九州大学大学院薬学研究院)

2025 年度啓育指導賞授賞者

本賞は、LC 研究懇談会に 2025 年度創設された褒賞であり、「LC 研究者の啓育指導と LC 研究懇談会の発展に、大きく貢献した者に授与する。」(啓育指導賞授賞規程第 2 条)と性格付けられている。啓育とは、その道の初心者のが能力が存分に発揮されるような機会を積極的に与え、後進の者の上達を願い教え導くことである。LC 研究懇談会ホームページ(6 月 28 日)および 2025 年度の「ぶんせき」誌第 9 号(M2 ページ)で公告し、10 月 15 日を推薦締切として受賞者を募集した。11 名からなる選考委員会(10 月 20 日)で応募者を慎重に選考した結果、濱崎保則氏(株)太田胃散、LC 研究懇談会個人会員番号: LC1A24007、推薦者: 筆者)を満場一致で授賞候補者に選出し、2025 年第 7 回拡大運営委員会(10 月 24 日)で承認した。以下、濱崎氏のご略歴に触れた後、授賞業績の概要を紹介する。

濱崎氏は 2009 年昭和大学大学院薬学研究科(薬学専攻)博士前期課程を修了後、(株)太田胃散筑波研究所に入社し、現在は筑波研究所研究課の課長として OTC 医薬品の分析法開発、天然物分析を専門として居られる。この間、2024 年には昭和大学大学院薬学研究科(薬学専攻)博士後期課程を修了し、社会人ドクターとして博士(薬学)の学位を取得されている。2024 年 4 月 1 日付で LC 研究懇談会の役員(運営委員心得)に就任して以来、2025 年 3 月には上席事業委員に昇進し、誰に指示されることもなく、模範的な役員としての活動を積極的に継続されている。その主なものを列挙すると、以下のとおりである。

1. 8 月を除いて毎月開催される LC 研究懇談会例会のほとんどに参加し(2024 年度は 12 回中 11 回参加)、社内の若手社員にも積極的な参加を指導。
2. その成果として、部下の古谷萌花氏が 2024 年度の優秀一般会員賞を受賞。
3. 第 29 回液体クロマトグラフィー研究懇談会 特別講演会・見学会(2024 年 7 月 4 日、(公財)東京都農林水産振興財団・東京都農林総合研究センター)に LC 研究懇談会見学会小委員として参加。
4. 2024 年度の LC 研究懇談会講習会(2024 年 7 月 24 日～26 日、神奈川県川崎市)に参加し、社員 2 名にも参加を指導。
5. 2024 年度液体クロマトグラフィー研修会(2024 年 11 月 28 日・29 日、静岡県三島市)に社内の若手 2 名を伴って参加し、基礎知識の習得を指導。
6. LC 研究懇談会創立 50 周年記念会(2024 年 12 月 3 日、北とびあ、東京都北区)に参加。
7. LC 研究懇談会第 30 回特別講演会・見学会(2024 年 12 月 16 日、島津製作所本社および島津創業記念資料館)に若手社員 1 名を伴って参加。
8. 第 30 回 LC & LC/MS テクノプラザ(2025 年 1 月 15 日・16 日、大田区産業プラザ PIO)に実行委員として参加。
9. 第 404 回例会(討論主題: 生薬・漢方における HPLC

分析～基礎から応用まで、2025 年 2 月 19 日)のオーガナイザーを務め、2024 年度のベストオーガナイザー賞受賞。

10. 2025 年度に創設された LC 研究懇談会アカデミーの第 1 号入園者(4 月)。
11. LC 研究懇談会の電子ジャーナル「LC と LC/MS の知恵」への自己紹介文(第 9 号)、解説記事(第 10 号)の執筆、分析士会・協賛団体への所属企業加入等を通じて所属企業の CSR 的評価向上にも貢献。

以上のとおり、濱崎氏は知識・情報を積極的に収集・吸収する向上心に富むばかりか、社内の若手にも同様の機会を与える寛容さを持ち合わせ、部下の成長を温かく見守る姿勢を持つ稀に見る逸材である。この世知辛いご時世、濱崎氏を上司の鏡と称するのは褒め過ぎであろうか。濱崎氏のこのような資質と心配りは、勤務先に留まらず、LC 研究懇談会にも誠に好ましい機運をもたらしており、このことは本年 8 月に創設された啓育指導小委員会の責任者(小委員長)にいち早く抜擢されたことから明らかである。さらに、同氏の活躍の場は(公社)日本分析化学会、(公社)日本薬学会、(一社)日本生薬学会、(一社)和漢医薬学会と広範に及ぶことから、創設された啓育指導賞の最初の受賞者として最適な人物と高く評価された。2025 年 10 月 24 日

(LC 研究懇談会委員長、東京理科大学名誉教授 中村 洋)



第 412 回液体クロマトグラフィー研究懇談会

2025 年 10 月 24 日(金) 13 時より「プロテオミクスを達成する選択肢」(オーガナイザー: 筆者)を主題として開催した。本懇談会では、従来、低分子化合物を対象とした LC 分析技術講習会が中心であったが、タンパク質を主題とした例会はこれまでほとんど行われてこなかった。一方、プロテオミクス分野においては LC-MS/MS が解析手法の主流を占めており、LC 技術の向上は本分野の発展において欠かすことのできない要素である。プロテオミクス研究技術の進化に伴い、極微量タンパク質の解析をより高感度かつ高精度に行うためには、実験手法や試薬選択における多様な「選択肢」を持つことが重要となる。本例会では、誰もが分析できる時代において「一流」または「独自性ある」データを生み出すための工夫に焦点をあて、現場で活用可能な最新のプロテオミクス技術・研究成果についてご講演をいただいた。

1. プロテオーム解析用サンプル調製の方法とポイント
(サーモフィッシャーサイエンティフィック(株) 牛山正人 氏
主にナノフロー液体クロマトグラフィーと質量分析計を組み合わせた nanoLC-MS が用いられているが、近年の装置進歩により一度の分析で数千種から万を超えるタンパク質が同定可能となっている。本講演では、プロテオーム解析におけるサンプル調製法を中心に、夾雑物除去・再現性向上・作業効率化の為の各ステップのポイントが紹介された。分析の成否を左右する試料調製段階の重要性を再認識する内容であった。

2. プロテオミクスにおける前処理の選択肢

(ジーエルサイエンス(株)) 太田茂徳 氏

ペプチドマッピング用試料の作製において、タンパク質可溶化・消化・精製の各工程は解析結果に大きく影響する。本講演では、膜タンパク質など溶解性の低い試料に有効な相関移動溶解剤 (Phase Transfer Surfactant, PTS) 法を中心に解説された。PTS を用いることで、可溶化効率と消化効率を両立しつつ、後処理での除去が容易となる。さらに、親水性から疎水性まで幅広いペプチドの回収が可能であり、精製工程の最適化例と操作上の注意点も紹介された。実践的かつ応用範囲の広い講演であった。

3. タンパク質消化酵素・移動相・カラムの選択肢と組み合わせ

(日本ウォーターズ(株)) 寺崎真樹 氏

ナノリットル/分レベルの低流速域での逆相クロマトグラフィーにおける技術的工夫と、ペプチドマッピング向け分析の最適化について紹介された。C18 固定相が主流ではあるが、近年はナノフロー LC 向けに多様なカラムが開発されており、目的タンパク質や試料特性に応じた選択が求められる。酵素、試薬、カラムを総合的に組み合わせた最新の LC/MS ワークフローの紹介は、実務者にとって示唆に富む内容であった。

4. 食物アレルギー分析における試薬選択と前処理・測定 of 最適化

(一財)日本食品検査) 橋田 規 氏

LC-MS/MS を用いた定量分析において標準品の品質と入手性が課題である中、主要アレルギー (卵、乳、小麦、えび、かに等) を対象としたペプチド定量条件の最適化について報告があった。抽出液組成、界面活性剤、酵素消化条件などの各条件を系統的に比較し、感度と再現性を両立するプロトコルが提示された。判定方法やバリデーションの

検討内容は今後の国際標準化を見据えておりアレルギー分析法の確立が期待される内容であった。

5. プロテオミクスによるスクレオソーム構造解析へのアプローチ

(東京大学定量生命科学研究所) 根岸瑠美 氏

クロマチン構造の基本単位であるスクレオソームと核タンパク質との相互作用を、クロスリンク質量分析法 (クロスリンク MS 法) およびクライオ電子顕微鏡を組み合わせで解析した研究が紹介された。OCT4, P300, DDM1 など複数の核タンパク質とスクレオソーム複合体構造の同定に成功し、スクレオソームと直接相互作用する核タンパク質群の構造情報取得を進めているとの報告であった。クロスリンク MS の可能性を実証する先進的な発表であった。

6. 総括「プロテオミクスを達成する選択肢」

(東京理科大学) 中村 洋 委員長

各講演内容を総括し、タンパク質をターゲットとした多様な分析技術の展開について意見交換が行われた。現代におけるプロテオミクスの多様なアプローチを整理し、研究現場における技術選択の重要性を再確認する場となった。例会は全体を通して活発な質疑が行われ、特に前処理とデータ解析の連携に関する議論が印象的であった。円滑に進行し、技術者間の交流が促進された。また、本月を持って役員退任する筆者にとっても即戦的な講義構成と「筆者らしさ」を体現することができた。講演終了後には講師を囲む情報交換会が行われ、現場の肌観や講師陣の専門分野等について意見が交わされた。最後に、本懇談会にて講演をお引き受けくださった講師の皆様、ならびに会場準備や当日の運営にご尽力いただきました(株)島津製作所寺田英敏氏をはじめ役員・参加者各位に深く感謝申し上げます。

[オーガナイザー：農研機構 高橋 亜紀子]

執筆者のプロフィール

(とびら)

四宮 一総 (SHINOMIYA Kazufusa)

(元)日本大学薬学部。千葉大学大学院薬学研究科博士後期課程修了。薬学博士。《現在の研究テーマ》向流クロマトグラフィーに関する研究。《主な著書》“Encyclopedia of Chromatography”。(共著)。(Marcel Dekker, Inc.)。《趣味》史跡めぐり。

E-mail : shinomiya.kazufusa@outlook.jp

(ミニファイル)

橋本 剛 (HASHIMOTO Takeshi)

上智大学理工学部 (〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1)。上智大学大学院理工学研究科化学専攻。博士 (理学)。《現在の研究テーマ》超分子化学・金属錯体・電気化学を用いた分子認識方法の開発。《趣味》オーケ

ストラでのクラシック演奏 (チェロ)。
(トビックス)

近藤 直哉 (KONDO Naoya)

関西医科大学附属光免疫医学研究所 (〒573-1010 大阪府枚方市新町 2 丁目 5 番 1 号)。京都大学大学院薬学研究科。博士 (薬科学)。《現在の研究テーマ》核医学診断/治療および光免疫療法に関する新規薬剤開発。《趣味》食べること。

E-mail : kondo.ny@kmu.ac.jp

鈴木 陽太 (SUZUKI Yota)

埼玉大学理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)。早稲田大学大学院先進理工学研究科博士後期課程修了。博士 (理学)。《現在の研究テーマ》超分子錯体や金属錯体を基盤とする分析試薬の開発。

E-mail : yo-suzuki@apc.saitama-u.ac.jp

(リレーエッセイ)

飯盛 啓生 (ISAGAI Hiroo)

西九州大学子ども学部子ども学科 (〒840-0806 佐賀県佐賀市神園 3-18-15)。鹿児島大学大学院理工学研究科。博士 (理学)。《現在の研究テーマ》小学校における環境教育。《趣味》読書。

(ロータリー・談話室)

米沢 伸四郎 (YONEZAWA Chushiro)

日本国際問題研究所 (〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関 3-8-1 虎ノ門ダイエーストビル)。茨城大学工業短期大学部。理学博士。第 1 種放射線取扱主任者。《現在の研究テーマ》放射性核種による核爆発の検証。《主な著書》米沢伸四郎訳、日本分析化学会監訳：“分析値の不確かさ 求め方と評価”，(丸善出版)，(2013)。《趣味》テニス。

分析化学

第74巻第12号
2025年12月

特集：多種多様な分析対象に適応する分析化学技術の新潮流

目 次

「第85回討論会特集論文」特集号の刊行にあたって	島崎洋次	715
分析化学総説		
動的な生命機能を計測する分析化学の新潮流	田井中一貴	717
ヒトプロテインアレイとハイスループット近接アッセイを用いる 網羅的相互作用探索技術	竹田浩之	729
清酒成分の網羅的分析方法	小林拓嗣	739
総合論文		
マイクロ分画分析による毛髪及び爪内の薬物分布測定	桑山健次	747
次世代治療・診断に資するMRIプローブの開発	岡田 智・中村浩之	757
報 文		
災害・解体現場での廃棄建材の色素染色によるアスベスト及び 繊維状物質の検出・識別分析法	田端正明・原口椋多・矢田光徳・西口瑞稀・末廣結衣・梅原智也	763
気泡流による自励スロッシングの流動解析と物質移動への影響	藤岡沙都子・落合佑亮・藤田えりか・寺坂宏一	771
ノ ー ト		
ラマン分光法を用いる硫黄化合物の検出と解析	鈴木絢子・高成広樹・江藤真由美・異島 優・井上高教	777
「分析化学」特集“未来を拓く熱分析”の論文募集		783
「分析化学」年間特集“波”論文募集		784
“第25回初執筆論文特集”募集のお知らせ		786
テンプレートによる投稿要領		787
「分析化学」に投稿される皆様へ		788

「分析化学」誌ホームページ URL=<https://www.jsac.jp/~wabnsk/index.html>

Ⓜ 〈学術著作権協会委託〉 本誌からの複写許諾は、(公社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、一般社団法人学術著作権協会(〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階, FAX: 03-3475-5619, E-mail: info@jaacc.jp)から受けてください。