

沈降粒子

本 多 牧 生

ここでは筆者が行ってきた海の沈降粒子の分析方法（主に分析用試料作成方法）、および主要成分の計算方法について解説する。

1 沈降粒子と測定目的

海中にはバクテリア・ウイルスからクジラまでを含む生物系、一方ではそれらの排泄物や死骸および大陸および海底から供給される土砂などの非生物系の、様々な大きさ、挙動を示す粒子が存在している。ここでは非生物系で、受動的に、重力沈降する粒子を沈降粒子と呼ぶ。沈降粒子は英語で“マリンスノー”（海に降る雪）と呼ばれるが、誇らしいことにこの英語名は日本人研究者が命名した¹⁾。海の沈降粒子は二つの重要な役割を持つ。一つは海中・海底に生息する生物の餌になることである。海洋表層で成長した生物の死骸もしくは排泄した糞粒には栄養分が多く含まれている。それらが単体で、あるいは凝集態となり海洋内部へ重力沈降していき海中・海底生物の栄養分となる。もう一つは、地球温暖化を招いている大気中で増加する二酸化炭素の一部を海洋内部に輸送し、増加速度を緩和する役割である²⁾。「気候変動に関する政府間パネル」IPCCの第四次報告書³⁾によると1990年代における人類活動による二酸化炭素年間排出量は炭素換算で約6.4ギガトン(10¹⁵グラム)であった。このうち約50%に相当する3.2ギガトンが大気に蓄積し、約35%に相当する2.2ギガトンが海に吸収されていた。そして海の中では約11ギガトンの二酸化炭素が沈降粒子によって海洋内部に輸送されていると試算されていた。現在、大気中の二酸化炭素濃度は400ppm(体積にして0.04%)を超えているが、産業革命前の大気中二酸化炭素濃度は約280ppmであった。あるモデル計算では、もしも沈降粒子による二酸化炭素輸送がなければ当時の二酸化炭素濃度は450ppm程度であったとも試算されている⁴⁾。現在、地球環境変化がもたらす海洋の温暖化、低酸素化、および酸性化により、沈降粒子の質(化学組成)、量、そして形成・分解速度が変化しつつある。したがって沈降粒子の二酸化炭素輸

送メカニズムを正確に定量化し、将来その能力がどのように変化するのか、そして地球環境へどのようにフィードバックするのかを予測することが喫緊の課題となっている。

2 沈降粒子の測定方法

2・1 セジメントトラップによる沈降粒子捕集

沈降粒子は海中に沈降粒子捕集装置“セジメントトラップ”を設置して捕集する。この装置は海洋上部から降ってくる沈降粒子を集めるバケツのようなものである。筒形、壺型など様々な形状のセジメントトラップが考案され使用されてきたが、海中で長期間、より多くの沈降粒子を集めるため、円錐型のバケツの下に沈降粒子を捕集するカップを取り付けた型式が主流となってきた。沈降粒子の化学組成や量は時間的に(季節的に、経年的に)変化する。そのため複数の捕集カップがあらかじめ設定された時間毎に交換される時系列式セジメントトラップが1980年代後半に開発された(写真1)。この時系列式セジメントトラップを1年間にわたって浮力材、ワイヤーロープ、切離装置およびシンカーを使って係留することで(係留例に関しては⁵⁾を参照されたい)、例えば2週間ごとの沈降粒子を1年にわたって時系列的に捕集することが可能となってきた。さらに複数

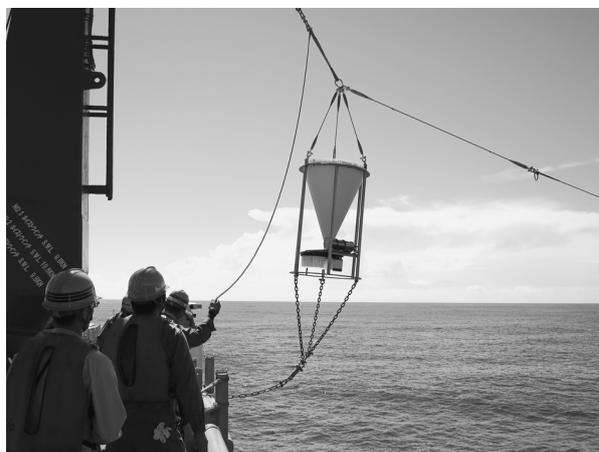


写真1 時系列式セジメントトラップ。高さ：約160cm，開口面積：約0.5m²，捕集カップ数：21本。

Settling Particle.

年、セジメントトラップ観測を実施することで沈降粒子量の質・量の経年変化を観測することが可能となってきた(図1a)。また沈降粒子は空間的に(場所によって、深さによって)も大きく変化する。そのため時系列式セジメントトラップを様々な場所に、さらに複数水深に設置することで、沈降粒子の4次元の時空間変動を観測することが可能となる。なお上記捕集カップには捕集された沈降粒子の流出や変質(他の生物による捕食・分解、化学的変質)を防止するためにあらかじめ防腐剤が充填されている。防腐剤の種類は沈降粒子の分析対象元素によって異なるが、筆者の場合は5~10%程度の中性ホルマリン海水(粒子の少ない水深2000m以深より採取した9.5~9.0L海水に対して、0.5~1.0Lのホルマリン、中性化のため10~20gの四ホウ酸ナトリウム、さらに周囲海水との置換防止のため密度増加用に50gの塩化ナトリウムを加えたもの)を使用してきた。この防腐剤のpHは約8.3となり海洋表層水のpHに近いものとなる。

2.2 前処理

2.2.1 冷蔵保存・pH調整

1年後、時系列式セジメントトラップを船上に回収した後、陸上施設で化学分析が行われるまで、沈降粒子の

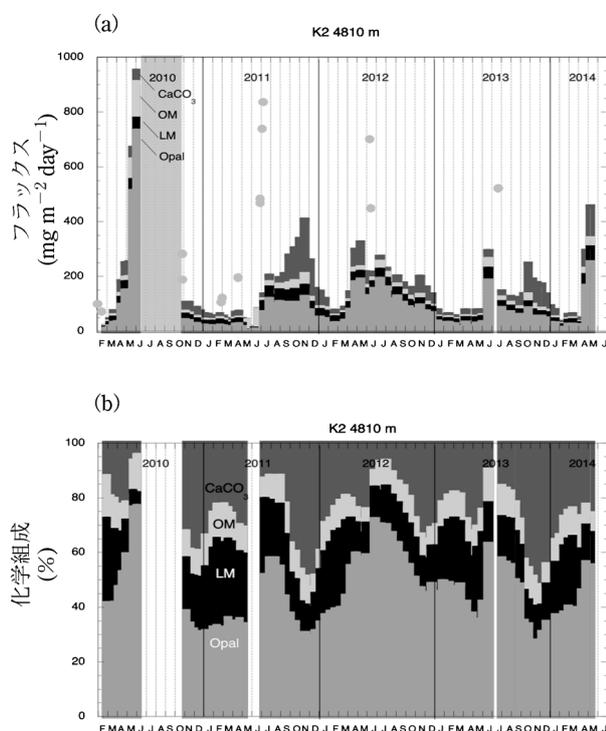


図1 沈降粒子の(a)全粒子フラックスと(b)化学組成の季節変動

図中CaCO₃, OM, LM, Opalは、それぞれ炭酸カルシウム、有機物、陸起源物質および生物起源オパール。2010~2014年の北部北太平洋観測地点K2の水深4810mにおいて、6~18日間隔で捕集された沈降粒子の化学分析結果。

入った捕集カップは4℃程度で冷蔵保存する。冷蔵保存前、捕集カップ内上澄み液のpHを測定し、防腐剤の流出に伴う沈降粒子の分解などによりpHが低下している場合があるので、その場合はセジメントトラップ投入時に捕集カップに充填した10%中性ホルマリン海水で上澄み液を置換するのが望ましい。

2.2.2 ふるい分け

捕集カップには生きたまま捕集カップに“能動的に”侵入した動物プランクトンや小魚、エビなど沈降粒子として扱えないものが混在する場合が多い。これらは“スイマー”と称され沈降粒子の分析にとっては汚染物質(コンタミネーション)となるので、分析前には、目視下または実体顕微鏡下、プラスチック製もしくはステンレス製ピンセットを用いてできるだけ除去する。それでも完全な除去は困難である。生きたまま捕集カップに飛び込んだスイマーなのか、死んでマリンスノーとして捕集されたのか判別困難な場合も多い。そこで、1mm目合いのナイロン製網のふるいで捕集粒子をふるい分けし、1mm以下のものを沈降粒子として化学分析する方法が慣例的に行われてきた。

2.2.3 分割

上記1mm以下の沈降粒子は様々な研究者により化学的に、生物学的に、または地質学的に分析・解析されるが、各目的における試料の処理方法は異なるために、あらかじめ沈降粒子を量的に、質的に均等に分割する必要がある。そのための装置が写真2の試料10分割器である。ターンテーブルに50mL遠沈管10本をセットする。一方、“滑り台”状透明プラスチックケースに沈降粒子を入れる。スイッチを入れるとターンテーブルが回転する一方、“滑り台”状ケースが次第に傾くので10%中性ホルマリン海水を使いながら沈降粒子を遠沈



写真2 分割器

ターンテーブルに50mL遠沈管10本を設置した後、透明プラスチック容器に沈降粒子試料を入れる。電源を入れるとターンテーブルが回転する一方、プラスチック容器の後部(写真右側)が上昇するので、沈降粒子試料が遠沈管にほぼ均等に滑り落ちていく。

管に滑り落としていく。この分割器を用いると、沈降粒子の量にもよるが、質的に量的に5%以下のバラツキで均等に分割することが可能である。

2.2.4 ろ過、乾燥

筆者が担当してきた沈降粒子の主要分析のためには、上記試料を乾燥粉末状にする必要がある。そのため分割され遠沈管に入った10%中性フォルマリン海水漬けの沈降粒子をろ過する。ろ紙としては、あらかじめ電子天秤で重量測定した直径47mm(ろ過する沈降粒子量が少ない場合は21mm)のヌクレポアフィルター(孔径0.4~0.45 μm)を使用する。脱フォルマリン、脱海水のため、(できるだけ少量の)純水もしくは炭酸アンモニウム(生物観測のため細胞膜の破壊を軽減させる必要がある場合)で洗いながらろ過を行う。ろ紙上の沈降粒子は45~60 $^{\circ}\text{C}$ で24時間乾燥する。

2.2.5 重量測定(全粒子フラックス測定)、粉砕

乾燥後、デシケーター内で放冷し室温に戻した後に、電子天秤で重量測定する。この結果、沈降粒子の単位時間あたり単位面積あたりの全粒子フラックス(Total Mass Flux: TMF)が以下の式で算出可能となる。

$$\text{TMF}(\text{mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}) = w(s) \times (10/n)/s/p$$

ここで $w(s)$ は測定された沈降粒子の乾燥重量(mg)、 n はろ過した遠沈管数、 s はセジメントトラップの開口面積(m^2)、 p は各捕集カップの沈降粒子捕集期間(day)である。

乾燥重量測定後、炉紙上の乾燥沈降粒子試料を、ステンレス製もしくはプラスチック製の葉さじで剥ぎ取る。この際、破砕したフクレポアフィルターが混入しないように注意する。そしてこのサンプルを瑪瑙(めのう)の乳鉢、乳棒を用いて粉末状に粉砕する。これを主要成分分析用の試料とする。

2.3 化学分析

沈降粒子は(1)有機物、(2)生物起源オパール、(3)炭酸カルシウム、(4)陸起源物質(土砂成分)で構成されている(図1b)。以下はこれらの主要成分の分析方法、算出方法について解説する。

2.3.1 元素分析による有機物測定

(1) 試料準備

有機物量を推定するために、沈降粒子中の有機炭素を測定する。粉末乾燥した試料約2mgを電子天秤で秤量して、耐酸性銀製コンテナ(直径5mm、高さ9mm)に入れる。これを塩酸噴霧された密閉容器(デシケーター)内で48時間放置し、試料中炭酸カルシウム(CaCO_3)を溶解する。続いてこれを中和化するために水酸化ナトリウム溶液噴霧された密閉容器内で48時間、さらに乾燥させるため五酸化二リン(P_2O_5)の入った容器内で24時間放置する。その後、試料の入った銀

カプセルを今度は錫製固体コンテナ(直径5mm、高さ9mm)に入れて、中の試料がこぼれないようにステンレス製ピンセットを用いて折り畳み、ペレット状にする。これを元素分析に導入して有機炭素濃度(OC%:%)を測定する。元素分析時には標準試料としてアセトアニリド($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$)を使用し、試料測定前後にこの炭素濃度を測定し分析誤差を補正する。

(2) 元素分析

試料に含まれる有機物成分のC, H, Nを測定ライン中燃焼管内で950 $^{\circ}\text{C}$ で完全燃焼させて CO_2 , H_2O , NO_x とした後、クロマトグラフィー手法で各ガスを分離し定量する。キャリアガスとして純ヘリウムガス、燃焼ガスとして純酸素ガスを使用する。また安定した測定結果を得るためには測定ラインのリークチェックは頻繁に行い、また測定ライン内は過塩素酸マグネシウム($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$)を使用して常に除湿に努めることが重要である。試料中濃度を決定する検量線は上記のアセトアニリド($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$)を使用して作成する。

(3) 有機物量算出

上記方法で得られた炭素濃度とTMFから有機炭素フラックス(Organic Carbon Flux: OCF)を以下の式で算出する。

$$\text{OCF}(\text{mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}) = \text{OC} \% / 100 \times \text{TMF}$$

有機炭素フラックスから有機物フラックス(OMF)の算出法はいくつかの経験式が提案されているが、筆者はOMFを海の平均的生物体の化学組成比($(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$: 通称レッドフィールド比⁶⁾)を用いて以下のように計算してきた。

$$\text{OMF} = \text{OCF} / 0.27$$

ここで0.27は $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$ におけるCの割合である(12/4781)。

2.3.2 生物起源オパール、炭酸カルシウム、陸起源物質の測定

ここでは誘導結合プラズマ発光分析(Inductivity Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, 以下ICP-AES)による生物起源オパール、炭酸カルシウム、陸起源物質濃度の算出方法について紹介する。

(1) 試料準備

生物起源オパールは植物プランクトンの珪藻(diatom)、動物プランクトンの放射虫(radiolarian)などが形成する殻で、分子式は $\text{SiO}_2 \cdot 0.4\text{H}_2\text{O}$ である。炭酸カルシウム(CaCO_3)は植物プランクトンの円石藻(coccolithophorids)、動物プランクトンの有孔虫(foraminifera)や翼足類(pteropods)などが形成する殻である。一方、陸起源物質は大陸表層地殻のアルミノケイ酸塩で、平均地殻組成⁷⁾でアルミニウム(Al)濃度が約8%のものである。これらを、それぞれに含まれ

る Si, Ca および Al を ICP-AES により測定することで算出する。筆者らは沈降粒子試料を以下の方法で溶解し硝酸 (HNO₃) 溶液したものを ICP-AES 試料としている。粉末の沈降粒子試料を約 20 mg 秤量し、黒鉛のつぼに入れる。これに約 7 倍量のメタホウ酸リチウム (BLiO₂) を秤量、添加し、両者をよく混合する。これを 950 °C の高温炉に入れ約 15 分放置する。この際、火傷防止のため耐熱フェースカバー、耐熱 (防火) 手袋を着用し、長めの Tongue (るつぼ挟み) を使用する。一方、テフロンビーカーに 6 % HNO₃ 溶液 20 ml を準備しておく。15 分後、高温炉から黒鉛のつぼをとりだし、溶岩状 (鉛玉様) になった試料—メタホウ酸リチウム混合物をすばやく 6 % HNO₃ 溶液に添加する。そして混合物が完全に溶解するまでスターラー、攪拌子を使って攪拌する。高温の黒鉛のつぼは耐熱板の上で放冷させる。約 30 分後、黒鉛のつぼに残っている (こびりついている) かもしれない試料—メタホウ酸リチウム混合物を掻き落として HNO₃ 溶液に追加する。さらに 30 分攪拌後、この HNO₃ 溶液を、黒鉛を除去するためにろ過 (ガラス繊維製フィルター GF/F (孔径 0.7 μm) などを使用) しながら、50 mL 遠沈管に入れ替える。そして約 50 mL まで 6 % HNO₃ 溶液を添加し、全溶液重量を秤量する。これを ICP-AES 用の試料とする。なお筆者は標準試料として産業技術総合研究所 地質調査総合センター (旧工業技術院 地質調査所) 提供の地球化学標準物質⁸⁾ の火成岩 JB-3 を用いている。この標準試料を約 20 mg、黒鉛のつぼに秤量し沈降粒子試料と同様の方法で HNO₃ 溶液にして、試料分析の前後に分析することで、ICP-AES 分析時の分析誤差を補正する。

(2) ICP-AES

ICP-AES は、溶液試料中の多元素を誘導結合プラズマによって同時に励起・イオン化させ、基底状態に遷移する際に発する各元素特有波長光を同時検出する方法である。プラズマガスとして高純度アルゴンガスを使用する。またキャリアガスとして高純度窒素ガスを使用する。本研究では複数の Si, Ca, Al 特有波長 (例えば Si: 251.611, 212.412, 288.158 nm, Ca: 317.933, 393.366 nm, Al: 308.215, 396.153, 237.313 nm) を測定し、その平均値を計算に用いている。また筆者らは海の物質循環研究に必要な鉄 (Fe), チタン (Ti), マグネシウム (Mg), カリウム (K), バリウム (Ba) も同時定量している。試料中濃度を決定する検量線は、ICP-AES 試料と同じ HNO₃ 溶液ベースの多元素標準試料もしくは各元素標準試料を一定の割合で正確に混合したものを使用して作成する。

(3) 生物起源オパール、炭酸カルシウム、陸起源物質の濃度の算出

測定された Si 濃度 (Si %), Ca 濃度 (Ca %), Al 濃度 (Al %) から生物起源オパール濃度 (OP %), 炭酸

カルシウム濃度 (CC %), 陸起源物質濃度 (LM %) を以下の式で求めている。

$$OP \% = (Si \% - 3.42 Al \%) \times 67.2/32$$

ここで 3.42 は平均地殻組成における Si/Al 濃度比であり、分析された Si % から陸起源物質由来の Si % を差し引いている。67.2/32 は SiO₂ · 0.4H₂O/Si 分子量比である。

$$CC \% = (Ca \% - 0.5 Al \%) \times 100/40$$

ここで 0.5 は平均地殻組成における Ca/Al 濃度比であり、分析された Ca % から陸起源物質由来の Ca % を差し引いている。100/40 は CaCO₃/Ca 分子量比である。

$$LM \% = Al \% / 0.08$$

ここで 0.08 は平均地殻組成における Al 濃度 (8 %) である。

以上の方法で測定した OP %, CC %, LM % および有機物濃度 (OM % = OC % / 0.27) の総和は、概して、100 ± 10 % となる。ただし、生物起源オパールの測定は、アルミノケイ酸塩中のケイ酸塩 (SiO₂) に対して生物起源オパールがアルカリ性溶液に溶けやすい特性をいかして、試料を高温のアルカリ溶液 (85 °C の炭酸ナトリウム溶液) に溶かし、溶出する Si を吸光度計で比色定量する “アルカリ溶融法”⁹⁾、炭酸カルシウムの場合は、元素分析で沈降粒子試料を塩酸処理せずに全炭素濃度 (Total Carbon % : TC %) を測定し、前述の OC % を差し引いて無機炭素濃度 (Inorganic Carbon % : IC %, CaCO₃ の C 濃度) から算出したり、真空ガラスライン中で試料に塩酸を添加し、CaCO₃ から発生する二酸化炭素 (CO₂) をクーロメーターで比色定量して算出する方法もある。これらの手法は、Si % や Ca % が低い、もしくは Al % が高い試料には有効である。

文 献

- 1) S. Suzuki, K. Kato : *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **4**, 131 (1953).
- 2) 吉崎正憲, 野田 彰 他編 : “図説 地球環境の辞典”, (2013), (朝倉書店).
- 3) IPCC : *Climate Change 2007 : “The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”*, (2007) (Cambridge University Press).
- 4) T. Volk, M. K. Hoffert : “The carbon cycle and atmospheric CO₂ : natural variations archean to present (32. Geophysical Monograph)”, Edited by E. T. Sundquist, W. S. Broecker, p. 99 (1985), (American Geophysical Union).
- 5) 日本化学会編 : “第 5 版 実験化学講座 20-2 環境化学”, (2007), (丸善).
- 6) A. C. Redfield, B. H. Ketchum : “The sea, vol. 2”, Edited by M. N. Hill, pp. 26-77 (1963), (Interscience).
- 7) S. R. Taylor : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**, 1273 (1964).

- 8) 地球化学標準物質, 産業技術総合研究所, <https://gbank.gsj.jp/geostandards/> (2020年12月28日最終確認).
- 9) R. A. Mortlock, P. N. Froelich: *Deep-Sea Res.*, **39**, 1415 (1989).



本多牧生 (Makio HONDA)

国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門地球表層システム研究センター (〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15) 北海道大学大学院水産科学科修士課程修了, 博士 (地球環境科学)。<現在の研究テーマ>海洋沈降粒子による大気中二酸化炭素の海洋内輸送・循環の観測研究。<趣味>サッカー, スキー。

E-mail: hondam@jamstec.go.jp

日本分析化学会研究懇談会の御案内

日本分析化学会の研究懇談会に入会御希望の方は下記に照会ください。

- | | |
|--|--|
| <p>① ガスクロマトグラフィー研究懇談会
② 高分子分析研究懇談会
③ X線分析研究懇談会
④ 液体クロマトグラフィー研究懇談会
⑤ 分析試薬研究懇談会
⑥ 有機微量分析研究懇談会
⑦ 溶液界面研究懇談会
⑧ 化学センサー研究懇談会
⑨ 電気泳動分析研究懇談会
⑩ イオンクロマトグラフィー研究懇談会
⑪ フローインジェクション分析研究懇談会
⑫ 環境分析研究懇談会
⑬ 表示・起源分析技術研究懇談会
⑭ 熱分析研究懇談会
⑮ レアメタル分析研究懇談会
⑯ 溶液反応化学研究懇談会
⑰ 受託分析研究懇談会
⑱ 電気分析化学研究懇談会
⑲ ナノ・マイクロ化学分析研究懇談会
⑳ バイオ分析研究懇談会
㉑ スクリーニング分析研究懇談会</p> | <p>⑨: 〒501-1196 岐阜市大学西1-25-4 岐阜薬科大学機能分子学大講座薬品分析化学研究室 江坂幸宏 [TEL: 058-230-8100 (内線3640), E-mail: esaka@gifu-pu.ac.jp]</p> <p>⑩: 〒780-8520 高知市曙町2-5-1 高知大学教育研究部総合科学系複合領域科学部門 [TEL: 088-844-8306, E-mail: IC@jsac.jp]</p> <p>⑪: 〒470-0392 豊田市八草町八千草1247 愛知工業大学工学部応用化学科 村上博哉 [TEL: 0565-48-8121, E-mail: jafia@aitech.ac.jp]</p> <p>⑫: 〒192-0392 八王子市堀之内1432-1 東京薬科大学生命科学部 熊田英峰 [E-mail: kumata@ls.toyaku.ac.jp]</p> <p>⑬: 〒120-8551 東京都足立区千住旭町5 東京電機大学工学部環境化学科内 保倉明子 [TEL: 03-5284-5445, E-mail: kigen@jsac.jp]</p> <p>⑭: 〒259-1293 平塚市土屋2946 神奈川大学理学部 西本研究室 [TEL: 0463-59-4111, E-mail: y24moto@kanagawa-u.ac.jp]</p> <p>⑮: 〒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)日本分析化学会事務局 [TEL: 03-3490-3351, E-mail: rare_metals@jsac.or.jp]</p> <p>⑯: 〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050 新潟大学教育研究院自然科学系 梅林泰宏 [TEL: 025-262-6265, E-mail: yumescc@chem.sc.niigata-u.ac.jp]</p> <p>⑰: 〒590-0984 大阪府堺市堺区神南辺町1-4-6 (株)総合水研究所 中田邦彦 [TEL: 072-224-3532, E-mail: k_nakata@mizuken.com]</p> <p>⑱: 〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町1 京都工芸繊維大学大学院 前田耕治 [TEL: 075-724-7523, E-mail: maedak@kit.ac.jp]</p> <p>⑲: 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究院 渡慶次 学 [TEL: 011-706-6744, E-mail: tokeshi@eng.hokudai.ac.jp]</p> <p>⑳: 〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1 東京大学大学院総合文化研究科 吉本敬太郎 [TEL: 03-5454-6591, E-mail: keitaro@yoshimotolab.c.u-tokyo.ac.jp]</p> <p>㉑: 〒110-0015 台東区東上野4-10-3 ASANOビル1階101号室 (株)神戸工業試験場生産本部技術開発部 三島有二 [TEL: 03-3843-5691, E-mail: scr-info@jsac.jp]</p> |
|--|--|
- ◇照会先
- ①: 〒859-3298 佐世保市ハウステンボス町2825-7 長崎国際大学薬学部薬学科 佐藤 博 [TEL・FAX: 0956-20-5668, E-mail: satoh@niu.ac.jp]
- ②: [E-mail: infopacd.jp]
- ③: 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 辻 幸一 [TEL・FAX: 06-6605-3080, E-mail: tsuji@a-chem.eng.osaka-cu.ac.jp]
- ④: 中村 洋 [TEL: 03-3490-3351, E-mail: nakamura@jsac.or.jp]
- ⑤: 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町7-1 上智大学理工学部物質生命理工学科分析化学研究室内 [TEL: 03-3238-3370, FAX: 03-3238-3361, E-mail: ta-hayas@sophia.ac.jp]
- ⑥: 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学共用機器センター 榎 飛雄真 [TEL: 043-290-3810, E-mail: masu@faculty.chiba-u.jp]
- ⑦: 〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1-1 大阪大学大学院理学研究科化学専攻分析化学研究室 塚原 聡 [TEL: 06-6850-5411, E-mail: sxt@chem.sci.osaka-u.ac.jp]
- ⑧: 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1 大阪府立大学大学院工学研究科 久本秀明 [TEL: 072-254-9285, E-mail: hisamoto@chem.osakafu-u.ac.jp]