

ぶんせき ⑨

Bunseki 2025

The Japan Society for Analytical Chemistry



BAS

光学式酸素モニター



FireSting O2-C 酸素モニター(4ch)

接続するセンサータイプを入れ替えることで、基本機能の光学式酸素モニタリング測定の他に光学式温度測定、および（一部機種のみ）pH測定が可能な測定装置です。

- 一台で最大4チャンネル対応。項目の組合せは自由
- 気相および液相での測定に利用できます
- 酸素濃度測定用のセンサーには通常用と低濃度用があります
- 非接触型など様々なタイプのセンサーをラインナップ

ミニプローブを
溶液に挿して...



密閉容器内の酸素濃度や
温度の測定に...



フローセルタイプで
流体の測定に...



BAS

分光電気化学システム



モデル3325
バイポテンショスタット



SEC2020
スペクトロメーターシステム

電気化学的な挙動と
分光スペクトル変化を
同時に測定できる
システムです。

SEC-CT
石英ガラス製光電気化学
セルキット+参照電極

● 製品の外観、仕様は改良のため予告なく変更される場合があります。

BAS ビー・イー・エス株式会社

光学式センサーをはじめ各種のアクセサリーについては
弊社ホームページでご確認下さい!!

本社 〒131-0033 東京都墨田区向島 1-28-12
東京営業所 TEL: 03-3624-0331 FAX: 03-3624-3387
大阪営業所 TEL: 06-6308-1867 FAX: 06-6308-6890

セミナー講演内容などビー・イー・エス株式会社の最新情報はメールニュースで随時配信しております。配信ご希望の方はお気軽にお問合せ下さい ⇒ E-mail: sp2@bas.co.jp

紫外可視分光光度計
UV-VIS Spectrophotometer

UV-i Selection

UV-i Selectionが実現する
3つの価値

● *intelligence*

繰り返し作業から解放し
品質管理を効率化

● *informatics*

解析作業の省力化と
データ管理の強化

● *innovation*

ハイスループット測定で
業務効率を改善



 UV-1900i Plus



 UV-2600i/2700i Plus



UV-3600i Plus



SolidSpec-3700i

A Reliable Partner

分光光度計の測定でお客様の働き方改革はできないだろうか。そんな想いから、UV-i SelectionとLabSolutions UV-Visが生まれました。



各種標準物質 (RM, CRM)

PFAS関連 (EPA 1633対応など)、RoHS (MCCPs、TBBPA)、REACH規則 (PAHs) など取り扱っております。
核燃料関連 (ウラン、トリウム、プルトニウム)、環境中放射能標準物質などもございます。

ICP-OES/ICP-MS AAS/IC	固体発光分光分析 蛍光X線/ガス分析	物理特性/熱特性	有機標準物質
<ul style="list-style-type: none"> 無機標準液/オイル標準液 鉄・非鉄各種金属 工業製品 (石炭、セメント、セラミックス等) 環境物質 (土壌、水、堆積物、岩石等) 乳製品、魚肉、穀物等 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄・非鉄各種金属 工業製品 (石炭、セメント、セラミックス等) 環境物質 (土壌、水、堆積物、岩石等) (乳製品、魚肉、穀物等) 	<ul style="list-style-type: none"> X線回折装置用 Si powder, Si nitride, 等 粒度分布計用 熱分析用 DSC (In, Pb, 等) 粘度測定用 膜厚分析用 	<ul style="list-style-type: none"> 製薬標準物質 SPEX, LGC, EP, USP, TRC, MOLCAN 認証有機標準液 ダイオキシン類/PCB 有機元素計用標準物質 Cayman Chemical

Cole-Parmer 社 (旧 SPEX 社) 前処理機 (フリーザーミル・ボールミル)

凍結粉碎機 (Freezer/Mill)

粉碎容器にインパクトター (粉碎棒) とサンプルを一緒に入れ、液体窒素にてサンプルを常時凍結させて運転を開始します。インパクトターを磁化させ、往復運動させる事による衝撃でサンプルを粉碎します。やわらかいサンプルや熱に弱い生体サンプルに最適です。

〈サンプル例〉プラスチック、ゴム、生体サンプルなど、
〈使用例〉ICP, XRF, GC, LCの前処理 DNA/RNAの抽出の前処理

ボールミル (Mixer/Mill)

SPEX独自の8の字運動により、効率的な粉碎、混合が可能。サンプルに合った粉碎容器、ボールを選択可能。

〈サンプル例〉岩石、植物、錠剤、合金など
〈使用例〉ICP, XRFの前処理 メカニカルアロイニング



Environmental Express社 不純物証明&目盛つき容器 50mL



Environmental Express社製ポリプロピレンチューブの特長

CertiTube

- 不純物濃度証明書と公差証明書が付属
⇒メスアップや保存容器として使用でき容器の移し替えをする作業(手間、時間)を削減できます。
- ガラス器具由来の金属コンタミリスクも軽減できます!
110℃の耐熱性があり分解容器としても使用できます。
※130℃以上の温度では使用できません。
- 容器本体とキャップの材質が同じ商品です。
- Certi Tubeはディスポーザブルで使用可能な価格設定です。

UltiTube

- 超高純度UltiTubeは、68元素ppbおよびpptの低濃度が保証され、より低ブランクの測定を実現します。

項目	規格	公差	不純物
容量	50mL	±0.5%	
材質	ポリプロピレン		
耐熱性	110℃		
公差	±0.5%		
不純物	68元素 ppb		

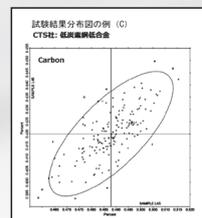
海外技能試験輸入代行サービス

技能試験 (外部精度管理) とは・・・

技能試験提供機関が提供する未知サンプルを分析することによって、分析者の分析技能を測るテストです。分析能力に関して中立的な評価が得られ、国内外の参加試験所と分析能力の比較が出来ます。

〈メーカー/サンプル例〉

- LGC (ドイツ) : 環境・食品・飲料・アルコール・微生物・化粧品・製薬・オイル・飼料
- CTS (アメリカ) : 鉄鋼・非鉄・樹脂
- NIL (中国) : ポリマー (化学試験・物性試験) 鉄鋼原料
- PTP (フランス) : 非鉄関連・航空宇宙関連試験
- iis (オランダ) : ポリマー (化学試験)・繊維・化粧品
- NSI (アメリカ) : 飲料水・環境・食品・微生物・製薬
- TESTVERITAS (フランス) : 食品・食肉・野菜



YouTubeチャンネル [西進商事公式]

弊社取り扱い製品の情報を公開中です。(順次アップロード予定)



標準物質専門商社

西進商事株式会社

https://www.seishin-syoji.co.jp/

本社 〒650-0047 神戸市中央区港島南町1丁目4番地4号
TEL.(078)303-3810 FAX.(078)303-3822
東京支店 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目12番地7号 (RBM芝パークビル)
TEL.(03)3459-7491 FAX.(03)3459-7499
名古屋営業所 〒450-0002 名古屋市中村区名駅4丁目2番25号 (名古屋ビルディング桜館4階)
TEL.(052)586-4741 FAX.(052)586-4796
北海道営業所 〒060-0002 札幌市中央区北二条西1丁目10番地 (ピア2・1ビル)
TEL.(011)221-2171 FAX.(011)221-2010

MassWorks™ Version 7.0

質量分析計の性能を限界まで引き出します

これまでのバージョンで築き上げられた実績をさらに進化させ、MassWorks™ 7.0 は、取得後のデータ処理に特化した使いやすいソフトウェアパッケージとして登場しました。本製品は、Cerno社が特許を取得している TrueCal™ 技術を採用し、ユニット質量分解能の一般的な質量分析計においても、高い質量精度とスペクトル精度を実現し、CLIPSTM フォーミュラサーチ機能により元素組成の同定を可能にします。さらに、MassWorks の sCLIPSTM および BestScan™ sCLIPS 機能は、標準物質を使用することなく正確なピーク形状補正を行うことで、高いスペクトル精度を提供します。

CLIPS検索により、ユニット分解能のGC及びLC/MS機器で正確な質量式検索が可能になります。

CLIPS (Calibrated Line-shape Isotope Profile Search) は、比類のない質量精度と最高のスペクトル精度を組み合わせ、四重極 MS を最大限に活用します。

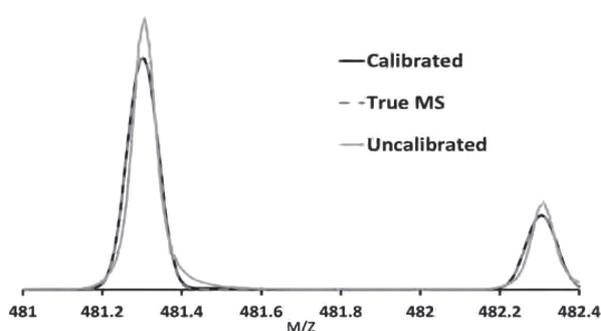
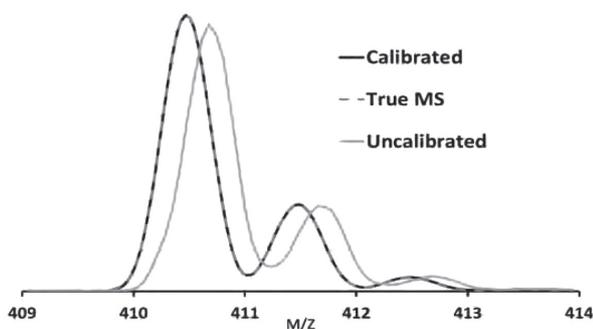
- 質量精度が 0.x Da から 0.00x Da まで 100 倍向上
- クロマトグラフィー時間スケールで 99% を超えるスペクトル精度を実現
- 低分解能の装置でも正確な 化学式ID が可能
- 未分離 MS 信号の強力な混合分析

MassWorks は、強力な TrueCal キャリブレーション技術を搭載しており、ユニット分解能システムにおいて質量精度を最大100倍向上させることができます。さらに、高分解能およびユニット分解能の両方のシステムで、最大99.9%のスペクトル精度 (Spectral Accuracy) を実現します。この高速かつ柔軟なMSアプリケーションソフトウェアパッケージは、質量精度とスペクトル精度を組み合わせることで、あらゆる種類のMSデータ (高分解能・低分解能の両方) に対し、Cernoの解析手法によって大幅な改善をもたらします。

高分解能MSのsCLIPS検索では、校正化合物を必要とせず、化学式IDのスペクトル精度を大幅に向上させます。

sCLIPS (自己校正線形同位体プロファイル検索) を使用すると、高解像度の TOF、Orbitrap、または FT-ICR を最大限に活用できます。

- 独自の特許取得済みセルフキャリブレーションプロセス
- 数学的に正確な同位体モデリング
- 適切に設計および運用されたシステムで達成可能な 99% 以上のスペクトル精度
- 化学式ID の質量精度を超える
- 最大 95~99% の誤った式を排除可能
- 未解決の MS 信号による強力な混合物分析



New for MassWorks Version 7

MassWorks バージョン 7 は、処理速度が向上し、安定性も高まった 64 ビット Windows アプリケーションとして新たに登場しました。更新されたファイルリーダーにより、MassWorks はほとんどの主要ベンダーのデータを直接読み込むことが可能になり、さらに業界標準の NetCDF 交換形式にも対応しました。また、多くの新機能の一つとして、「MassLab™」アプリが追加されました。これらのカスタムアプリは Python または Matlab により作成でき、たとえば高分子特性評価用の新しい機能「SAMMI™」を MassWorks に追加することができます。SAMMI™ は、従来の四重極アルゴリズムに比べて最大 30 倍の高精度を実現し、高分解能機器に匹敵する精度を提供します。

cerno
BIOSCIENCE

ST.JAPAN INC.

株式会社 エス・ティ・ジャパン
URL: <https://www.stjapan.co.jp>

東京本社 /
〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町1-14-10
TEL: 03-3666-2561 FAX: 03-3666-2658

大阪支店 /
〒540-6127 大阪府大阪市中央区城見2-1-61 ツイン21 MIDタワー
TEL: 06-6949-8444 FAX: 06-6449-8445

標準物質



標準物質とは

分析機器の校正、性能向上
分析技術の進歩、確立
分析対象物の値づけ

に用いられます。

より正確な分析データを求めるには、高い信頼性のある標準物質を御使用下さい。

標準物質は以下の分野に数多くあります。

- | | | |
|------------|-------------|----------|
| ・環境、生体、食物 | ・ガラス、セラミックス | ・粘度、密度 |
| ・石炭、石油(燃料) | ・有機、無機分析 | ・比表面積、粒径 |
| ・残留農薬 | ・薬局方試料、臨床化学 | ・X線分析各種 |
| ・金属、鉱石、鉱物 | ・抗血清 | ・放射能、核物質 |
| ・ガス分析 | ・高分子(ポリマー) | ・光学分析各種 |
| ・安定同位体 | ・熱分析各種 | ・度量衡 |

☆世界の代表的な標準物質製造・作成者一覧☆

NIST(NBS)/NATIONAL INSTITUTE OF STD. & TEC.	標準物質一般
LGC/LABORATORY OF THE GOVERNMENT CHEMIST.	標準物質一般
BCR/COMMUNITY BUREAU OF REFERENCE	標準物質一般
BAS/BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD	金属
SP ² /SCIENTIFIC POLYMER PRODUCTS INC.	ポリマー
PL/POLYMER LABORATORIES LTD.	ポリマー
μM/MICRO MATTER CO.	けい光X線用薄膜
IAEA/INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY	生体・環境
NANOGEN/NANOGENS INTERNATIONAL	農薬(溶液、原体)
CANMET/CANADA CENTRE FOR MINERAL & ENERGY TEC.	鉱石・鉱物
NRCC/NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA	水質環境用標準物質
ONL/OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY	安定同位体
KENT/KENT LABORATORYS	抗血清
DSC/DUKE SCIENTIFIC CORPORATION	球型、表面積
EP/EUROPEAN PHARMAPOEIA	医薬品
USP/U.S.P. REFERENCE STANDARDS	医薬品
BP/BRITISH PHARMAPOEIA	医薬品
NIES/国立環境研究所	環境・生体

ここに記載されている他にも、多数の標準物質を取り扱っております。
カタログ及び資料希望、お問い合わせについては下記へご連絡下さい。

GSC 株式会社 ゼネラルサイエンスコーポレーション

〒170-0005 東京都豊島区南大塚3丁目11番地8号 TEL.03-5927-8356 (代) FAX.03-5927-8357
ホームページアドレス <http://www.shibayama.co.jp> e-mail アドレス gsc@shibayama.co.jp

JASCO

Designed for you

ユーザーの声を形にした旋光計



P-4000 series

旋光計 / Polarimeter

New

薬局方に準拠した正確な測定をしたい

- ・輝線光源を使った $[\alpha]_D$ の測定
- ・連続光源使用時の補正機能を搭載

データを正しく管理したい

- ・ユーザー管理機能搭載
- ・DIをサポートするソフトウェアを選択可能

設置場所を省スペースにしたい

- ・旧機種よりコンパクトなA3サイズ相当の筐体
- ・装置+制御部の一体型設計

簡単に使いたい

- ・直感で操作できるタッチパネル
- ・少量の試料も注ぎやすいオリジナルセル
- ・試料の温度調整・温度計測の両機能を標準搭載

最適なコンディションを維持したい

- ・ISO/IEC 17025 認定の校正を行った旋光板による確認
- ・日常点検機能の搭載
- ・酸性試料に対する優れた耐久性

光と技術で未来を見つめる

日本分光

日本分光株式会社

〒192-8537 東京都八王子市石川町2967-5
TEL 042(646)4111(代)

日本分光の最新情報はこちらから

<https://www.jasco.co.jp>

日本分光HP



JASCO

JASCOは日本分光株式会社の登録商標です。
本広告に記載されている装置の外観および各仕様は、
改善のため予告なく変更することがあります。

高分子材料分析の強力な戦力！
マルチショット・パイロライザー

EGA/PY-3030D

未知試料へ多面的にアプローチ

発生ガス分析や瞬間熱分析などの組み合わせにより
未知試料を多面的に熱分解GC/MS分析

前処理なしで迅速に分析

あらゆる形態のポリマー試料を煩雑な前処理なしで
簡単・迅速に分析

高性能で高信頼

サーモグラムとパイログラムの高い再現性を保証

豊富な周辺装置

目的に合わせて選べる周辺装置で分析業務をサポート



微量ポリマーの検出感度が大幅向上！
スプリットレス熱分解用オプション装置
MFS-2015E



キャピラリーGC分析における中・高沸点領域の
ピーク形状を大幅改善！
スマートプレカラム **NEW**



試料水中のマイクロプラスチックを簡単に捕集！
捕集から測定までスムーズな操作を実現
Smart 微粒子コレクター **NEW**



迅速凍結粉碎装置 IQ MILL-2070

簡単操作！扱いやすい卓上型の粉碎装置

静かな作動音 … 周辺での会話が可能（粉碎時の騒音参考値 55 dB）

短時間 & パワフルに粉碎 … 高速上下ねじれ運動による効率的な粉碎

試料に合わせた細かな条件設定 … 粉碎速度/時間/サイクル数の設定
種類豊富な粉碎子と容器

液体窒素消費量が少なく省エネ … 液体窒素の最小消費量は約300 mL

DNA抽出用に細胞破碎を効率化する専用モデルもございます

高分子材料や生体試料などの
粉碎・攪拌・分散に最適



製品情報

フロンティア・ラボ 株式会社

www.frontier-lab.com/jp info@frontier-lab.com

高性能の熱分解装置と金属キャピラリーカラムの開発・製品化に専念して、洗練された製品をお届けしています

【ア行】

(株)エス・ティ・ジャパン…………… A1

【サ行】

(株)システムズエンジニアリング…………… A5

(株)島津製作所…………… 表紙 2

(株)ゼネラルサイエンス

コーポレーション…………… A3

西進商事(株)…………… 表紙 3

【ナ行】

日本分光(株)…………… A4

【ハ行】

ビー・エー・エス(株)…………… 表紙 4

フロンティア・ラボ(株)…………… A8

製品紹介ガイド…………… A6~7

NMR用液体ヘリウム・液体窒素 蒸発防止装置

液体ヘリウム・液体窒素のゼロボイルオフを実現

- ・冷媒の補給が不要
- ・お使いの各社NMRに後付け可能
- ・除振構造でデータ品質に影響なし
- ・液体窒素発生装置との組み合わせも可能



**Systems
Engineering**

株式会社 システムズエンジニアリング

E-MAIL : info@systems-eng.co.jp

https://www.systems-eng.co.jp

本社 : 東京都文京区小石川 1-4-2 文京ガーデンザウエスト 801 TEL : 03-3868-2634

西日本営業所 : 大阪府大阪市淀川区宮原 2-14-4 MF 新大阪ビル 3F TEL : 06-6868-9790



写真提供: 徳島文理大学

Bruker社700M NMR に搭載: 徳島文理大学山口教授のご協力による。

発光スペクトルを正しく測るために心がけること

発光スペクトル測定は幅広い分野で一般的となった一方、測定や解釈に関する誤りも少なくない。本稿では、これから発光スペクトルを測定するという研究者を対象として、測定時に注意すべき代表的なポイントを解説する。具体的には、分光蛍光光度計の装置構成、濃度や試料純度の影響、アーティファクトの見極め方、感度補正やスペクトルの形状解析などを概説し、信頼性の高い発光データ取得・解釈のための基本的な考え方と測定指針を紹介する。

吉田 将己

1 簡単なようで落とし穴がある発光スペクトル測定

1.1 はじめに

「21世紀は光の世紀」とも言われるように、現代の社会は発光性の材料や分子に大きく支えられている。たとえば、発光ダイオードのような発光素子はもちろんのこと、生体内の様子を観察するための蛍光プローブ分子や、酸素濃度によって発光の強さが変わる酸素センサー、さらには光のエネルギーを使って化学反応を進める人工光合成や光レドックス反応など、発光性分子の活躍の場は非常に多岐にわたる。それに伴って発光測定に対するニーズも高まっており、現在では発光スペクトル測定は化学に携わる研究者の間でも一般的になっている。一方で、発光スペクトル測定の基本的なしくみや注意点をよく知らないまま測定を行ってしまい、その結果、測定ミスや解釈ミスによる誤った結論をそのまま学会や論文で発表してしまうケースも少なくない。これは、「発光測定装置が比較的普及しており、誰でもサンプルを装置にセットしてボタンを押すだけで測定ができる」という手軽さゆえに、測定の背景にある光物理への理解が省かれてしまいがちであることが一因とも言える。

そこで本稿では、発光スペクトルを正しく測定するために必要な基本的な知識と注意点について、できるだけ簡単にまとめることを目的とした。まずは測定に関する基礎知識を簡潔に紹介し、そのうえで実際に測定を行う際に気をつけるべき代表的なポイントを説明する。最後に、正しく測定されたスペクトルデータを用いた解析の例についても紹介する。もちろん、本稿はあくまで入門として代表的な注意点を紹介するものであり、詳細は光化学の専門書を参照されたい^{1)~6)}。

1.2 発光という現象について

測定手順の解説に入る前に、発光という現象の基本的な仕組みについてごく簡単に触れておきたい。典型的な有機分子や遷移金属錯体における光物理過程の簡略化された模式図 (Jablonski 図) を図1に示す。まず、基底状態で閉殻の一重項状態 (図中の S_0) にある分子が光を吸収することで、励起一重項状態 ($S_n; n \geq 1$) が生成する。通常、この S_n 状態はごく短時間のうちに、もっともエネルギーの低い最低励起一重項状態 (S_1) へと緩和 (内部転換) する。この S_1 状態からスピン多重度の変化を伴わずに基底状態 S_0 に戻る際、光を放出する現象が蛍光 (fluorescence) である。一方、 S_1 状態から最低励起三重項状態 (T_1) へと項間交差したのちに、 T_1 から S_0 へのスピン変化を伴う輻射遷移によって光が放

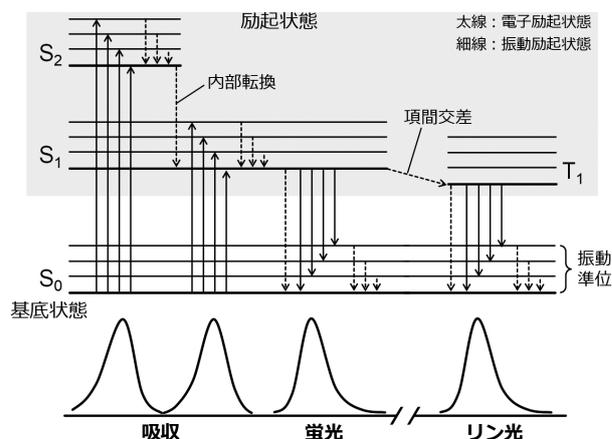


図1 分子のエネルギー状態と光の吸収・放出 (発光) に伴う光物理過程の簡略化された模式図 (Jablonski 図)

この図中の実線の矢印が光の吸収・放出を伴う過程、点線の矢印が光の放出を伴わない過程を示す。ただし、光物理過程を詳細に考える場合には、後の図8で示すように基底状態や励起状態はエネルギー準位だけでなく核座標に依存したポテンシャル曲面として扱うことが重要である。

出される現象がリン光 (phosphorescence) である。多くの有機分子では、スピン禁制遷移であるリン光は効率が低く、主に蛍光が観測される。一方、遷移金属錯体ではスピン軌道相互作用が強いため項間交差が促進され、リン光が優勢となることが多い。なお、一般に発光を伴う電子遷移は最低励起状態 (図1の場合は S_1 または T_1) の最低振動準位から起こりやすい (Kasha の法則)。もちろん、これらの発光を伴う過程 (輻射過程) は常に発光を伴わずに失活する過程 (無輻射過程) との競合にあり、どちらの過程が優勢かによって発光の強さが左右される。具体的には、輻射過程の速度定数を k_r 、無輻射過程の速度定数を k_{nr} としたとき、吸収した光に対する発光の効率を示す発光量子収率 Φ は、以下の式 (1) のように k_r と k_{nr} との比によって決まる (ただし N_{abs} は吸収された光子数、 N_{em} は発光により放出された光子数)。

$$\frac{N_{em}}{N_{abs}} = \Phi = \frac{k_r}{k_r + k_{nr}} \dots\dots\dots (1)$$

つまり、輻射過程が無輻射過程に比べて優勢であるほど、その分子や材料はより明るく発光する (発光量子収率 Φ が高い) 発光体であると言える。

なお、励起状態からの光放出現象全般を「蛍光」と総称してしまう例も見受けられるが、本来は上述のようにスピン多重度の変化の有無によって蛍光とリン光は明確に区別すべきである。発光の種類が明らかでない場合や、両者を含む広い意味で言及する場合には、より中立的な用語として「発光 (luminescence または emission)」を用いることが推奨される。

1.3 分光蛍光光度計の仕組み

発光スペクトル測定を行うに際し、用いる分光蛍光光度計の構成についても簡単に理解しておくことが望ましい。分光蛍光光度計は、主に①励起光源、②励起側モノクロメーター、③試料セルホルダー、④検出側モノクロメーター、⑤検出器の五つの主要部分から構成されている (図2)⁷⁾。まず、励起光源 (一般にはキセノンランプ

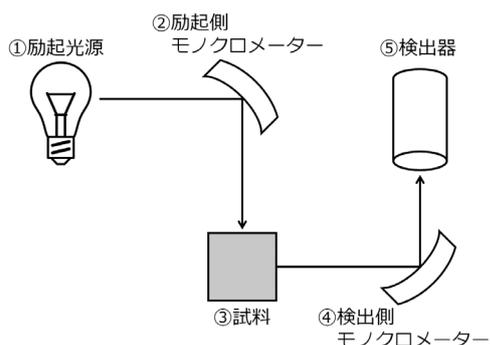


図2 分光蛍光光度計の構造の模式図

など) から発せられた光が励起側モノクロメーター (回折格子など) によって波長選択され、特定の波長の光が試料に照射される。試料が発光すると、その光は試料に対して直交方向に配置された検出側モノクロメーターに導かれ、波長ごとに分解された後、検出器 (光電子増倍管など) によって強度が測定される。励起光と発光の経路が直角に配置されている理由は、励起光の散乱が検出器に直接届くのを防ぎ、発光成分のみを高感度で検出するためである。そのため、発光スペクトル測定では吸収スペクトル測定用の2面透明セルではなく、4面透明セルを用いる必要がある。

2 発光スペクトル測定の注意点

2.1 測定の流れ

それではここから、具体的な測定の流れに移ろう。まずはもっとも一般的な溶液中での発光測定の手順を説明する。はじめに、測定対象のサンプルを適切な溶媒に溶解させ、測定用の溶液を調製する (サンプル濃度の影響については2.2節で詳述する)。この際、使用する溶媒の選択は測定の精度に大きくかわるため、慎重に行う必要がある。一般的には、不純物による影響を避けるため、分光分析用の高純度溶媒を使用することが推奨される。また、選択する溶媒は励起光を十分に透過できるものでなければならない。例えば、水やアセトニトリルは紫外領域においても比較的透過性が高く、短波長側まで使用可能である。一方で、アセトンは330 nm付近より短波長側に強い吸収帯を持つため、特に紫外光を励起光として用いる際には注意が必要である。また、テトラヒドロフラン (THF) そのものは良好な光透過性を有する溶媒であるが、よく THF に添加されている安定剤 (ジブチルヒドロキシルエン、BHT) は約280 nm付近に吸収を持ち⁸⁾、励起光の透過を妨げることがあるため、必要に応じて蒸留精製して用いることが望ましい。

この調製した溶液を、広い波長領域で光透過性に優れた石英ガラス製の蛍光測定用セルに入れたのち、脱気処理を行う。これは、溶液中に溶存する酸素が発光を効率的に消光してしまうためである。酸素による消光は、励起状態の分子と酸素分子との間で電子移動が起こりやすいことに加え、特にリン光性の分子の場合には励起三重項状態のエネルギーを基底三重項状態 ($^3\Sigma^-$) にある酸素分子が受け取りやすいことにも起因して速やかに起こる。溶媒中における常温大気圧下の溶存酸素濃度は水中でも0.3 mM程度、メタノール中の場合には2.9 mM程度と十分高く³⁾、そのため溶存酸素の除去は必要不可欠である。具体的には、窒素ガスを最低でも15~20分程度バブリングすることで脱気を行うことが多い (ただしバブリングによって溶液の濃度が変化しないよう、注意が必要である)。脱気後のセルを分光蛍光光度計にセットし、測定を行う。この際の励起光の波長としては化合

物が吸収を持ち、かつ、発光スペクトルの立ち上がり波長よりも短波長の光を用いる。なお、発光スペクトルの測定後には併せて励起スペクトルも測定しておくことが望ましい。

発光スペクトルを測定する際に常に気をつけないといけないのが「本当に化合物由来の発光なのか？」という点である。発光性を示す不純物がわずかでも含まれていると、その発光が観測され、誤った解釈につながる可能性がある。そのため上述のように溶媒には高純度溶媒を用いることが必要であるし、測定するサンプルは再結晶等によって純度を高めることが必須である。また、測定セルはそれ自身が不純物由来の発光を示さない無蛍光石英セルを用いることが望ましい。加えて、発光ではないピーク（溶媒からのラマン散乱光など）が混入することも多いため、溶媒や装置の特性も把握しておくことよい（詳細は2.4節参照）。

2.2 サンプル濃度は適切か？

溶液中における発光スペクトル測定の精度を大きく左右する要因の一つが、サンプル濃度の適切な設定である。ここで発光強度 I_c （式（1）における N_{em} に相当）とサンプル濃度 c との関係については、式（1）に加えて Lambert-Beer の法則を考慮することで、以下の式（2）を導くことができる。

$$I_c = (1 - 10^{-\epsilon cd}) I_0 \Phi = (1 - e^{-2.303\epsilon cd}) I_0 \Phi \dots\dots\dots (2)$$

なお I_0 は励起光強度、 d は光路長、 ϵ は励起波長におけるサンプルのモル吸光係数を示す。この式（2）に対して指数関数のテイラー展開を適用し、吸光度 $A = \epsilon cd$ が十分に小さい場合には高次の項を無視することで、以下の式（3）のように近似することができる。

$$I_c = 2.303\epsilon cd I_0 \Phi \dots\dots\dots (3)$$

この式（3）からも分かるように、低濃度領域では発光強度 I_c はサンプル濃度 c に比例する。では、サンプル濃度は高ければ高いほど発光強度が大きくなり、測定にとって望ましいのだろうか？ 実はそうとは限らず、濃度が高すぎる場合には、サンプル自身による光吸収が測定結果に悪影響を与える。具体的には、①発光そのものがサンプル自身に吸収されてしまう現象（再吸収）、および②励起光が溶液中で過剰に吸収されてしまう現象（内部フィルター効果）などが起こる。これらはいずれも高濃度で顕著になるため、あらかじめサンプル溶液の吸収スペクトル測定からモル吸光係数を把握した上で、吸収の影響を低減できるような低濃度で発光スペクトル測定を行うことが望ましい。以下に①および②について簡単に紹介していく。

図3に $10^{-6} \sim 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ までのさまざまな濃度におけるアントラセンの発光スペクトルを示す。高濃度に

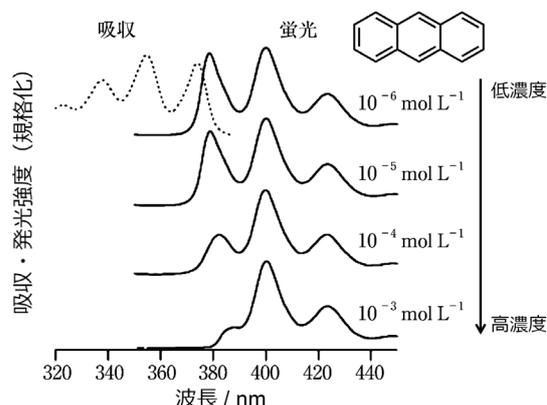


図3 アントラセンの発光スペクトルの濃度依存性（点線は吸収スペクトルを示す）。文献1の図を加筆修正。

なるに従い、発光帯のもっとも短波長側のピーク強度がどんどん弱くなっていることが分かる。これは、発光スペクトルの短波長端が吸収スペクトルの長波長端（図3の灰色点線）と重なっているために生じるものである。すなわち、発光によって放出された光子が、溶液内に存在する他の分子によって再吸収されることで、本来のスペクトル形状が歪んでしまう。これは吸収帯と発光帯との重なりが大きい蛍光性有機分子で特に顕著なため、注意が必要である。これを避けるには、発光帯と重なる波長領域（たとえば図3の場合は360~390 nm付近）において、吸光度が0.05以下となるように濃度を調製することが推奨される。

もう一つ、励起光がサンプル溶液に過剰に吸収される内部フィルター効果も問題になる。図2に示したように、一般的な分光蛍光光度計は励起光源と検出器とが直角に配置されている。ここでサンプルの濃度が高すぎた場合、励起光が溶液全体に透過せず、光源に近い表面付近でほとんどの光子が吸収されてしまう（図4(a)）。そのため、検出器が配置されているセルの中心部分で見かけ上の励起光強度が低下し、検出される発光の強度も大幅に低下してしまう。これは発光スペクトルの形状自体は変化させないものの、スペクトル強度の低下によるデータの質の低下を引き起こす。そのため、励起波長における吸光度は溶液全体に十分に励起光が透過できる0.1以下において測定を行うことが望ましい（図4(b)）。

これらの再吸収や内部フィルター効果に加え、サンプル濃度が高いと光励起状態の分子が未励起の分子と衝突して無輻射失活しやすくなる（濃度消光）ため、発光スペクトルの測定は（発光強度が稼げる程度の）希薄溶液で行うことが基本である。ただし例外もあり、例えば高濃度における凝集体の発光を観測したい場合など、高濃度であること自体に意味がある場合にはこの限りではない。そのような場合には、例えば図4(c)のような三角セルを用いることで前述のような問題点を回避できる。

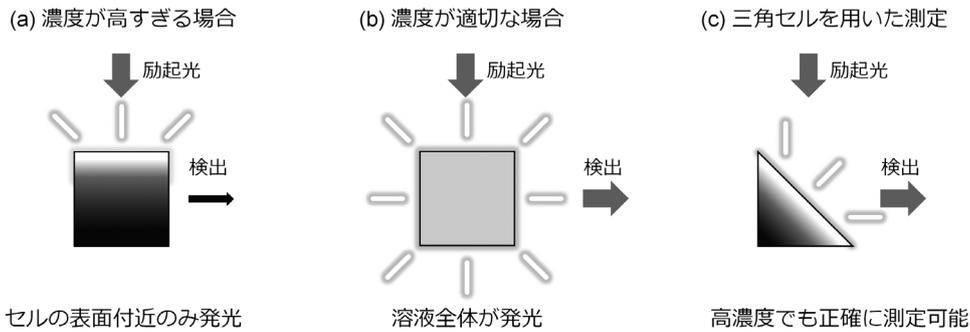


図4 内部フィルター効果の模式図

(a) 濃度が高すぎる場合は測定セルの表面付近のみで励起光が吸収されるため検出器が配置されているセルの中央付近ではあまり光らない。(b) 濃度を薄くすることで溶液全体に励起光が透過し正確な測定ができるようになる。(c) もし高濃度測定が必要な場合、三角セルを用いることで測定可能である。

2.3 固体サンプルを測る場合の注意点

ここまでは主に溶液中における発光スペクトル測定について述べてきたが、固体状態のサンプルを測定する場合にも特有の注意点が存在する。まず、固体、特に結晶中では、分子同士が高密度に配列しており、隣接分子間での励起エネルギー移動が起こりやすい。このような状態では、たとえ不純物がごく微量であっても、非発光性の不純物分子に励起エネルギーが移動してしまい、効率的な消光が起こる可能性が高い。また、結晶中に存在する格子欠陥や構造の乱れも、励起状態の無輻射失活を引き起こす要因となる。そのため、固体サンプルを測定するには溶液中の場合以上に純度に気をつけ、再結晶を丁寧に行う必要がある。

サンプルの物理的形狀も測定結果に大きな影響を与える。結晶中では溶液中と比べて分子密度が非常に高いため、再吸収(2.2節参照)の影響を強く受ける。特に、単結晶サンプルでは発光により生じた光が結晶中を透過する距離が長いことこの影響が顕著に現れ、短波長側が削れたような形状の発光スペクトルが得られてしまう。そのため、理想的には乳鉢などを用いて結晶を粉砕し、細かい粒子にしてから発光測定をすることが望ましい

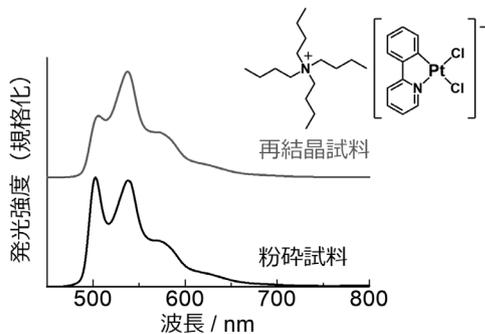


図5 固体状態における $(\text{Bu}_4\text{N})[\text{PtCl}_2(\text{ppy})]$ ($\text{ppy}=2\text{-フェニルピリジナト}$) の発光スペクトル
灰色線は再結晶直後の試料、黒線はそれを乳鉢で粉砕した試料のスペクトルを示す。

(図5)。ただし、中には粉砕によりサンプルが結晶相転移やアモルファス化を起こしてしまうことで発光特性そのものが変化する場合もあるので、サンプルの特性を確認しながら調製条件を慎重に検討する必要がある。一般に固体サンプルは相状態や均一性、等方性などを厳密に統一することが難しいため、再現性の確保には溶液以上に配慮が求められる。

2.4 それは本当に発光なのか？

注意しないとイケないのが、発光スペクトルとしては本来存在しないはずの信号(アーティファクト)の混入である。代表的なアーティファクトの一つが溶媒からのラマン散乱光である。例えば、図6に励起波長を変えながら測定したトルエン中におけるアントラセンの発光スペクトルを示すが、発光帯の短波長側に*で示した細く鋭いピークが現れているのがわかる。これはアントラセン由来の蛍光ではなく、溶媒のラマン散乱によるもので、以下の式(4)のように励起光の波長 λ_{exc} に対して

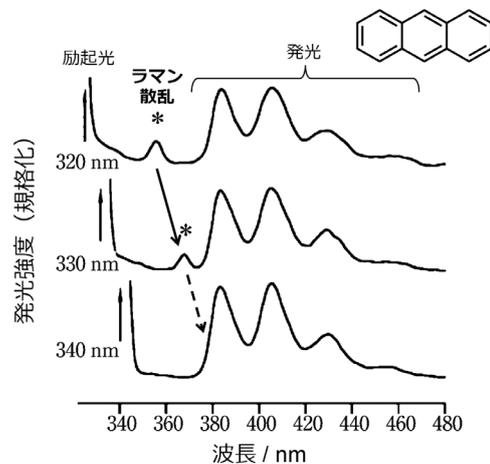


図6 320, 330, 340 nm 励起におけるアントラセンの発光スペクトル

*は溶媒(トルエン)のラマンスペクトル; 文献1の図を加筆修正。

一定の波数 $\tilde{\nu}$ だけシフトした波長 λ_{Raman} に出現する。

$$\frac{10^7}{\lambda_{\text{Raman}}[\text{nm}]} = \frac{10^7}{\lambda_{\text{exc}}[\text{nm}]} - \tilde{\nu}[\text{cm}^{-1}] \dots\dots\dots (4)$$

図6のようにトルエンなどの有機溶媒を用いると、多くの場合 C-H 伸縮に基づくラマン散乱ピークが励起光に対し $\tilde{\nu} = 3000 \text{ cm}^{-1}$ 前後の波数差で現れる (表1)¹⁾⁹⁾。

表1 代表的な溶媒のラマン散乱光の波数シフト幅^{1)9)~11)}

溶 媒	波数シフト幅 $\tilde{\nu}/\text{cm}^{-1}$	由 来
水	約 3400~3600	O-H 伸縮
トルエン, エタノール, シクロヘキサン, クロロホルム, アセトニトリル, ジオキサン等	約 2900~3100	C-H 伸縮
四塩化炭素	約 700	C-Cl 伸縮

一方、水溶液中で測定を行う場合には O-H 伸縮に基づくラマン散乱ピークが励起光に対しておおよそ $\tilde{\nu} = 3400 \sim 3600 \text{ cm}^{-1}$ の波数差で現れやすい⁹⁾。発光スペクトル測定時にこのような半値幅の狭いピークが出現した場合、まずはラマン散乱光かどうかを判別するために励起波長を変えて再測定してみるとよい。ラマン散乱ピークがサンプルの発光帯と重なってしまう場合は、溶媒のみのスペクトルを同条件で測定し、それをサンプル溶液のスペクトルから差し引くという手段もある。

同様に注意すべきアーティファクトが二次回折光である。回折格子による波長分離の過程で (1.3 節参照)、波長の整数倍にあたる「高次回折光」が本来の波長として検出されてしまう。例えば、励起波長 350 nm で発光スペクトルを測定した場合、その波長の 2 倍である 700 nm 付近に本来存在しないはずの鋭いピークが現れるが、これは 350 nm の二次光が検出器に届いたことによるものである。これを防ぐためには、特定の波長よりも短波長側の光を除去する「ロングパスフィルター」を検出器の前に設置することが有効である。上記の例であれば、370 nm よりも短波長の光を除去するフィルターを用いることで、350 nm の二次光が検出されるのを防ぐことができる。

アーティファクトは測定者が「どのような発光スペクトルが妥当なのか」を把握していない場合に見落とされやすい。実際に、このようなアーティファクトを誤って化合物の発光と帰属している論文もまれに見かける。観測された発光が化合物本来の性質に基づくものか、それともアーティファクトなのかを見極めることが、正確な解析にとって極めて重要である。

2.5 装置にも得意な波長, 苦手な波長がある

ここまで実験上の注意点を紹介してきたが、データの

正確性を担保するためには使用する装置の特性にも配慮が必要である。分光蛍光光度計ではいわゆるベースライン測定が無いため、得られたスペクトルには装置固有の波長依存性 (いわゆる装置関数) が反映されてしまう。そのため、発光スペクトルを正確に得るためには、図2に示した分光蛍光光度計の光学系、特に検出器の波長依存の感度特性を考慮し、感度補正を行う必要がある。検出器として一般的に用いられている光電子増倍管は紫外~可視光の短波長領域では高感度を示す一方で、可視光の長波長側~近赤外領域では感度が急激に低下する¹²⁾。そのため、波長特性が既知の標準光源を用いてスペクトルを測定し、その際に得られる観測スペクトルと、理論的に知られている真のスペクトルとの比から各波長における補正係数を求める必要がある (なお、この補正係数は定期的な更新が推奨される)。その後、実際の発光スペクトルに対してこの補正係数を適用することで、装置関数の影響を除去し、より正確で信頼性の高い発光スペクトルを得ることができる。補正係数をあらかじめ測定しておけばソフトウェア上で自動で補正をかけることも多いが、見落としの恐れもあり油断は禁物である。

感度補正の重要性を示す例として、図7に代表的な発光性遷移金属錯体であるトリス (2,2'-ビピリジン) ルテニウム (II) イオン ($[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$) の発光スペクトルを示す。この錯体の光励起状態は古くから広く研究されており、その発光スペクトルとしては 620 nm 付近に発光極大を持ちつつ近赤外領域にかけて広がるブロードなスペクトル形状を示すことが知られている^{13)~15)}。しかし上述のように、このような長波長領域における光電子増倍管の感度は低い。そのため、発光スペクトルの生データは図7中の破線で示すように長波長側が削れたような形状となってしまう。その見かけ上の発光極大波長も本来の 620 nm 付近からやや短波長側へとずれて観測されてしまう。図7の実線は感度補正を行った後の発光スペクトルを示しており、補正の重要性が理解できる。

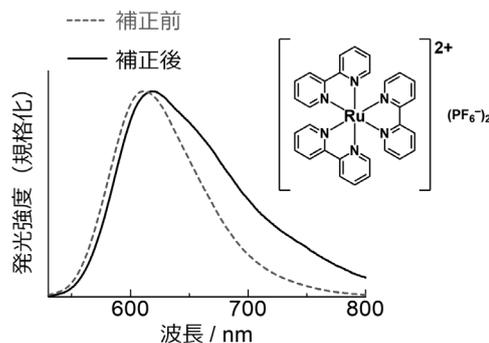


図7 アセトニトリル中における $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+} (\text{PF}_6^-)_2$ の発光スペクトル
破線は感度補正前, 実線は補正後のスペクトルを示す。

2・6 横軸を変換するときの落とし穴

通常、発光スペクトルは横軸が波長 (λ/nm)、縦軸が発光強度として測定される。一方、特に物理化学的な解析や励起状態の詳細な議論を行う際には、波数 ($\tilde{\nu}/\text{cm}^{-1}$) を横軸とした表示が有用な場合も多い。波数はエネルギーに比例する量であるため、物理化学的な議論において直感的に扱いきやすいという利点がある。しかし、波長と波数の関係は非線形であるため、単に横軸を波長から波数へ変換するだけでは、縦軸である発光強度 (その波長・波数の単位間隔に対応するエネルギー範囲内の放出された光子数) が正しく反映されなくなる点に注意が必要である。具体的には、単位間隔あたりの光子数密度を保つため、横軸を波数表記にする際には以下の式 (5) のように縦軸の発光強度についても補正を行う ($I(\tilde{\nu})$ および $I(\lambda)$ はその波数および波長における発光強度)¹⁾¹⁶⁾。

$$I(\tilde{\nu}) = I(\lambda) \times \lambda^2 \dots\dots\dots (5)$$

この補正を行わないと、低エネルギー側 (長波長側) の発光強度が過小評価されてしまう。

3 発光スペクトルの形状解析

3・1 Franck-Condon 解析の概要

ここまで発光スペクトル測定の注意点ばかりを述べてきたが、適切に測定された発光スペクトルはさまざまな重要な情報を与えてくれる。例えば、発光スペクトルの形状には、電子遷移エネルギーのみならず失活にかかわる分子振動、励起状態の構造変化などの情報が含まれている。そこで、ここまで測定の基本を紹介してきた本稿の最後に、発展的な内容として適切に発光スペクトルを測定することで可能となる解析方法を紹介しよう。具体的には、発光スペクトルからの情報抽出の代表的な手段である Franck-Condon 解析について紹介する。

Franck-Condon 解析とは、電子遷移に伴って観測される発光スペクトルの形状を、振動と電子遷移の結合 (振電結合) モデルに基づいて再現し、スペクトル形状

から物理的パラメーターを推定する手法である。解析に用いる式の導出の詳細は専門書や論文にまかせるとして³⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、ここでは「何をしているのか」の概略を説明する。まず、図3や図5でも見られたように、しばしば発光スペクトルには周期的なギザギザ状の形状 (振動構造) が現れることがある。これは、電子遷移と結合した分子内振動モード (アントラセンの場合は芳香環の伸縮振動) に起因するものであり、そのピーク間隔が振動のエネルギーを反映している (図8)。また、励起状態のポテンシャル曲面は、励起状態における構造のひずみを反映して基底状態から少しずれている。このずれが小さいと、最も高エネルギー側のピーク (励起状態と基底状態の最低振動準位間の遷移; 0-0 遷移と呼ぶ) の強度が大きくなる (図8, 左)。一方で、励起状態での構造変化が大きくなるとポテンシャル曲面のずれが大きくなり、より低エネルギー側のピークの強度が相対的に強くなる (図8, 右)。これは、各遷移の強度が、遷移前後の振動波動関数の重なり積分の2乗 (Franck-Condon 因子) に比例するためである。ここで、振動構造の各ピークをガウス関数で近似しながら、ピークの間隔と強度比をフィッティングによって求めることで、観測されたスペクトルから分子内振動の波数や励起状態における構造のひずみの程度 (Huang-Rhys 因子)¹⁹⁾などを抽出するのが、Franck-Condon 解析の基本的な目的である。この解析においては、例えば n 個の分子内振動モードを考慮した場合には、以下のような一般式 (6) に基づいてフィッティングを行う³⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。

$$I(\tilde{\nu}) = \sum_{v_1=0}^{\infty} \dots \sum_{v_n=0}^{\infty} \left(\frac{E_0 - v_1 \hbar \omega_1 - \dots - v_n \hbar \omega_n}{E_0} \right)^4 \left(\frac{S_1^{v_1}}{v_1!} \right) \dots \left(\frac{S_n^{v_n}}{v_n!} \right) \exp \left[-4 \ln 2 \left(\frac{\tilde{\nu} - E_0 + v_1 \hbar \omega_1 + \dots + v_n \hbar \omega_n}{\Delta \tilde{\nu}_{1/2}} \right)^2 \right] \dots\dots (6)$$

ここで $I(\tilde{\nu})$ は前述のようにその波数における発光強度、 E_0 は 0-0 遷移のエネルギー、 v_1, \dots, v_n は電子遷移と結

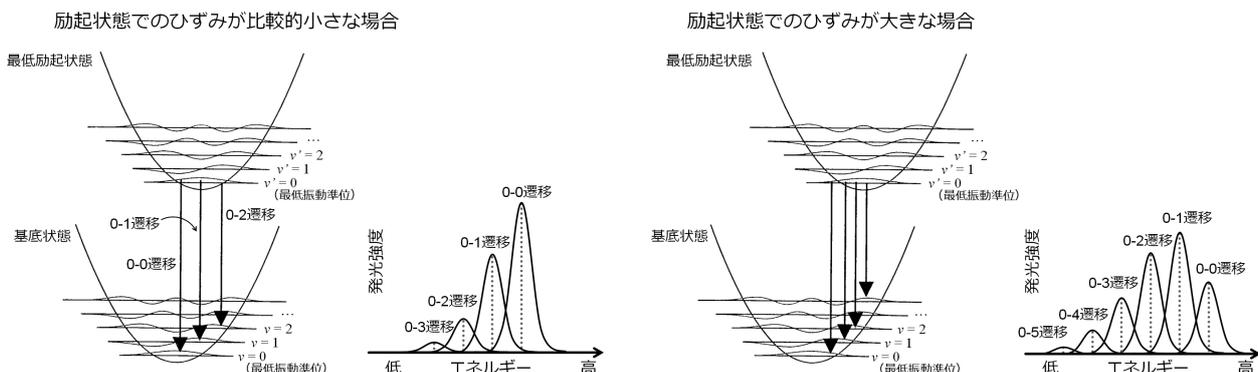


図8 基底状態と励起状態とのポテンシャル曲面のずれの大きさと発光スペクトルの振動構造の関係の模式図

文献3の図を加筆修正。

合したそれぞれの分子内振動モードの量子数, $\hbar\omega_1, \dots, \hbar\omega_n$ はそれぞれの振動モードの振動数, S_1, \dots, S_n はそれぞれに対する構造のひずみの程度を示す Huang-Rhys 因子, そして $\Delta\tilde{\nu}_{1/2}$ は振動ピークの半値全幅である.

もちろん, これらのパラメーターはあくまで機械的に得られたフィッティング値であり, 我々には求められた値が妥当かどうかを判断する必要がある. 例えば, 初期値の設定を誤れば容易に誤ったフィッティング結果が得られてしまう. 結果の妥当性の判断のためには, 類似化合物の文献値との比較, 他の測定結果との整合性などから総合的に判断することが必要になる.

3.2 実際のスペクトル形状解析の例

デモンストレーションとして, 実際の発光スペクトルに対して Franck-Condon 解析に基づくスペクトル形状のフィッティングを行う. ガラス中に人体に影響がないレベルの極微量のウランを含んだ「ウランガラス」は, 紫外光の照射により美しい緑色の発光を示すことが知られている. その発光スペクトルはガラスの組成や構造によって若干変化するものの, おおむね図9の実線のようなややブロードな肩をもったスペクトルを与える^{20)~22)}. そこでこの発光スペクトルについて, 一つの分子内振動モードを想定し7番目の振動準位までの遷移(0-0 遷移から0-6 遷移まで)を考慮して式(6)から導かれた以下の式(7)を用い, フィッティングを行った.

$$I(\tilde{\nu}) = \sum_{v_1=0}^6 \left(\frac{E_0 - v_1 \hbar\omega_1}{E_0} \right)^4 \left(\frac{S_1^{v_1}}{v_1!} \right) \exp \left[-4 \ln 2 \left(\frac{\tilde{\nu} - E_0 + v_1 \hbar\omega_1}{\Delta\tilde{\nu}_{1/2}} \right)^2 \right] \dots (7)$$

フィッティングには Microsoft Excel の「ソルバー」機能を用い, 最小二乗法によって実測値と理論値との差が小さくなるように各パラメーターを最適化した. 得ら

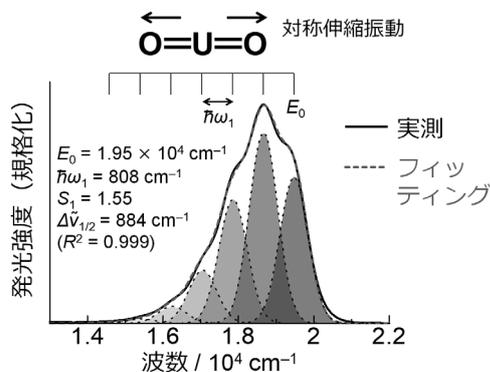


図9 市販の観賞用ウランガラスの室温における発光スペクトル(実線)および式(7)に基づくフィッティング曲線(破線) 点線は振動構造の各ピークを示す.

れたフィッティング曲線を図9の破線で, フィッティングパラメーターを図9内に示す. 例えば, これによりスペクトル形状がブロードで一見して判別しづかった分子内振動の波数を 808 cm^{-1} と求めることができたが, これはウランガラス中に含まれるウラニルイオン(UO_2^{2+})の対称伸縮振動のエネルギーとして妥当な値である²⁰⁾²¹⁾²³⁾. ウラニルイオンの励起状態のエネルギーや分子内振動の波数, 構造のひずみなどはウラニルイオン周囲の環境によって変化するため, このような発光スペクトルの詳細な解析は, ウラン含有鉱物や材料の同定などにも有用である²³⁾. このように, 適切に測定された発光スペクトルの形状解析は分析化学の観点からも有効な手段であるといえる.

4 おわりに

以上, 本稿では, 発光スペクトル測定における代表的な注意点と, そのスペクトル形状を用いた解析の一例について紹介した. 冒頭でも述べたように, 発光スペクトルの測定は近年ますます重要性を増しており, 加えて, 研究分野を越えた学際的な取り組みが求められる現在, 発光測定に新たに取り組む研究者の数も今後さらに増加していくことが予想される. 本稿の内容は, すでに多くの教科書や専門書等で解説されている事項から筆者なりに抜粋・簡略化したものであり, すでに発光測定を専門とされている方々にとっては, ごく基本的な内容に留まり不十分と感じられる部分もあるかもしれない. また, 発展的な内容として最後に紹介した Franck-Condon 解析についても, あくまで「何をしているのか」の概説にとどめているため理論的な解説が不十分と感じられる方もいるだろう. しかしながら, これから発光スペクトル測定に取り組もうとする方々にとって, 本稿が最初の手がかりとして少しでも参考となれば幸いである. なお, ここで紹介した注意点や解析法はあくまで例にすぎず, より深く発光測定やその解析手法について取り組みたい方には, ぜひこの次に参考文献欄に記載している専門書を参照されることをお勧めしたい.

文 献

- 1) 木下修一, 太田信廣, 永井健治, 南不二雄 編: “発光の事典 基礎からイメージングまで”, (2015), (朝倉書店).
- 2) 井上晴夫, 伊藤攻 監訳: “分子光化学の原理”, (2013), (丸善出版); N. J. Turro, V. Ramamurthy, J. C. Scaiano: “Principles of Molecular Photochemistry: An Introduction”, (2009), (University Science Books, Sausalito).
- 3) 佐々木陽一, 石谷治 編: “金属錯体の光化学”, (2007), (三共出版).
- 4) 井上晴夫, 高木克彦, 佐々木政子, 朴鐘震: “光化学 I”, (1999), (丸善出版).
- 5) H. Ishida, S. Tobita, Y. Hasegawa, R. Katoh, K. Nozaki: *Coord. Chem. Rev.*, **254**, 2449 (2010).
- 6) H. Ishida, J.-C. Bünzli, A. Beeby: *Pure Appl. Chem.*, **88**, 701 (2016).

- 7) 日本分光株式会社: “蛍光光度計の基礎 (4) 分光蛍光光度計 ハードウェアの特徴と役割” (<https://www.jasco.co.jp/jpn/technique/internet-seminar/fp/fp4.html>), (accessed 2025, 4.12).
- 8) V. Talrose, A. N. Yermakov, A. A. Usov, A. A. Goncharova, A. N. Leskin, N. A. Messineva, N. V. Trusova, M. V. Efimkina: “UV/Visible Spectra” in “NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69” (Eds. P.J. Linstrom, W.G. Mallard), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899 (<https://doi.org/10.18434/T4D303>), (accessed 2025, 4.12).
- 9) C. A. Parker: “Photoluminescence of solutions: With applications to photochemistry and analytical chemistry”, (1968), (Elsevier, Amsterdam).
- 10) P. Yankov, Z. Nickolov, V. Zhelyaskov, I. Petkov: *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **47**, 155 (1989).
- 11) M. Plugge, V. Alain-Rizzo, P. Audebert, A. M. Brouwer: *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **234**, 12 (2012).
- 12) 浜松ホトニクス株式会社: “光電子増倍管 その基礎と応用 第4版”, (<https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/optical-sensors/pmt/related-documents.html>), (accessed 2025, 4.12).
- 13) K. Kalyanasundaram: *Coord. Chem. Rev.*, **46**, 159 (1982).
- 14) A. Juris, V. Balzani, F. Barigelletti, S. Campagna, P. Belser, Z. A. Von: *Coord. Chem. Rev.*, **84**, 85 (1988)
- 15) K. Suzuki, A. Kobayashi, S. Kaneko, K. Takehira, T. Yoshihara, H. Ishida, Y. Shiina, S. Oishi, S. Tobita: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **11**, 9850 (2009).
- 16) C. A. Parker, W. T. Rees: *Analyst*, **85**, 587 (1960).
- 17) G. H. Allen, R. P. White, D. P. Rillema, T. J. Meyer: *J. Am. Chem. Soc.*, **106**, 2613 (1984).
- 18) J. V. Caspar, T. D. Westmoreland, G. H. Allen, P. G. Bradley, T. J. Meyer, W. H. Woodruff: *J. Am. Chem. Soc.*, **106**, 3492 (1984).
- 19) K. Huang, A. Rhys: *Proc. R. Soc. London, Ser. A.*, **204**, 406 (1950).
- 20) C. D. Flint, P. S. Tanner, R. Reisfeld, H. Tzechoval: *Chem. Phys. Lett.*, **102**, 249 (1983).
- 21) K. Binnemans, H. De Leebeek, C. Görller-Walrand, J. L. Adam: *J. Phys.: Condens. Matter.*, **11**, 4283 (1999).
- 22) N. Ollier, M.-J. Guittet, M. Gautier-Soyer, G. Panczer, B. Champagnon, P. Jollivet: *Opt. Mater.*, **24**, 63 (2003).
- 23) E. Faulques, F. Massuyeau, N. Kalashnyk, D. L. Perry: *Spectrosc. Eur.*, **27**, 14 (2015).



吉田 将己 (YOSHIDA Masaki)

大阪大学大学院理学研究科化学専攻 (〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1-1). 九州大学大学院理学部化学専攻博士後期課程修了。博士(理学)。《現在の研究テーマ》刺激応答性・発光性遷移金属錯体の開発と光機能の探索。

E-mail: myoshida@chem.sci.osaka-u.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。