

音と騒音のおはなし

吉田 佳宏*

1. はじめに

ウォークマンを聴いている人にとっては音楽という音を楽しむ行為も、他人にとっては騒音でしかない時もある。古くはピアノ音に腹を立てた殺人事件が有名であるが、最近でも奈良騒音傷害事件や島根県浜田市の殺人事件などがあり、騒音に関する事件はなくならないようである。今回は、物理的な音のエネルギーや測定技術などの解説は専門書に譲り、音と騒音についての理解に少しでも役立つような基本的な事項をまとめた。

2. 音とは

簡単に言うと空気の振動であると表現される。これは、日常生活において音を聞き取る状況が、空気を介して耳に伝わるものであるため、本当は音を伝えることができる物質(媒質という)は空気だけではなく、他の気体や液体、固体であってもよい。物理現象としては、媒質がもっている質量と弾性によって変位、内部応力などの変化が伝搬する弾性波(=音波)である¹⁾。実際には、その音波が耳の鼓膜を動かしその情報が聴覚系により神経活動情報に変換され脳において「音である」と認識される。

空気以外の媒質の例としては、水中で音を聞く場合(液体)や糸電話(固体)などがある。イギリスの物理化学者ロバート・ボイル(Robert Boyle 1627-1691)氏は、1660年に媒質のない状態(=真空)において音が伝達されるかどうかの実験を行ったとのこと。【ガラス瓶の中に目覚し時計を吊るし、脱気。目覚し時計が鳴り始める時刻を待ったが音は聞こえない。次に空気を瓶の中に少しずつ入れる。目覚しの音が聞こえ始めた。】²⁾

3. 音波の特性

空気中を伝わる音波は、圧力の変動と媒質の運動が交互に繰り返されて伝わる。この時の音波によって増減する圧力変動が「音圧」である²⁾。空気中では、音波の伝播方向と媒質粒子の振動方向とが一致し、このような波を「縦波」、「疎密波」ともいう。ちなみに、「横波」は伝播方向と媒質粒子の振動方向が垂直な波であるが、気体にはせん断応力が存在しない為、縦波しか存在しない¹⁾。図1は中心に音源があり音波が球面状に放射していく様子と圧力の関係を示したものである。

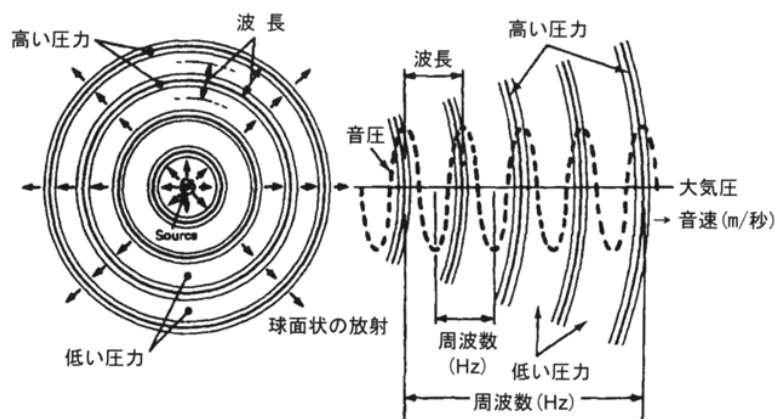


図1 音波の特性²⁾

音波によって媒質の粒子が振動を起こし、粒子が密集した部分が高い圧力を、疎部が低い圧力を示している。粗密の繰り返しにより、周りの空気の粒子を押ししたり引いたりすることで、次々と周囲に伝播する³⁾。水面で波紋が広がるイメージと同じである。この伝わり方の速さを「音の速さ」、1秒間当たりの粗密の波の数を「周波数」という。音の速さと波長及び周波数には次の関係がある。

$$c = \lambda \times f$$

c : 速さ(m/s)

λ : 波長(m)

f : 周波数=1秒間当たりの振動数(Hz)

4. 音速

空気中を伝わる音の速さは、以下の式で与えられる。

$$c = 331.5 + 0.6t$$

t: 温度(°C)

温度による影響を受け、20°Cの空気中では約343m/sである。温度が一定であれば、気圧が変化しても変わらないし、音の高低・強弱によっても影響を受けないのである。演奏者から遠いところで曲を聴いても、遅れては聞こえるが、曲は崩れない³⁾。

5. 周波数

自然界では単一の周波数だけからなる「純音」は稀であり、通常はたくさんの周波数成分からなる。その周波数分布を「スペクトル」と呼ぶ。また、音の高い・低いは、周波数が高いか低いかである。言い換えると1秒当たりの粗密の繰り返し数が多い音が高い音であり、少ないのが低い音である。ちなみに、周波数が2倍になる間隔をオクターブ(octave)という。octave離れた2つの音は非常に似た感覚を与え(音の調性)、音楽ではこの感覚を基本として音階が作られている⁴⁾。

また、人は全ての周波数の音波を音として捕らえているわけではない。一般に可聴域の周波数帯は20~20kHzとされている。表1は、空気中を伝播する音の種類とその主な周波数範囲の概念である。ちなみに超音波といえばコウモリを連想するが、コウモリの可聴域の上限は200kHz弱である。クジラ・イルカは150kHz、アザラシは70kHz程度で、人の可聴域よりも上限が高い動物は多い。耳に聞こえない周波数域で音が存在するのは不思議な感じであるが、実は、工夫をすると聞くことが可能である。どうするかというと、媒質に空気を介さず直接振動子を骨に接触させて音を導くのである。すると、振動は骨に伝わり聴覚系に達して、音が聞こえるのである(骨導)。骨導は難聴の検査にも使われている他、骨導超音波補聴器実用化の開発などが進められている。

表1.空気中を伝播する音の種類とその主な周波数範囲の概念²⁾

音の種類	周波数範囲	備考
超低周波音	1~20Hz	耳には聞こえない。
低周波音	1~80Hz	不快感・圧迫感、建具のがたつきによる2次発生音等の影響。
可聴音	20~20kHz	人が聞くことができる範囲。
騒音	20~8kHz	一般に騒音問題となる範囲。
超音波	20kHz~	聞くことができない。

6. 音の大きさのレベル (loudness level)

人の聴覚は、約20~20kHzを聞くことができるが、物理的に同じ音圧の音であってもその周波数によって感じる「音の大きさ」は異なる。図2は周波数毎の音の大きさのレベルと音圧レベルの関係を表わした等感(等ラウドネス)曲線である。周波数1kHzの純音に対して音の大きさのレベル(単位: phon)の数値を音圧レベル(単位: dB)に一致させ、他の周波数に対しては、その音と同じ大きさに感じる1kHzの音の大きさのレベルとし、音の大きさのレベルが等しくなる音圧レベルを結んだ曲線である¹⁾。

例えば、周波数63Hzにおいて40phon(1kHz, 音圧レベル40dB)と同じ大きさに感じる音圧レベルは60dBを示し、20dB大きい。これは人の聴覚感度が63Hzでは20dB小さいことを示している。人の聴覚感度は、約4kHz付近が最大であり、周波数が特に低くなるに従い小さくなっていることが分かる。同

じ強さで発した声の場合、低い声は高い声より聞き取りにくいのである。

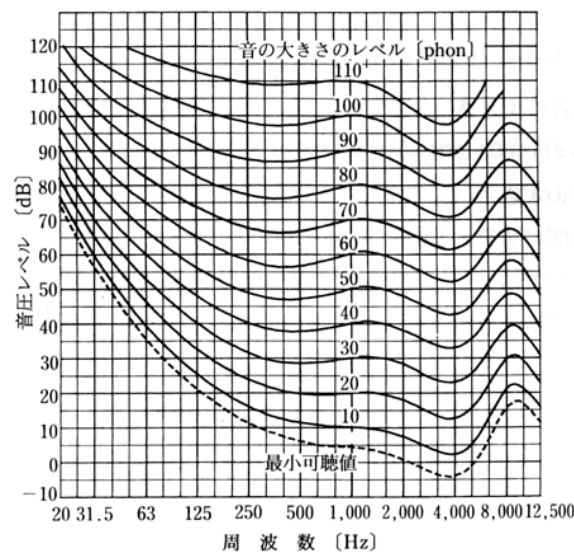


図2 等感曲線¹⁾

7. 物理量と感覚量

音圧は物理量なので測定は比較的容易であるが、騒音などの評価を行う場合には人の感覚量に基づいた評価を行わなければならない。

例えば、海中工事などによる海中騒音により魚がいなくなることに対する補償問題を議論する場合において、海中騒音の物理量の測定は可能であるが、その評価は魚に対する量—影響関係が明らかになって初めて可能なのである。言うまでも無く、人に対する騒音の影響を考える場合も同様である。

一般に音の量を表わす場合、物理量と感覚量の表現は異なり、下記のように表わされる¹⁾。

物理量: 音の強さ(W/m^2), 音圧レベル(dB)

感覚量: 音の大きさのレベル(phon), 音の大きさ(sone)

真の感覚量は各個人の主観量であるが、もしその感覚量が直接、測定が可能であればそれが真の騒音測定なのであろう。

8. 音の大きさ (loudness)

先述のloudness levelは感覚上の音の大きさの尺度を音圧レベルに対応させているが、音圧レベルは物理的な数値であり、直接的に感覚量を表すものではない。音の大きさ(loudness)は、音の感覚量を数量化する目的で表現されたものである¹⁾。周波数1kHz、音圧レベル40dB(=40phon)の音の大きさを1soneとし、この2倍に感じる音の大きさが2sone、3倍大きいと3soneとして表現される。図3は音の大きさのレベル(phon)と音の大きさ(sone)の関係を示したものである。近似的には以下の式で与えられる¹⁾。

$$LN \doteq 40 + 10 \log 2S \doteq 40 + 33.2 \log 10S$$

LN: 音の大きさのレベル(phon)

S: 音の大きさ(sone)

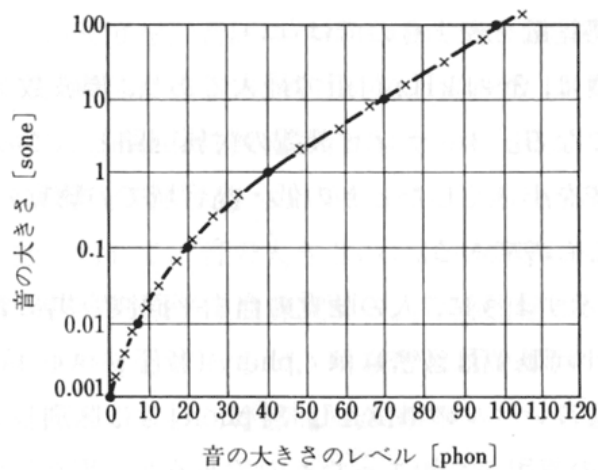


図3 音の大きさのレベルと音の大きさの関係¹⁾

9. 騒音レベル

実際の騒音対象となる連続スペクトル音の「音の大きさ(loudness)」を簡単に測定することは困難である。そこで音の大きさとの対応がよく、簡単に測定可能なものとしてA特性音圧レベルがある。これは、周波数による音の大きさの違いをシミュレートし、各周波数成分の聴感上での加算をエネルギー加算に置き換えたものである¹⁾。以前は等ラウドネス曲線を模倣した周波数補正特性であるA, B, C特性を音圧レベルに応じて使い分けていたが、複雑で使い分けに問題が生じることなどの理由で、現在ではA特性の周波数補正を行った音圧レベルが騒音レベル(=A特性時間重み付きサウンドレベル)として用いられている⁵⁾。その単位はデシベル、単位記号はdBである。騒音レベルとは、騒音(人にとってない方がよい音)をdB表示したものではなく、『各周波数の音圧レベルを、周波数ごとに定められた一定の数値(A特性)で補正した値を合算したもの』である。

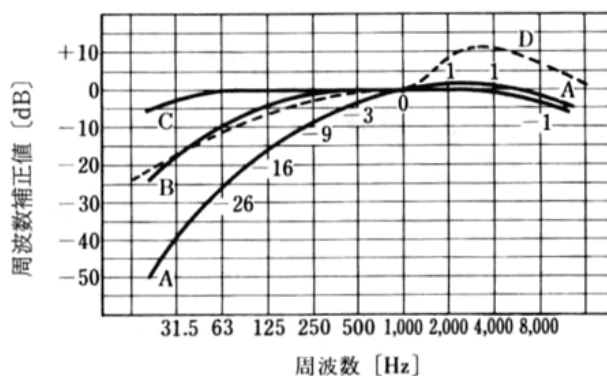


図4 周波数補正回路の周波数特性¹⁾

10. 暗騒音

暗騒音とは、ある場所での測定対象の騒音に対しそれ以外の全ての騒音を言う。例えば、ある道路で近接する工場の騒音を測定しようとした時、対象とする工場以外の自動車騒音、通行者の話し声、犬の鳴声及び他工場の騒音等は暗騒音となる。しかし、同じ測定点であっても、測定対象を道路交通騒音とした場合、その工場の騒音、通行者の話し声、犬の鳴声及び他工場の騒音等が暗騒音となるのである。対象騒音が変わると、暗騒音も変わるのである。対象騒音の大小に関係なく、測定対象よりも暗騒音が大きくなることもある⁵⁾。

一口に「騒音を測定する」と言っても、どんな目的で何を評価したいかによって測定内容が大きく相違してくる。

11. 終わりに

騒音評価の特徴は、音を騒音として評価する難しさと人それぞれによって異なる感受性に左右さ

れる点である。規制値や基準値による評価はもちろん大切であるが、感覚公害としての本来の騒音の意味を忘れてはならない。どれだけ大きな音でもうるさくなければ騒音ではなく、ある人にとってその音がないのが望ましい音であればそれは騒音なのである。

参考文献

- 1) 社団法人日本環境測定分析協会 環境計量士への近道(下)第5版 丸善株式会社出版事業部

- 2) 社団法人日本環境測定分析協会 騒音レベル測定マニュアル第2版 丸善株式会社出版事業部

- 3) 社団法人日本環境測定分析協会 環境と測定技術Vol31,No.5,2004「音のあれこれ…そんなこと(1)」第一法規株式会社

- 4) 安全工学協会 安全工学講座9騒音・振動 海文堂出版株式会社

- 5) 社団法人日本環境測定分析協会 環境と測定技術Vol31,No.3,2004「音・騒音面白学問Q・A集(8)(9)」第一法規株式会社

* 技術部試験一課 グループ長補

高速液体クロマトグラフィーの豆知識

今井 尚洋*

1. 総論

クロマトグラフィーの歴史は、アメリカの化学者D.T.Dayにより幕を開けられた。D.T.Dayはフーラー土(主としてアルミノケイ酸塩から成る粘土)を用いて石油の成分分離を試み、1897年に報告した。1906年、植物学者のM.S.Tswettが炭酸カルシウムを詰めたガラス管で葉緑素を分離し、その手法を「クロマトグラフィー」と命名した。1941年A.J.P.Martinはシリカゲル分配クロマトグラフィーを、G.E.Boydはイオン交換クロマトグラフィーを開発し、ともにノーベル賞を受賞した。

1969年Du Pont社のJ.J.Kirklandらにより、耐圧性のある表面多孔性充填剤が開発された。この充填剤と高压送液ポンプ組み合わせ、今の高速液体クロマトグラフィー(High performance liquid chromatography:HPLC)の形をとるようになった。余談だが、HPLCの和訳に違和感を感じないだろうか。HPLCを直訳すると“高性能液体クロマトグラフィー”となるはずだが、開発当初「安定したクロマトグラムを短時間で測定できる」ことから“High speed liquid chromatography:HSLC”と呼ばれた名残と考えられる。

1970年頃に装置が市販されるようになってから現在に至るまで、送液ポンプ、分離カラム、検出器に加え演算機の発展によりHPLCは分離検出技術として広範囲の分野で応用されるようになった。原理的には、分離カラム、溶離液及び検出器の組み合わせにより、溶媒に可溶な全ての化学物質を測定できる。現段階でHPLCの技術的な発展は一旦終息しているように感じられるが、GCやGC/MSに比べ対象物質の範囲が広いため今後更なる発展の可能性を持っていると考えられる。

2. 分離の原理

高速液体クロマトグラフは図1に示すように幾つかの部品で構成されている。送液ポンプより送られる溶離液に試料溶液を注入し、分離カラムで試料中の溶質成分が分離される。分離された溶質成分の情報は、検出器で電気信号に変換される。

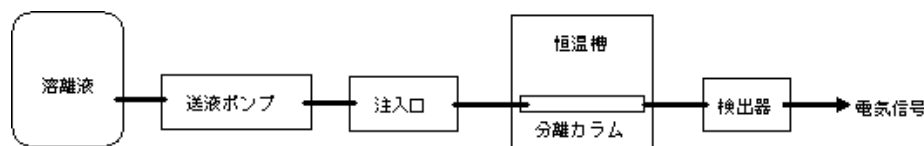


図1 高速液体クロマトグラフの構成

分離カラム内には充填剤と呼ばれる微粒子が詰められている。溶質成分は溶離液とともにその微粒子の隙間を流れ、分離カラムを通過する間に成分分離する。充填剤(表面)を固定相、溶離液を移動相といい、固定相と移動相と溶質成分との三つ巴の相性が分離の原理と考えられる。

2-1 分配クロマトグラフィー

固定相表面と移動相との分配平衡による分離機構を分配クロマトグラフィーと呼び、移動層に対する分配係数が大きい溶質から先に検出される。炭化水素鎖をシリカゲル表面に化学修飾した固定相を用いる方法が最も一般的で利用範囲も広い。特にオクタデシルシロキサン(通称ODS)でシリカゲルを修飾したものは、典型的な分配クロマトグラフィーとして代表される。この場合、ほぼ無極性の固定相に対しメタノール/水やアセトニトリル/水などの固定相よりも極性の高い移動相を用いるため、逆相クロマトグラフィーとも呼ばれる。

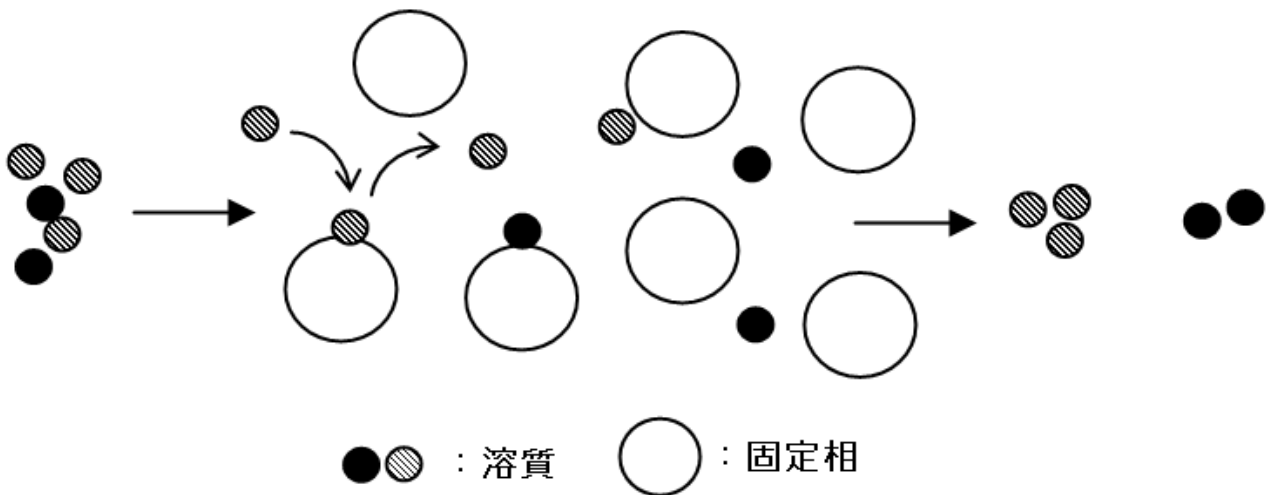


図2 分配クロマトグラフィーの模式図

2-2 サイズ排除クロマトグラフィー

ゲル浸透クロマトグラフィー、分子ふるいクロマトグラフィーとも呼ばれる。特に前者の略称GPCは、かつて、この原理に基づく分離方法の最も一般的な名称だった。現在は分子の排除体積を分離の原理として利用していることからSEC (Size exclusion chromatography)と呼ばれている。分子量測定に使われることが多いが、あくまで分子の“大きさ”で分離し、“重さ”ではないことに注意したい。例えば、ハロゲン化炭化水素と脂肪族炭化水素、或いは、芳香化合物族と脂肪族化合物では、仮に分子量が同じと仮定した場合、分子の大きさについてはハロゲン化炭化水素<脂肪族炭化水素、芳香族化合物<脂肪族化合物となる。最近では、この特性を利用しPCBやダイオキシン類を油脂と分離する手法が報告されている。

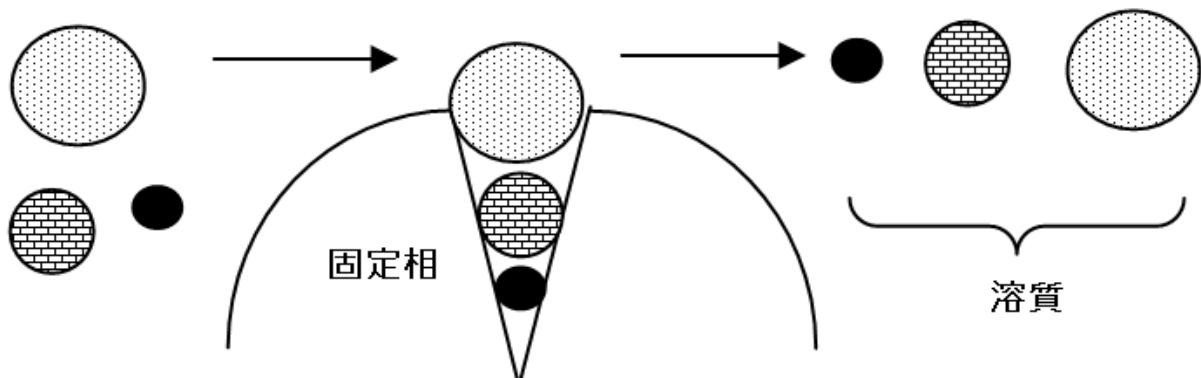


図3 サイズ排除クロマトグラフィーの模式図

2. 3. イオン交換クロマトグラフィー

いわゆるイオン交換樹脂を固定相として用い、無機イオンの分離に適している。イオン交換樹脂に固定されているイオンと反対の電荷をもつ成分を分離する。一般的に電離度の小さい分子が先に出現するが、電荷やイオンの大きさなどによっても保持時間は決まる。この分離手法を用いた装置をイオンクロマトグラフと区別されることがあるが、ここではHPLCの一種と位置付けることとする。

3. 検出器

3-1 紫外・可視吸光度検出器

一般的にはUV検出器と呼ばれ、重水素(D2)とタングステン(W)ランプにより180~700nm間の波長を設定することができる。従って、芳香族等のUV吸収のある化合物の測定に適している。分配クロマトグラフィーやサイズ排除クロマトグラフィーと組み合わせて使われる場合が多く、多種ある検出器の中で最も古典的で最も汎用的な検出器と言える。

3-2 多波長検出器

V検出器が一波長の測定に限られていたのに対し、この検出器は多波長を同時測定できる。マルチチャンネル検出器とも呼ばれる。古くはUV検出器のグレーティングを駆動し機械的に波長をスキャンする手法が取られたが、波長測定のための機械的な誤差やグレーティング駆動時の振動等に問題があった。今日では、測光デバイスと

してホトダイオードを多数並べたイメージセンサー(ホトダイオードアレー)が採用されている。そのため、この検出器は一般的にダイオードアレー検出器と呼ばれる。UVスペクトルを測定しながらクロマトグラムを描けるため、測定に適した波長の選定や出現したピークの検定を行うことができる。また、現行のダイオードアレー検出器はUV検出器と同等の感度を有する。

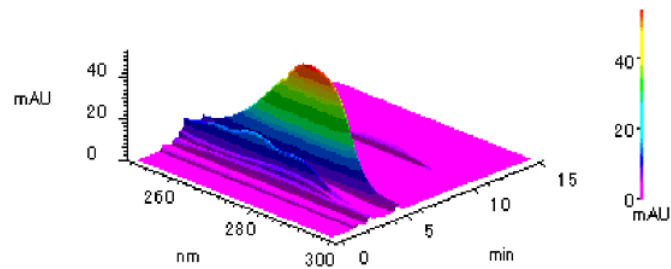


図4 多波長検出器を用いたクロマトグラム

3-3 蛍光検出器

紫外線を吸収してより長い波長の光を発することを蛍光と言い、その性質を持つ物質を蛍光物質と呼ぶ。励起光(吸収する光)と放射光(発する光)とを設定し、放射光を測定するのが蛍光検出器である。UV検出器は光度の減少量を測定するのに対し、蛍光検出器は発光光度の増加量を測定するという大きな原理的違いがある。理論的には、移動相に蛍光物質が含まれていない場合、完全な暗をバックグラウンドとして発光を測定することになる。そのため、測定条件がよければUV検出器の約100倍の感度を持つと言われている。また、UV検出器は吸収波長を設定するのに対し、蛍光検出では励起波長と放射波長の2つを設定して測定するため、対象物質に対する選択性も高い。蛍光性を持たない成分の場合は、誘導体化により蛍光性を付加し測定することもできる。

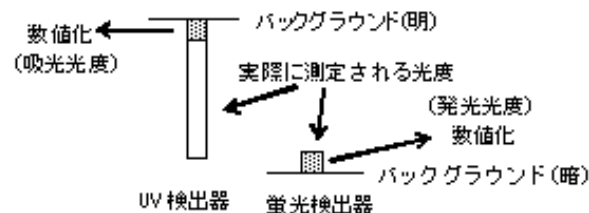


図5 UV検出器と蛍光検出器の検出原理モデル

3-4 電導度検出器

電気伝導度を測定する検出器で、基本的にはイオン交換クロマトグラフィーに用いられる。測定成分を含む移動相が検出器に入る前に、測定成分と反対の電荷を持つ成分を除き感度を上げることができる。電導度は温度や共存物質、移動相中のイオン等により大きく変化するため、測定時に注意が必要となる。

4. HPLCの今後

今回紹介した以外にも興味深い技術がある。分離の原理ではキャピラリー電気泳動、検出器では質量分析計などが挙げられる。キャピラリー電気泳動は最も分離能が高い方法で、質量分析計は最も高感度な検出器とされている。

分離液体クロマトグラフィーが産声をあげてから約110年、より高分離能、より高感度を目指して進歩してきた。今後予想される進歩として、分離カラムの充填剤の極微粒子化、送液ポンプの高圧化と脈動の低減、検出器の高感度化、分離カラムや検出器を含むHPLCのマイクロ化などがある。その結果、例えば「汗一滴で即座に健康診断」、「日本酒の発酵度合いを飲まずに瞬間判定」、そんなことが出来るようになるかもしれない。

参考文献

日本分析化学会関東支部編 高速液体クロマトグラフィーハンドブック 2000年 丸善株式会社

* 技術部試験一課 係長