

連載企画—音響学の温故知新—

# 音知覚現象分析における多次元尺度法の応用\*

大串 健吾\*\*

43.66.Lj

多次元尺度法 (MultiDimensional Scaling; 以下, MDS と略す) とは, 対象間の何等かの非類似度行列から対象の地図を作成する手法である。最も古典的で代表的な方法は Torgerson (1952) の方法であると考えられるが, この方法は計量的 MDS であり, 対象間の非類似度が距離の公理を満たしていなければならなかった。心理実験データから得られた対象間の非類似度は, 距離の公理を満たすかどうかははっきりしない場合が多く, それを補正するための労力が大きく, 計量的 MDS は使用しづらかった。ところが, Kruskal (1964) によって非計量的 MDS が発表されてから, 非類似度関係が順序尺度であればよくなり, 直接心理実験から得られた対象間の非類似度あるいは実験データを変換して得られる非類似度を非計量的 MDS で分析し, 対象間の心理的地図が作成できるようになった。また, 追加実験を行い, その結果を使った重回帰分析を併用することにより, 心理的地図の上に方向の意味づけが可能になった (大串, 画質と音質の評価技術, 昭晃堂, 1991)。

私は 1960 年代の終わり頃から NHK 基礎研で音知覚現象とその生理学的起源に関する研究に従事してきた。そのころ興味を惹かれた研究手法として, オランダの Plomp らの行っていた音知覚現象を多次元的に分析する手法があった。音のある側面に着目してその性格の 1 次元尺度化も重要な課題ではあるが, 音知覚現象のミステリーにもっと強く迫りたいという気持ちも私には強かった。Plomp らは, 楽器音の音色の違いや調波複合音の音色に及ぼす振幅効果と位相効果を MDS により分析し, それらの違いを地図のように視覚的に把握できるような形で表示していた。ブダペストでの第 7 回 ICA (1971) に出席したときに発表さ

れた Plomp らの複合音の高さと音色についての MDS を使った研究には非常に興味を抱いた。その学会で Plomp といろいろと話し合う機会があり, 力士のような大きな体格でよくこんな緻密な研究をやるものだと感心しながら, 音知覚研究面で大きな刺激を受けた。その後 MDS を用いた Miller & Carterette (JASA, 1975) の楽器音を模擬した合成音の音色に及ぼす物理的要因の研究が発表され, この研究手法にも非常に興味を感じた。当時 UCLA の教授であった Carterette とはこの研究についての討論から親しくなり, 後に第 1 回音楽知覚認知国際会議 (京都, 1989) の開催に協力し合うことになった。

その頃, 統計数理研究所で多次元データ解析の講習があり, 私もそれを受講し Kruskal の MDS を使った研究を始めることにした。まず最初は音の高さの問題から始めた。音の高さは, JIS によれば, 「聴覚にかかわる音の属性の一つで, 低から高に至る尺度上に配列される」と定義されている。純音や通常の調波複合音ならば音の高さは基本周波数の低-高の順に並び, 1 次元的な属性だと見做せる。しかし, Shepard (JASA, 1964) が発表した 10 のシェパードトーンは, スペクトル包絡が同じで隣接部分音の周波数が 1 オクターブ離れており, これらの 10 の複合音を基本周波数の順に聴き, また最初の音に戻り繰り返して聴くと, いつまでも高さが上昇し続ける複合音系列 (無限音階) となる。これらの事実は, JIS の高さの定義はすべての音系列に対しては成り立たない, つまり各複合音は 1 次元尺度上では表現できず, 円形になりそうだということを示唆している。このことを心理実験データから実証したいと考えた。まず 10 種の複合音の高さの 1 対比較を行い, 判断度数表が得られた。1 対比較表から直接多次元尺度化する方法もあったがかなり煩雑で簡単な方法を模索していたら, 1 対比較表から各複合音間のユーク

\* Application of multidimensional scaling to perceptual analysis of sounds.

\*\* Kengo Ohgushi

リッド距離を計算し、それを非類似度とすればよいことに気づいた。その結果を MDS 分析すると予想どおり円形のトーンクロマを示す布置が得られ、また聴取者によりトーンクロマとトーンハイトの知覚にかなり大きな個人差があることが示された (通信学会誌, 1984)。その後、スペクトルの形状を変えた複合音の基本周波数を 3 オクターブの範囲で変化させた複合音群の高さの 1 対比較実験からは 3 次元の布置が得られた (JASA, 1987)。その他、様々な分野の研究に MDS を使用したのでそれらの中から幾つかの例を簡単に紹介する。

◎複合音の音色：基本周波数が等しい調波複合音は振幅スペクトルが変わっても一般的には高さは不変であるが音色は変化する。複合音が 3 成分の場合について、心理実験データから MDS 地図を作成した。その結果、主要次元として 1 軸は最低周波数、2 軸は最高周波数に対応し、中間の周波数成分の寄与度は低いことが示された。また、MDS 地図を回転すると、1 軸はスペクトルの重心、2 軸は成分の間隔に対応することが明らかになった (音響学会誌, 1980)。

◎ステレオスピーカ再生と音像：聴取者の前方に置かれたステレオスピーカから再生される白色雑音対のチャンネル間相関係数を  $-1$  から  $+1$  までの 7 種類の音源について 1 対比較による 5 段階の類似性判断実験を行った。その結果を MDS で分析したところ、きれいな 2 次元地図が得られ、相関係数の絶対値が小さいほど広がり感が大きく、また相関係数そのもの大きさが距離感を支配していることが明らかになった (JASA, 1983)。また、この結果は、距離感制御装置や遠近感制御装置などとして実用化され NHK のドラマ作成などに使用された (通信学会誌, 1984)。

◎ハイビジョン用ステレオ：ハイビジョン (アナログ) のステレオ方式の決定に際し、2~4 チャンネルの様々な再生方式による聴取印象を心理実験により調べたところ、臨場感の評価については、

4 チャンネルが明らかに優れていたが、4 チャンネルシステムの中では、前方面面にスピーカを置く方式が、映像と音像の方向の一致性において最も優れており、前方 3 チャンネル+後方 1 チャンネルの 4 チャンネルステレオ (3-1 方式) が日本方式となった (IEEE Trans. BC, 1987; 画像情報工学と放送技術, 1988)。現在ではそれが発展し、前方 3 チャンネル+後方 2 チャンネル+低音スピーカのいわゆる 5.1 サラウンド方式がデジタルハイビジョンの標準方式となっている。

◎演奏の意図の伝達における視覚と聴覚の相互作用：プロの打楽器奏者が同一曲を様々な意図で演奏したとき、また聴取者が VTR で演奏音だけでなく演奏状況を同時に見たときにどのように印象が変化するかを、MDS 及び重回帰分析を用いて調べた。その結果、演奏の聴取印象に視覚の影響が大きく関わっていることなど、様々な知見を得ることができた (音響学会誌, 1994)。

その他に、「楽器音の音色のイメージの視覚的表現」(サイコロジー, 1980)、「アナウンサ音声の音響的特徴」(Acustica, 1984)、「演奏者の意図の伝達」(Music Perception, 1987)、「ラヴェルのボレロの知覚的分析」(Music Perception, 1991)、「ピアノ演奏の聴取印象」(音響学会誌, 1996)、「旋律の類似性判断」(音楽知覚認知研究, 1999) などの研究に MDS を用い、様々な知覚現象の多次元性に関して興味ある結果を得た。

これらの研究は多くの共同研究者の協力のもとで行われたものである。最後に共同研究者であった方々に対して深く謝意を表す。

#### 大串 健吾

昭和 13 年生。昭和 36 年京都大学工学部電気工学科卒。同年 NHK 入局。松山中央放送局、放送科学基礎研究所視聴科学研究室、放送技術研究所音響聴覚研究部勤務を経て、昭和 63 年、京都市立芸術大学教授 (音楽学部)。平成 16 年定年退職、同年名誉教授。工学博士 (京都大学)、第 1 級無線技術士。平成 21 年音響学会功績賞受賞。