

# 楽曲の音量変化と人間の聴覚特性を利用した 平均音量推定手法の提案

井上寛生<sup>†1</sup> 速水治夫<sup>†2</sup>

様々な楽曲は曲ごとに音量が違うため、音楽鑑賞時に曲が切り替わるたびに聴取者が自ら音量を調節する必要がある。この手間を解消するために音量を自動調節する機能が必要となるが、その際に曲が持つ音量指標となる平均音量が必要となる。本研究では曲中の音量変化と、人間の感じる音の大きさであるラウドネスに着目し、平均音量推定のための新たな仕組みを提案する。推定した平均音量から調節すべき音量を提示することにより、音楽鑑賞時における音量調節の手間の軽減や、曲作りにおけるマスタリング作業の支援を期待できる。

## Proposal of Average Volume Estimation Method Using Volume Change and Psychoacoustic Principles

Hiroiku Inoue<sup>†1</sup> Haruo Hayami<sup>†2</sup>

In this research I focus on the change of volume in music and the loudness in human feeling, so I propose new algorithm of estimation of volume average.

The listener need to adjust the volume each time when they change the music at listening, because various music has its own different volume. Function of automatic volume adjustment is need to reduce this trouble and then we need average value of its music. Reduction of trouble in volume adjustment, and supporting of mastering in the music composition can be expected by indication of volume adjustment from estimated volume average.

### 1. はじめに

近年、楽曲制作においてレコーディングやミキシングといった作業がデジタル化され、アナログによる作業より高度な編集ができるようになり、作られる曲の音圧レベルやジャンルは多岐に渡るようになった。音圧レベルとは、本来音の圧力の大きさを表すが、音楽制作の場では曲の音量の変化量として用いることがある。図1の左に示すような、曲中の音量変化の多い曲をダイナミックレンジの大きい曲または音圧レベルが低い曲と呼び、右に示す終始音量の変化が少ない曲をダイナミックレンジの小さい曲または音圧レベルの高い曲と呼ぶ。

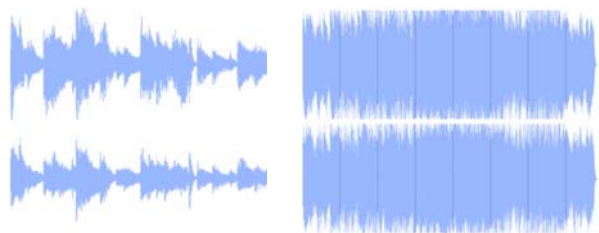


図1 音圧レベルの例  
Figure 1 Loudness level example

完成した曲はアルバムにする際、マスタリングと呼ばれる作業によってそれぞれの曲の音圧レベルを上げつつ揃える仕上げ作業を行うが、音圧レベルは規格によって定めら

れておらず、異なるジャンルやアーティストの曲によって様々な音圧レベルの曲が存在している。これにより、音楽鑑賞時に音圧レベルの低い曲から高い曲へ切り替わるといったときに、聴取者が自ら適切な音量へ調節しなければならない。

音量調節の手間を解消するために、近年のオーディオプレーヤーには自動で音量を調節する機能が備わっているものがある。この自動調節機能は、各曲の音量指標となる平均音量を計算し、それぞれの平均音量が同じレベルになるように音量を調節することで、曲の音量を平滑化している。本研究では音楽鑑賞において、音量の自動調節に必要な平均音量を計算する際に、曲中の音量変化と人間の感じる音の大きさを表すラウドネスを考慮したより精度の高い平均音量を推定する手法を提案する。

### 2. 音量の平滑化手法

曲の音量を揃えるには、マキシマイザと呼ばれるエフェクトを利用する方法や、曲の平均音量を計算しそれぞれの平均音量が同じレベルになるように調節する方法などが存在するため、それぞれの仕組みや特徴について説明し、音量についての知識について述べる。

#### 2.1 マキシマイザ

マキシマイザは曲中の音量の小さい部分のみを大きくすることで、全体の音量を底上げする効果をもつエフェクトである。マキシマイザの利用には、あらかじめ曲のデータ

<sup>†1,2</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology

をすべて知っておく必要がなく、その瞬間に流れてきた音に対してエフェクトを適用することができるため、ラジオや生放送のようにリアルタイムに効果を得たい場合にも有効である。

しかし、音量の小さい部分と大きい部分の音量差が少なくなってしまうため、抑揚といった曲の特徴を損なってしまうなど、アーティストが意図して作った曲のイメージを壊してしまうことがある。マキシマイザにはエフェクトを適用する音量の閾値や効果時間といったパラメータが多数存在するため、すべての曲に最適な設定をすることができない。また、曲に対して不適切なマキシマイザを適用すると音量が不自然に変化し、ポンピングと呼ばれる不快な音量のうねりを生み出してしまうことがある。

## 2.2 曲の平均音量による調節

あらかじめ定められた音量に、各曲の平均音量を揃えることで平滑化する手法である。各曲の開始から終了までの音量を平均することで、それぞれの曲の指標となる平均音量を求める。求めた平均音量とあらかじめ定めた音量の差を各曲に適用することですべての音量を平滑化する。平均音量の計算には RMS(Root Mean Square)や LUFs(Loudness Unit Full Scale)/LKFS(Loudness K-weighted related to Full Scale) を利用した方法がある。

## 2.3 RMS

RMS は曲の各サンプリング点の音量を二乗平均平方根により求め、平均音量とする手法である。この手法による平滑化の効果は“自動音量調節が可能なオーディオプレイヤーの提案”<sup>1)</sup>の研究により確認済みである。ただしこの手法では高音成分が多く含まれる曲と低音成分が多く含まれる曲の比較のように、周波数成分の違いによっては正しく平滑化できないことがある。これは人間の聴覚特性により周波数成分ごとに感じる音量感が異なるためである。

## 2.4 LUFs/LKFS

LUFs/LKFS は人間の感じる音の大きさを表す音量感であるラウドネスを考慮した単位でありどちらも同義である。

図 2 に示す等ラウドネス曲線<sup>a</sup>は、音の周波数を変化させたときに等しいラウドネスになる音の大きさを表したものである。

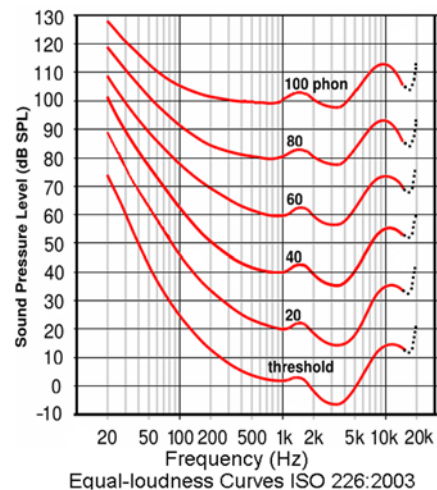


図 2 等ラウドネス曲線

Figure 2 Normal equal-loudness-level contours

等ラウドネス曲線から分かるように、人間の感じる音量感は周波数帯によって異なるため、LUFs/LKFS では K-Weighting と呼ばれる 2 つのフィルタを組み合わせることで音量に重み付けを行った後、RMS により平均音量を計算する。

しかし、LUFs/LKFS を用いてもオーケストラのような音量の小さい区間が長く続き、その後音量の大きい区間が続くような曲と、終始音量変化の少ない曲では正しく平滑化できないことがある。これはオーケストラのような音圧レベルの低い曲の平均音量を低く評価し、音量変化の少ない音圧レベルの高い曲の平均音量を高く評価してしまうからである。これらの曲を連続再生すると、オーケストラの最も音量が大きい部分で聴取者が他の曲で丁度良いと思った音量より大きな音で再生されることになる。これら LUFs/LKFS において音量変化の多い曲と少ない曲を正しく平滑化できない原因は、曲全体の平均をとってしまうことにある。

テレビ放送やコンシューマゲームでは音量変化の違いに対応するため、コンテンツの音量について Programme Loudness, Loudness Range, Maximum True Peak Level の 3 つのパラメータを定義し規格化することで、コンテンツを規格通りに作るように定められている。Programme Loudness はコンテンツ全体の長期的な音量の計測結果を表し、本研究における平均音量に相当する。日本では Programme Loudness 値は -24.0LKFS、ヨーロッパでは -23.0LUFs に定められている。Loudness Range はコンテンツ内のラウドネス値の分布であり、コンテンツの音量変化すなわちダイナミックレンジがどの程度かを表す。この Loudness Range 値はコンテンツによって様々であり、特定の値になるように定められていない。Maximum True Peak Level はコンテンツ内

a ISO 226:2003 Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours

の最も大きな音量を表す。これはコンテンツ内で唐突に音量の大きな部分が存在する場合、機材への信号の過大入力や、聴取者が突然の音量変化によって不快感を覚えることを防止するためである。これらのパラメータは CD などのオーディオでは規格化がされていない。

### 2.5 表現としての音圧レベル

ダイナミックレンジの大きい音圧レベルの低い曲は、本来コンサートなどの生演奏に近い状態であるが、オーディオプレイヤーの普及に伴い再生環境が変化し、周囲の雑音によって小さい音が聴こえづらくなる環境での再生が増加したため、小さい音を大きくし音圧レベルを高くすることで聴きやすい音楽へと変化した。また、曲の音圧レベルを高くすると迫力があるように感じるため、作曲において表現の一つとして調整されるようになった。音量感があると他の曲より目立つため、より高い音圧レベルになるようにコンテンツを作り、後に音圧戦争(Loudness War)と呼ばれる状態にまで発展したこともある。

## 3. 提案手法と実験

本研究では、マキシマイザの利用や音量をリアルタイムに調節することはダイナミックレンジを変化させることになり、アーティストが意図して作った曲のイメージを壊してしまうため、再生する曲が切り替わる度に音量の調節を行う平均音量による調節方法を取り、その際必要となる平均音量の計算手法について考える。

### 3.1 曲中の特定範囲の平均音量

LUF/S/LKFS と RMS による平均音量の推定では、曲の音量変化に対応できない。本研究報告書執筆時では範囲を決める手段について考えている段階であり、具体的な方法は決まっていないが、音量変化の多い曲に対し平均音量を低く評価してしまう部分を排除するため、人が音量感を得るのにかかる時間である 400 ミリ秒を枠とした移動平均を求め、得られた結果からある範囲の平均音量を計算する方法を考えている。図 3 は移動平均による結果をグラフにしたもので、黒い実線がその瞬間の音量を示すピークレベルであり、赤い実線が 400 ミリ秒の移動平均を示したものである。グラフ内の赤く塗られた領域を曲がもつ平均音量として評価する。範囲は Maximum True Peak Level にならない過大入力や人が不快と感じる大きな音を排除するため、得られた移動平均の音量の大きい部分とする。

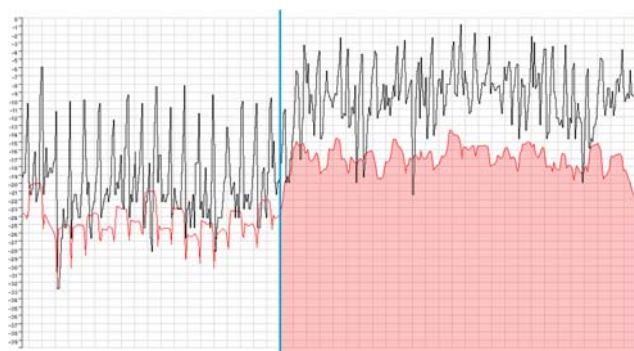


図 3 移動平均による結果

Figure 3 Simple moving average plot

### 3.2 実験方法

実験はいくつかの曲を用意し、実験協力者に聴いてもらい感じた音量をグラフにプロットした後、各曲に自動調節を施したものを同様にグラフにすることで、自動調節による結果が調節前よりも相対的に揃っているかを確認する。自動調節は提案手法によって求められた平均音量がすべて同じ音量となるように調節し、平均音量が最も大きな曲に他の曲を合わせるようにする。また、同様に LUF/S/LKFS のみよる結果との比較も行い提案手法の特徴を明確にする。

## 4. おわりに

本研究では、音量の自動調節の際に必要な平均音量の推定手法について、人間の聴覚特性であるラウドネスと曲の音量変化に着目した平均音量の推定手法を提案し、既存の手法の特徴から、より精度の高い平均音量の推定に必要な内容について述べた。今後は曲中の特定範囲を定めるための方法を考え、実験を行い提案手法と既存手法の比較や評価を行い、さらなる精度の向上を図る予定である。

### 参考文献

- 1) 井上寛生, 黒川真毅, 速水治夫, 自動音量調節が可能なオーディオプレイヤーの提案, DICOM2014, pp. 2035 – 2045, (2014)
- 2) ISO 226:2003 Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours  
[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=34222](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=34222)
- 3) Loudness Metering White Paper  
<http://www.otaritec.co.jp/products/lawo/products/mixing-consoles/loudness-metering.html>
- 4) ラウドネス管理してますか? 【KawazAdventCalendar 12/6】  
[http://www.kawaz.org/blogs/shinka\\_cb/2013/12/07/548/](http://www.kawaz.org/blogs/shinka_cb/2013/12/07/548/)
- 5) ラウドネスメーター～放送基準の音の管理  
<http://blog.goo.ne.jp/3rdeyestudios/e/a422d920890ffc68c88fcc0b2873dfbd>