

# TECH TALK

## 箱の中でのミキシング

### Pro Tools のミックス・バスに関する神話と伝説の考察

By Stan Cotey

#### 序文

Pro Tools のミキシングに関する記事へようこそ！ この原稿は Pro Tools の基本的なシグナル・パスやミキサー・プラグインの動作、またシグナルがどこからどこへ、どんな形で移動するかを紹介し、より良きエンジニアやミキサーへなるための情報を提供することを目的としています。Pro Toolsにおける“数学”について触れ(それほど難しい話にはならないので、ご心配なく!)、またサミング・バスに関する神話や、デジタル・オーディオの一般的な情報についても紹介していきます。

Pro Tools は包括的なオールインワンのレコーディング、編集、プロセッシング及びミキシング環境であり、業界内のあらゆる場所に存在しています。しかし、これほど Pro Tools が受け入れられる過程で、本質的なオーディオ・クオリティを維持するためには全てのオーディオ機器で基礎となるものを、見失ってしまっているでしょうか？

オーディオ・インターフェースのパフォーマンスを測定するのは簡単ですし、リスニング・テストならもっと簡単です。また、オーディオ・ワークステーションの基本的な入力 - 出力オーディオ・パスを測定したり、また注意深くコントロールされたリスニング・テストを行うことも、同様に簡単だと言えます。こうしたことは、ワークステーションを信頼するための簡単な作業となります。

しかしワークステーションが、ごく少数から 100 を超える間のいずれかの数のオーディオ・チャンネルをミックスする際に音質的に何が起こるかを測定するのは、難しいこととなります。最終結果を確認するためにリスニング・テストを行うのであれば簡単ですし、実際に我々は著名なプロデューサーやエンジニアをファシリティに招き、こうしたテストを何度か行っています。その結果は非常に明確なものでした。モダンなアナログ & デジタル・コンソールを使用して正しく実行されたテストでは(原稿の最後にある注 1 を参照)、外部ミキサーをサミングしたものと Pro Tools から出力したもののどちらを聞いているのかを、安定して聞き分けられた人はいなかったのです。

Pro Tools をマルチトラック・レコーダーとして使用して外部コンソールへ接続し、そこでオーディオを最終出力にミックスするという、一部では“標準的”と呼ばれる使用方法があります。この使用方法自体に問題はありませし、コンソールに搭載されている EQ やダイナミクスをミックス内で使用できますが、その一方でオーディオ・データをミキシング・データヘタイトに統合することや、ミキサー設定やチャンネル名、エフェクト・プロセッシングと設定、そしてオートメーションを単一のファイル・フォーマットにして、それをオーディオ・データとともにポータブルなものとするという、Pro Tools の作業におけるパワフルな面を見過ごしていることにもなります。

では、Pro Tools 領域、別名“箱の中”で完全に作業する場合は、サウンド・クオリティに妥協が必要でしょうか？ この原稿では Pro Tools ミキサーの動作について調べ、またミキシングを中心としたアナログ及びデジタル・レコーディングの一般的な技術情報を提供することで、幅広く信じられている神話を、できる限り明確なものにしていきましょう。

## Pro Tools のミキシングと高品質オーディオ：奇妙な関係？

シリアスな作業を行う際に、この様々な顔を持つシステムで唯一、そして最も重要なのがサウンド・クオリティです。各トラック単位でレコーディングされたオーディオのクオリティに関しては、その大部分を占めるのがアナログ-to-デジタル・コンバーターのクオリティです。コンバーターで直接計測されるワード・クロックのクオリティも影響を与えますが、それは今回の原稿の範囲を超えるものですし、このトピックは非常に複雑なものであるため、近い将来に別の原稿内で調べることにしましょう。

オーディオの再生に関しては、それ以外にも考慮すべきことがあります。まず、デジタル-to-アナログ・コンバーターとクロック・ソースがサウンド・クオリティで重要な役割を果たしますが、プロセッシングやミキシングも同様に影響を与えます。コンバーターのサウンドには満足しているとして、オーディオが Pro Tools 内に入ったときに何が起こるのかを調べていきましょう。

では、まず入力から最終出力までが1つの 24-bit オーディオ・パスとなっているシステムの能力を調べてみましょう。適切にデザインされた 24-bit オーディオ・システムは、140 dB もしくはそれ以上の SN 比となるデジタル・オーディオ・パフォーマンスを実現し、これはパフォーマンスに関して言えば、恐らくは現在発売されているどのコンバーターよりもずっと優れたものとなります。

ビットと S/N 比の関連を簡単に調べると、非デザイナー・オーディオ・システムにおいては、S/N 比は  $\text{ビット} \times 6.02 + 1.76$  dB となります。例えば 24-bit の非デザイナー・システムにおける S/N 比の理論値は 146 dB となります。実際のところ、1-bit が 6 dB のシグナルにほぼ等しいことは広く知られています。

シグナル・レベルが下がると、歪み量は増加します。シグナル・レベルが非常に低い場合には、その歪みが明白なものとなります。歪みを減少させるため、“ディザリング”(誤差拡散)と呼ばれるプロセスが使用される場合があります、これは低いビットを通常よりアクティブにします。この効果としては、より多くのオーディオ情報が保持される、あるいはノイズ・フロア内にエンコードされることとなります。この効果については、後ほどもう少し詳しく見て行きましょう。

Triangular デザイナー(TPDF: *Triangular Probability Distribution Function*/三角確率分布機能)を使用したシステムでは、S/N 比は  $\text{ビット数} \times 6.02 - 3$  dB となります。24-bit の TPDF デザイナー・システムの場合、S/N 比は 141.5 dB です。デザイナーを使用した場合とそうでない場合には 4.5 dB の違いがあることに注意してください。これについては、後ほどさらに説明します。

デジタル・システムにおける歪みについても考慮する価値があります。非デザイナー・システムでは、シグナル・レベルが下がると、オーディオはより歪むこととなります。そのため、透明なオーディオにおいては非常に重要なローレベルの詳細な情報が、歪みによって失われたり、悪化したり、あるいはオーバーランされることとなります。初期の CD で起こったこうした問題は、デジタル・オーディオがその初期には“耳障り”だという評判を得たことにも関連しており、特に広いダイナミック・レンジを持ったマテリアルではシグナル・レベルの平均がずっと低くなるため顕著でした。

適切にデザイナーが施されたシステムでは、こうした歪みは完全に除去され、その副産物として通常のノイズ・フロアが上昇します。Triangular デザイナーを用いた場合には、これが先ほど述べた 4.5 dB 分のノイズ・フロアの上昇となるのです。問題になっているノベルが 140 dB より下のレベルなので、これは決して悪い取り引きではありません。

もちろん現在のコンバーター技術からしても、こうした数値を扱うためにはまだ進化が必要であり、最高クオリティのコンバーターでも実現しているダイナミック・レンジは約120 dBです。24-bitのオーディオ・システムで生成されるノイズや歪みの不自然な要素の多くは、最高クオリティのコンバーターのノイズ・フロアよりずっと低いことを心に留めておいてください。

では、24-bitで十分なのでしょうか？ それは状況によります。1チャンネルのオーディオをキャプチャーして再生し、そのチャンネルの必要とするダイナミック・レンジが140 dBより小さければ、答えは恐らくイエスです。しかし、幾つかのチャンネルをミキシングしたり、その中の幾つかのチャンネルをミックス・バスに到達する前に大きくアッテネートする場合はどうでしょう？

サミング・バスがユニティ・ゲインで動作する大抵のモダンなミキサー・トポロジーでは、これが問題となります。全チャンネルに全く関連性がない場合に全チャンネルを一緒に加えると、その結果としてチャンネルが(1から2、2から4、というように)倍になる毎に、オーディオ・アウトプット・レベルは3 dB増加します。チャンネルが完全な関連性を持っている場合(つまり同じ信号)、インプット数が倍になる毎にレベルは6 dB増加することになります。マルチマイクによるオーケストラやドラム・キット、ステレオ・ピアノなど実際のシグナルは、通常はこの両者の間のどこかになります。

64チャンネル・ミキサーを例に採ってみます。関連性の無い64インプットがユニティ・ゲインでサミングされると、アウトプット・レベルは18 dB増加します。24-bitミックス・バスがクリップしないようにするには、各フェーダーを18 dB分下げて補正する必要があります。既にご存知の通り、レベルを6.02 dB上下させることは1-bit分の上下に相当するので、こうしたゲイン変更の結果として、21-bitしか使っていないことになります。

この21-bitのシグナルは、ひどいサウンドでしょうか？ これも状況次第です。高品質なコンバーターのノイズ・フロアが-120 dBで、21-bitの非ディザード・シグナルのダイナミック・レンジは127.76 dBですから、そこで生成された不自然さのある程度の部分は、コンバーターのレンジより下になります。もちろん、実際にはそれほど簡単ではありません。例えば、強く歪んでいると、より聞こえやすくなります。また、多くのチャンネルを使い、その結果がサミングされると、やはり聞こえやすくなってしまいます。そして、ダイナミック・レンジが広い素材ほど、結果は悪いものになるのです。

以上のように、恐らく24-bitのミキシングでは十分でないのです。ではどれくらいあれば十分でしょう？ もっともっと、ずっと多くが必要です！

## ディザードと倍精度演算

オーディオ・チャンネルの数を倍にすると、レゾリューションを保持し、十分なヘッドルームを確保するには、さらにビットが必要なのはざっと読者は言うでしょう。128チャンネルのミキサーでは、アウトプットをクリップせずにローレベルの情報全てを保持するために、理論的には追加の7-bitが必要となります。フェーダーが0以上に上げられていない場合は(ほとんどの場合はそうです)、これでうまくいくでしょう。つまり、シグナルのロスやクリッピングを避けるには、24-bitバスは少なくとも32-bitへ拡張すべきだということです。

この場合には、ユニティ・ゲイン(または0)からチャンネル・フェーダーを下げた場合のことが考慮に入れられていません。ミックス・ボックスを上方向に拡張するだけでなく、フェーダーを下げた場合にもクオリティを保持するため、ボトムにもビットを追加する必要があります。

情報を失わずに、どれくらいフェーダーを下げたいかによって、ボトムへ追加すべきビット数が決まります。ミックス内ではフェーダーを-30 dB以下に下げることはまず無いので、ローレベルのレゾリューションを保持するために5-bitを追加すると、37-bitミキサーが必要ということになります。

さあ、これで恐らくは十分です。ここで紹介しておきたいのは、Pro Tools は 48-bit ミキシング・バスを採用しており、128 チャンネルを最大のゲインでサミングしてもクリッピングは全く発生せず、またたとえ全チャンネルのフェーダーを-80 dB 以下に下げても、ミックス内では 24-bit シグナルがキープされる、ということです。

Pro Tools TDM システムで使用されている DSP は、通常は 24-bit インプットになっています。では、48-bit シグナルはどうやって扱うのでしょうか？ その答えは非常にシンプルです。“倍精度 (Double Precision)”と呼ばれる手法を用いており、これは 48-bit シグナルを 2 つの 24-bit ワードへ分割して、別々に扱うというものです。この 24-bit DSP は 56-bit アキュムレーターを搭載しており、48-bit の結果を問題なく扱うことができます。難しいのは演算を行うことと、シグナルを伝送することです。

倍精度演算を行うには、プロセスにさらに多くの命令サイクルが必要となるため、システム全体で倍精度計算を行うことは無駄が多く、また非常に高価なものになってしまいます。そこで最良の方法と思われるのは、必要な場所でのみ倍精度計算を行い、システムのその他の部分では通常の 24-bit で 140 dB 以上のダイナミック・レンジを利用することです。

以下のダイアグラムで、Pro Tools が 48-bit ワードをどう扱っているかを詳しく説明しています。

**ダイアグラム A (クリックして表示)** は、48-bit ワードの配分を示しています。ローレベルの詳細な部分を保持するため、通常の 24-bit ワードの下にシリアスなダイナミック・レンジが用意されている点に注目してください。また、ミキサーの約 288 dB のダイナミック・レンジも注目に値します。チャンネル・フェーダーを下げてマスター・フェーダーを上げても、マスター・フェーダーを下げてチャンネル・フェーダーを上げても、アウトプット・シグナルで聞けるものに違いはありません。ミックス・バスに巨大なダイナミック・レンジがあるため、各チャンネルの全データが保持されるからです。前述したように、ミキサーにはフル・レベルで完全に関連を持った 128 チャンネルからのオーディオ・データをクリップ無しに保持できるだけの、十分なヘッドルームがあるのです (アウトプット DAC や AES/EBU ポート等がクリップしないようマスター・フェーダーを十分に下げている限り)。

**ダイアグラム B (クリックして表示)** は、マスター・フェーダーが 48-bit のレンジを効果的にスケール・アップ/ダウンする様子を大まかに示しています。セッション内でマスター・フェーダーが使用されていない場合、Pro Tools はその背後でマスター・フェーダーがユニティ・ゲインに設定されているように振る舞います。ディザー・ミキサー・プラグインにより、最終 24-bit アウトプット・シグナルを供給するために高品位なディザーが使用されます。

## ディザーの話題の続き

オーディオ・シグナルのビットを低減させるための一般的な方法には、単純なトランケート (切り捨て) と、ディザー後のトランケートの 2 種類があります。トランケートとは、先ほどの 48-bit を例に採ると、システムが下位 24-bit を切り捨て、上位の、つまり音量の大きい部分にはタッチしない方法です。

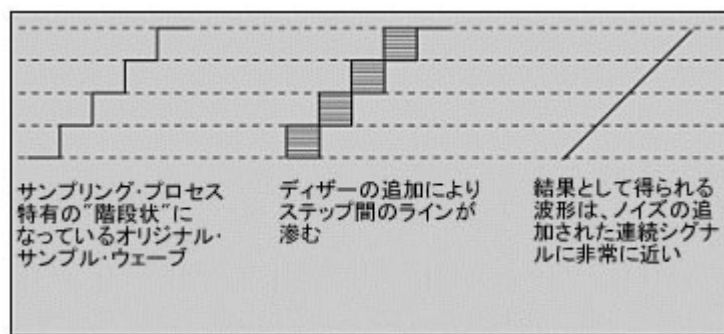
その結果、残されたシグナルには歪みが生まれ、これは“量子化エラー”とも呼ばれます。トランケートを行うと、シグナル・レベルの高い部分では、この“量子化エラー”はホワイト・ノイズに似ています。シグナル・レベルが下がると、ノイズはより相関性を持ち (シグナルと関連性を持ち)、結果として歪みが生成されます。24-bit システムの場合、こうした歪みは 24 番目のビット付近となり、つまりフルスケールから約 144 dB 下となります。

ディザーを追加すると、歪みにシグナルとの相関性が無くなり、除去されますが、代わりにノイズ・フロアがわずかに上昇します。このノイズは通常、抑制されていない歪みよりずっと大人しいものになります。

相関性の無いディザーを複数ステージでサミングすることの利点は、関連のある 2 ch のオーディオをサミングするとレベルは 6 dB 上がるのに対して、関連の無い 2 ch のノイズの場合は、ノイズは 3 dB しか増加しないことです。

ディザーには多くの種類があり、またそれぞれがプロセッサへかける負荷も異なります。風変わりなディザー・アルゴリズムの多くは、“ノイズシェイピング”されたディザーを生成します。ノイズシェイピングとは、ホワイト・ディザー・ノイズに EQ カーブを適用して、エネルギーの一部を人間の耳がそれほど敏感でない周波数帯へ移動させるプロセスです。こうすることで、歪みを減らすメリットは全くそのまま、ディザーが聴覚へ与える副作用を減らすことができるのです。

以下の図には、オーディオ・ウェーブフォームに対するディザー・プロセスの効果が示されています。最初の図はオリジナルのサンプル・シグナルです。このシグナルへディザーを追加することは、各ステップのスレッシュホールドを動かすこと、あるいは各量子化レベルを“動的”にすることです。ディザーを適切なレベルで使えば、量子化歪みは完全に除去されます。2 番目の図は、ディザーが適用された後で、量子化レベルが“動的”となっている様子を示しています。



結果として、シグナルは最初から量子化されていなかったようになりますが、ある程度のノイズ(これは図に含まれていません)は追加されます。ディザーに関して重要なのは、デジタル・メディアをずっとアナログ的なものにし、また非常にローレベルのアナログっぽいノイズフロアが存在するということです。ディザーを適切に使用することで、量子化の“段階”が全く気にならなくなります。巧妙にデザインされたディザー・システムではビットとレゾリューションを関連付けるのが難しいのは、これが理由です。ノイズ・フロアとダイナミック・レンジを話題にした方が、ずっと良いでしょう。

## 問題は全て解決？

さて、これで終了でしょうか？ そうではありません。次回はレコーディング・レベルやプラグイン、そして ADC のアウトプットとミキサーのインプットを取り上げましょう。また、様々なミキサー・プラグインについても論じていきます。今回の記事で、外部ミキサー無しに完全に Pro Tools 内でミックス可能であることと、最高のオーディオ・クオリティが保持できることが理解されるよう願っています。注意深く実行されたリスニング・テストでは、内部ミックスと外部ミックスの違いを聞き分けられた人は、まだ存在しないのです。

コンソールの EQ やダイナミクスを活用できたり、その間に発生する“好ましい不自然さ”を利用できるなど、外部コンソールを使うメリットも存在します。例えば 200 シリーズのシングルエンド・アンプを備えた初期の Neve 80 シリーズ・コンソールでは、レベルをプッシュすると、特に心地よい歪みのキャラクターが得られます。

そうしたクオリティのためにコンソールを使うことは否定しません。ここで説明したいのは、Pro Tools 内で完全にミキシングした場合にデータや情報は一切失われないということであり、チャンネル・フェーダーをユニティよりずっと下げてもシグナルから失われるものはなく、また全チャンネル・フェーダーを-30、マスター・フェーダーをユニティにした場合と、マスターを-30 にしてチャンネル・フェーダーをユニティにした場合に、全く違いはありません。アウトプットをクリップさせず、クリップしない範囲でできるだけアウトプット・シグナルを高くすれば、全て OK なのです。

**注 1:** 正確なミキシング・リスニング・テストを行うのは非常に難しいのですが、行う価値はありますし、それを強くお勧めします。多くの場合、VCA ベースのオートメーションを備えたコンソールをリファレンスとして使用することは信頼できません。チャンネルのシグナル・レベルをコントロールする VCA は時間経過によりドリフトするので、多くのエンジニアがサウンドの違いを即座に聴き取れたと感じても実際にはそれは 0.2 dB のレベル差によるもので、コンソールを再度キャリブレートしたら、その違いが無くなってしまうことが多いのです。正確な結果を得るには、頻繁にシグナル・レベルをチェックする必要があります。なお、我々の過去のリスニング・テストでは、外部コンソールの EQ やダイナミクスは使わないようにしてきました。コンソールをレベル・コントロール、パン・ノブ、ミックス・バスを備えたミキサーとしてだけ使ったのです。



Pro Toolsの48-bit ミックス・バスは約288dBのダイナミックレンジを利用可能です。

BIT  
47  
46  
45  
44  
43  
42  
41  
40  
39  
38  
37  
36  
35  
34  
33  
32  
31  
30  
29  
28  
27  
26  
25  
24  
23  
22  
21  
20  
19  
18  
17  
16  
15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

上位8-bitはヘッドルーム用に保持されており、フルレベルで相関性を持つ128オーディオ・チャンネルをサミングした際には46番目のビットへ到達。最後のビットは、各チャンネル・フェーダーに用意された6dBのゲインのために用意されています。この8-bitは、ミックス・バスがクリップする前に、“0”より上に約48 dBのヘッドルームを実現しています。

フェーダーを“0”に設定した1chの24-bitオーディオは、16-39番目のビットを使用。マスター・フェーダーが“0”に設定された場合は(使われているなら)、それらのビットは、ミックス・バス・プラグインのプロセッシングやディザーが追加される前のメイン・アウトプットに現れます。この24-bitは約144dBのダイナミックレンジに相当します。相関性を持ったフルコードの別チャンネルがサミングされると(例えば同じ周波数及び位相のサイン波のペア)、40番目のビットに到達。ミックス・バスのクリップを避けるには、ユーザーはチャンネル・フェーダーを6dB下げるか、マスター・フェーダーを作るか、あるいはサブグループとしてAuxトラックを使って、それらの出力フェーダーを-6dBに設定します。以上3つの方法のいずれにおいても各チャンネルのフル精度は保持され、失われるビットはありません。

ミックス・バスの下位16-bitは、フェーダーが“0”(ユニティ・ゲイン)より下げられた際のオーディオ・データの保持のために使用されます。この16-bitにより、フェーダーが-96dBへ下げられた際にも、フル24-bitの精度を持つ信号をミックス・バスへ送ることができます。

