JAS journal
Japan Audio Society

1992 Vol.32 No.5
昭和54年11月10日第三種郵便物認可
平成4年5月1日発行
毎月1回1日発行　通巻211号
発行　日本オーディオ協会

5

主　要　内　容

特集：映画の音響技術

○映像メディアのための音響システムプログラムとフォーマット間の互換性／クライド・マッキニー，（訳）石井伸一郎
○映画のためのオーディオ・ポストプロダクションとビデオ・フォーマット／ゲイリー・サマーズ
○ＴＨＸダビング・スタジオについて／安田宏樹
○ドルビー「ＳＲ・Ｄ」映画ディジタル音声システム／伏木雅昭

○目次ページ随想「ソフトウェアと文化」／山本武夫
○レコードソフト制作の現場から(8・完)「技術者の取り組むべき課題」／穴澤健明
○毎日放送（大阪）ギャラクシーホール／垣野美幸
○高周波雑音に対する２段帰還増幅器の一補償法／川西哲夫
○こだわりのオーディオ／中川　伸
○ディジタル・オーディオ搭載スーパーＶＨＳビデオ／山口史朗
○言葉・字句・記号／石井伸一郎

日本オーディオ協会

ドルビーSR・D 映画デジタル音声システムとその背景

伏木 雅昭

＃＃＃

まえがき

ドルビー研究所が昨年 6 月にハリウッドのアカデミー・シアターで映画関係者に対して発表・デモを行なった新しい映画音声方式は全く新しいデジタル・サウンドトラックとともに、アナログトラックにはドルビーSR を標準装備していることから、『SR・D』と名付けられた。同じデモは東京でも 11 月に行なわれたが、いよいよ米国では近いうちに SR・D 方式による一般ロードショウも始まろうとしており、今年はドルビーSR・D 元年となる。この新方式が、35 ミリ映画に新たな飛躍のページを刻むのか、あるいはその影響は他の方面に及ぶものなのか、AV に携わる当事者の我々にとっても興味深い技術の登場といえる。

1. 映画技術の方向性

映画ステレオ音声は実用レベルでは磁気記録マルチチャンネルに始まり、4 チャンネル情報(ＬＣＲプラスＳ)をマトリックス処理で光学ステレオ 2 トラックに記録するドルビーステレオの普及があり、とりわけ 80 年代以降はドルビーSR やデジタル録音など録音技術水準全般の向上により、その性能は格段に進歩した。現在では、いずれのフォーマットでも充分にハイファイ音響として鑑賞できるスペックを備えている。

映画サウンドのめざす方向と技術的推移、さらには最近の AV との関連については、アレンの論文[1]が概略まとめたものとしてあるが、彼は 1933 年のブルームライン、41 年のフレッチャーなど、先駆的技術者たちがすでに「映像と関連づけて現実と錯覚させるのが音の役割」と定義していることに言及している。

映像がモンタージュの手法を手にして以来、音は映像の不連続性に対応する何らかの様式を構築せざるを得なかった。例えば、セリフを画面上の映像定位と一致させようとする 1950 年代初期のステレオ映画の試みから、70 年代にはセンター固定定位に収斂する。画面の切り替えに最も不自然さを感じない音源方向が視界の中心=センターである以上、音はそれを軸に組み立てるべきことを経験から学んだ。また映画には、喚起音とでも呼ぶ種類の効果音があり、特徴的には画面を外れた方向で発するものが多い。人間は動物本能的に視角外の音には警戒反応して、一瞬そちらに視界を向けて確認しようとする。サラウンドがいちいち確認を必要としない類の音源(雷、雨音、響き、通過音)にもっぱら限定されるのも同じメカニズムを避けるためで、観客が後ろに注意していては画面への集中がそれだけ薄まってしまうからである。

ドルビーステレオもこうした手法上の約束ごとを前提に踏まえて開発されたマトリックス技術であり、その意味では、現在の映画サウンドシステムは円熟した音響表現を演出する上での実質的制約は少ないと思われる。

2. なぜデジタルなのか

数年前のことだが、ルーカスフィルムでは映画制作技術の革新化を図るため、制作段階で

の音声処理全面デジタル化を検討していた。ただ、現行のフィルムをベースにした制作工程では、デジタル方式の採用は時期尚早との結論を出し、数百チャンネルに及ぶ音声トラックにはすべてドルビーSR を採用した。現実に、SR はデジタル方式を越えるダイナミックレンジも確保しているアナログプロセスである。

現在の映画サウンドシステムの性能を冷静に見る限り、必ずしもデジタル化への期待が切実な環境ということでもない。ただし、映画産業を取り巻く周囲にまで目を遣れば、CD を始め家庭用機器でのデジタル方式は定着しており、『デジタル』という営業的アピールには一定の期待もあり、業務用機器(DAW、ビデオ等)のデジタル化も進む中で、環境的には期も熟していると考えられる。また、システムを正しく選べば将来的には、家庭用ビデオを含むさまざまなメディアとの直接融合を切り開くステップという側面が重要なファクターとなろう。SR・D の音声チャンネルはトータル 5.1 チャンネルとなっており、フロントは従来通り LCR の 3ch、サラウンドはステレオ 2ch となり、低音専用チャンネルは帯域 200Hz なので、0.1ch と称している。これは 70 ミリ映画でも、極めて例外的に(『地獄の黙示録』、『スーパーガール』、『最後の聖戦』など)使われてきた 6ch『スプリット・サラウンド』方式にほぼ相当するチャンネル配分であり、しかも与えられた方式の中で、LCRS 構成の処理に留まるか、あるいはどこまで音声処理表現を展開するかは制作者の選択次第で、そのために再生システムをその都度切換える必要もない。性能面での改善は、現在 35 ミリ方式で最良のドルビーステレオ SR と比較して、

a) マトリックスから解放されたチャンネル独立性
b) サラウンド Ch のステレオ化
c) 超高域でのダイナミックレンジの拡大
d) サブウーファー重低音 Ch による音量感の独立制御

などが表現手法に絡めて再現性が高まる要素となる。

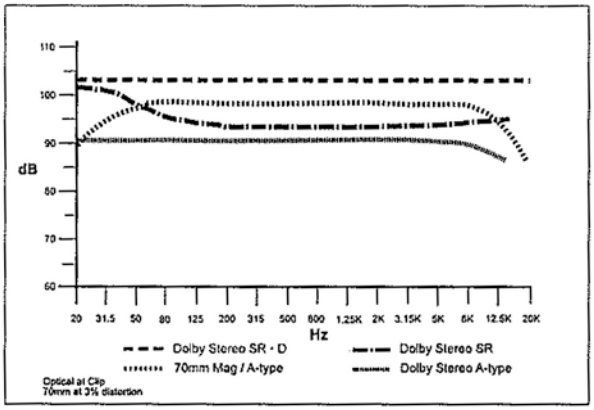

図 1《SR・D によるダイナミックレンジの改善》

3. 立ちはだかる制約

さて、それでは現行の映画フィルム方式の中に高性能デジタル記録を詰め込み、しかも実用レベルで破綻しない安定性を獲得できるのだろうか。

まず、どこにデジタル記録領域を置くかという問題がある。SR・D に先んじて商品化され

たコダック・ＣＤＳ方式[2]では、従来のアナログ音声部分をデジタルトラックに置き換えた。これは当然ながら、従来システムの劇場用にはアナログ・プリントを、新設館用にはデジタル・プリントを別々に生産・配給しなければならない方法である。高度なデジタル技術を備えたこの方式の誤謬は、それ以前の現実に対する物の見方にあったように思われる。映画はすでに 35 ミリでは磁気記録音声を捨て去るだけの合理化を行なった(あるいは行なわざるを得なかった)産業で、実質的に 1 世紀遡るメカニズムに依存するフィルム走行性、およそハイテクとは無縁のプリント管理体制、さらには映画館全般の品質意識など、それらの改善が望ましいのは当然にしても、体質という重い現実のすべてを一挙に変えるだけのインパクトをたかだかデジタル音声方式に期待するのは非現実的と考えるべきだ。

過去の永い紆余曲折を経てたどり着いている現行方式との互換性を排除しては、少なくとも 35 ミリフィルムという同型フォーマット内での方式転換は成功しない、というのがドルビー研究所の率直な意見である。従って、SR・D では、すでに使用されているエリアには全く手を触れず、これまでデッドスペースとさえ考えられていなかったスプロケットホールとホールの間を新たなデータエリアに選んだ。このため、映像エリアはもちろん、従来のアナログトラックもそっくりそのまま残されており、一種類の共通プリントですべての劇場への配給をまかなうことが可能となる。スプロケットホール周辺はメカニズム駆動系に直接触れる部分で、データ損傷の危険を憂慮する声も聞くが、これまで繰り返したテストと経験からは特にこの部分の危険性が高いということはなく、少なくともデータが経年使用で破損する以前に、画質劣化が許容度を越えるだろう。また何らかの原因で、デジタル信号の読み取りに回復不能なエラーが発生してミュートされても、アナログ音声が自動的に切換わって再生されるので、最悪のケースでも興業上の問題は回避できる。こうした切換時の質を双方で揃えておく意味でも、アナログ音声にはドルビーSR が条件付けられているのである。

次にデジタルプロセスだが、フィルムの限られたエリアに 16 ビット直線 PCM 方式をストレートに持ち込むことは、受け皿の映画フィルム方式自体にきわめて精巧なシステム精度という負担を強いるもので、これも期待薄である。ここはビット 1 個ずつの物理的大きさをできるだけ大きく、つまりビットレートをできる限り低く維持して、フィルムの日常的精度に折り合うことが不可欠ということである。SR・D では 5.1ch 分の総合ビットレートを 555kB/s まで落とすことに成功した。これは 16 ビット PCM 伝送の 10 倍にも及ぶ効率を達成するもので、具体的には 1 秒間 24 コマ x4=96 フレームを走査しているから、1 フレームの有効スペース内に縦横 76 個ずつビットが並んでいることになり、従ってビットサイズは L26 ミル角(30μ強)となる。CD のピットサイズ(横方向で 1.6μピッチ)と比較すればその大きさも想像できると思う。

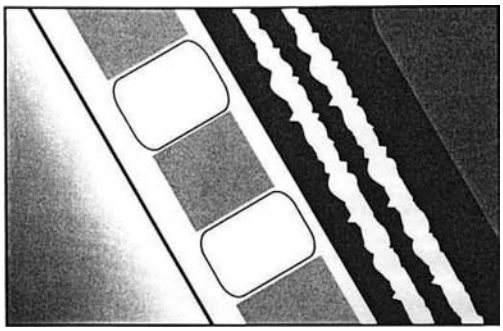

図 2《SR・D デジタルデータ》

デジタルデータのピックアップは映写機のペントハウスに取付加工するが、このための特別な駆動系はなく、従って、非常にシンプルな構造である。ピックアップ自体には CCD アレイを採用し、自己安定化機能を持つ FIFO バッファーにより、フィルムの走行方向の揺れ±6 ミル、フォーカスずれ±1 ミル、アジマス精度±3°、速度偏差については 10%近い許容度を持たせ、標準 24 コマあるいは一部欧州で使われている 25 コマのいずれの速度にもそのまま対応できる。これらの許容値は映写機にとって現実的なもので、映写フィルム駆動系には何等改造の必要もない。

図 3《SR・D ピックアップ取付後の映写機》

4. ビットリダクション

ドルビー研究所のデジタル技術は 1980 年頃から ADM を手がけたことに始まる。その技術は AC-1 と呼ばれ、200-300kB/ch 程度の伝送レートで米国や豪州での衛星回線などに使われている[3]。PCM が CD を中心にこれまで急速な市場発展を遂げてきたことは紛れもない事実だが、同時にその 2MB/2ch という伝送容量は例えば FM 放送などに比較すれば、法外な低効率・高性能とも考えられる。PCM が高密度記録に依存してきたのもまた事実である。デジタルシステムが従来のアナログ方式の器にも納まる伝送効率を獲得するなら、さまざまな利点を持つデジタル方式が運用できる用途は広大と言えよう。

こうした観点から、伝送帯域を削ってゆくビット圧縮の手法に関心が高まり、比較的簡単に波形処理できる ADPCM などはハイビジョン放送音声[4]での実用化に一応の成果を得ているが、近年世界的にみても、DSP 技術の進歩に後押しされたより複雑なマルチ周波数バンド処理によるビットリダクションの方向に進んできた。

ドルビー研究所ではこれまでのビットリダクションにおける独自の研究成果を AC-2 として 1990 年に公表した[5]。標準 256kB/s の伝送レートを持つ AC-2 はすでに 2ch 業務用エンコーダ及びデコーダとして商品化され、スタジオ間を結ぶリモート回線用としても各方面で活用されている。AC-2 は技術的形式としては『適応トランスフォーム・コーダー』(ATC)に属し、同じくビットリダクション方式として知られるサブバンド・コーダーとは一部構成を異にしている。

コーディング・アルゴリズムの優劣は聴感に対する分析の深さに比例するが、これまでの音響マスキングに関する研究は単一正弦波信号もしくは狭帯域雑音を対象とするものに限

られており、それを前提にコーダーを設計したのでは不充分と言うのが実状である。こうしたところにノイズリダクション技術で培われたドルビー研究所の歴史が充分に生かされ、音響心理的聴感との相関性を損なわないで可聴限下の信号成分を切り捨てるビット低減を実現した。

AC-2 用に開発した ATC には用途によって数種類の異なるアルゴリズムがあるが、図 4 に従ってプロセスの特長をたどれば、初段はデジタル変換された PCM 信号のサンプルを N 個(例えば 256)ずつフレームバッファーに溜め込む。各フレームは半分ずつオーバーラップさせてあり、前半 N/2 のデータはひとつ前のフレームの後半 N/2 のデータと同じもので構成されている。従ってひとつのサンプルがふたつのフレーム内で処理されることになる。ウィンドウを通してサンプルを乗算すると、オーバーラップ効果により出力波形のスペクトラム面での連続性がフレームとフレームのつなぎ目で著しく向上する。

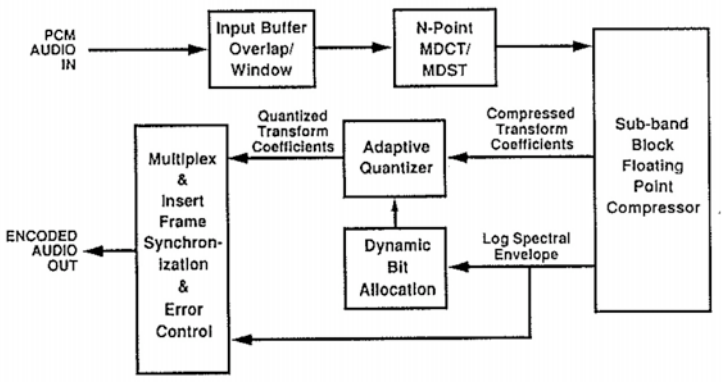

図 4《エンコーダ・ブロック図》

時間領域から周波数領域への変換操作は TDAC[6]により MDCT(Modified Discrete Cosine Transform)と MDST(Modified Discrete Sine Transform)とを交互に行なっている。このフィルターバンクの利点は周波数選択度が非常に高く、量子化エラーの少ない厳密なサンプル成分が得られ、しかも FFT としての演算規模が極めて小さいことだ。また、フレーム・オーバーラップしてもビットレートが増えない点も大きな特長である。

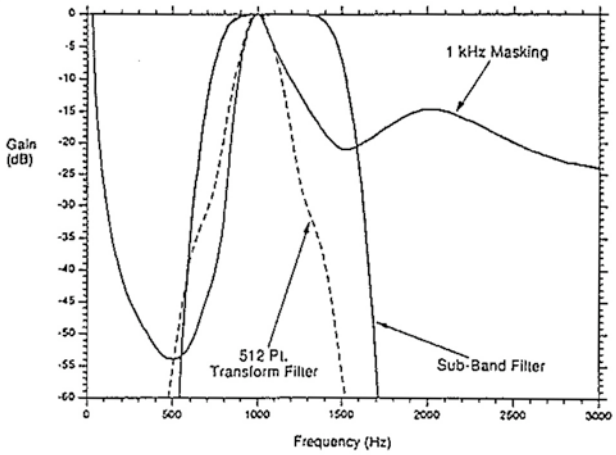

図 5《1kHz 聴感マスキングとフィルターバンク選択度》

（マスキングカーブを越える部分は量子化エラーの原因となる。）

人間の聴感はオクターブ（対数）的な構造を持つので、サブバンドを周波数線形幅で均等に構成したのではその音響マスキング処理に現実とのずれを生じることになる。AC-2 では TDAC をさらに発展させ、複数の変換係数をグループ化して 40 の対数的サブバンド・ブロックにまとめ、聴感との一致を図っている。各サブバンドの変換係数群はブロックの浮動小数点形式表現(帯域により 1 個または複数個の仮数と最大係数による指数 1 個)に置き換えられる。指数は各サブバンド毎の量子化されたピーク振幅対数値なので、それらを並べると入力信号フレームをクリティカルな聴感帯域幅で見た対数スペクトラム・エンベロープになる。これを音響心理的重要度の順に並べ変えて、固定ビットレートに収まるよう動的ビット割当する。

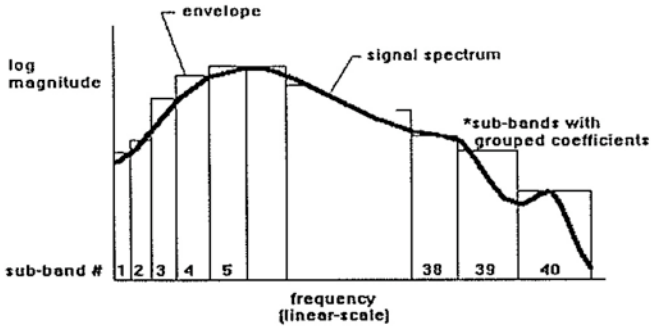

図 6《対数スペクトラム・エンベロープ》

割当処理でのステップサイズ情報は適応量子化器へ送られ、各サブバンドの係数を大まかな固定割当及び精細な動的割当の合算で決まるビット分解能で量子化する。固定及び動的割当の比率は約 4 対 1 として、一定規模のエラー訂正容量に対して強固なコーディングを得ている。これは最重要仮数ビット情報がそのままデコーダに伝わっているからである。さらにエンコーダ最終段では指数ワードをフレームの対数スペクトラム副情報として、固定及び適応仮数ビットと多重化・インターリーブし、デコーダに送っている。リード・ソロモン方式によるエラー訂正もこの段階で追加される。

5. AC-3 のマルチチャンネル処理技術

SR･D に採用された AC-3 もビットリダクションとしての基本プロセスは AC-2 と共通であり、フィルターバンクはともに全く同じもので構成されている。SR・D エンコーダの性能は AD 変換部が将来的に 20 ビット処理を採用しても対応できるよう、有効ダイナミックレンジも確保されている。AC-2 がチャンネル単位で信号を処理するのに対し、AC-3 コーダー最大の特長は 5.1ch 全体を包括して『グローバルな動的ビット割当』を行なっているところにある。つまりひとつのサブバンドの重要度が各チャンネル毎にではなく、すべてのサブバンドに比較して並べ変えられた上でビット割当にかけられるのである。これは例えるなら、各生徒の試験成績発表を都道府県単位で(5.1x40 位まで)行なうのではなく、全国レベルで(204 位まで)順位をつけると思えば良い。合格ラインは伝送レートによって決まる。AC-3 の最終ミックス『完パケ』は 600M バイト容量の MO ディスクを使用して収

録し、プリント工程マスターとして供される。同期を含む処理操作は AT 互換のパソコンで行なう。記録容量とアクセス速度を満足すれば記録メディアは限定されないので、例えばノートパソコンから再生と言うのも、出来ない話ではない。但し 20M バイトディスクの収録時間は約 5 分である。
ドルビーAC-3 デジタル・サウンドトラックは現実路線の上に練り上げた高性能システム技術である。この新しい音声 5.1ch 方式の力量を垣間見せたデモンストレーションの中で、5 ヶ国の言語を 5 チャンネルから再生するいかにもデモらしいプログラムソースでは、マトリックスの混濁した聞こえ方とは打って変わって、サラウンドに定位させた 2 ヶ国語も左右に完全分離し、ひとつひとつの言葉の明瞭度も改善されて聞こえた。音質は全般的にレンジに余裕があり、またリア方向の広がりの良さなど、ディテールでの質の高さを感じさせた。もちろん今後の映画サウンドがこれで 180 度転換するということではないが、こうしたディテールの再現性が作品の中に込められるようになると、それを最終的な音として提示する映画館の環境はこれまで以上に配慮が要請されることになる。

おわりに
かつて映画産業は家庭用テレビの出現に脅威を感じ、大画面での映画作りに拍車をかけたことがある。1950 年代のことだ。むしろ家庭がビデオという記録メディアを持ち、LVD からハイビジョンへと高画質化をひた走る現代の方がはるかに大きな影響力を秘めていると言える。確かに映画産業は衰退傾向を示し、市場規模もビデオの後塵を拝しているが、目先の採算性にとらわれてお手軽な制作に走るのは単に悪循環を助長するだけである。映画とビデオ産業とは、共通のソフトをふたつの異なる鑑賞形態で再生できることをむしろ利点と考えねばならないだろう。それはとりも直さず映画館は映画館なりの特徴を、ホームシアターはホームシアターとしての利点を生かしながら、お互いの相乗効果を求めていくことに他ならない。例えばコンサートとレコードの関係のように。その意味でも、AC-3 も鑑賞者たちに刺激を与える技術として、これから家庭にそのまま降りてくるものと期待される。

1992-03-22

【参考文献】

[1] I. Allen, "Matching The Sound to the Picture,”
AES/Detroit, Feb. 1991

[2] 露木茂良「Cine Digital Sound: そのテクノロジー」
1991 国際放送機器展シンポジウム、1991 年 11 月

[3] K. Gundry, D. Robinson, C. Todd,
“Recent Developments in Digital Audio Techniques,”
AES/Eindhoven, Mar. 1983

[4] 大見紀太郎、辻本廉「3-1 方式 4ch ハイビジョン実験放送」
放送技術 1990 年 10 月号

[5] G. Davidson, L. Fielder, and M. Antill,
“Low-Complexity Trans-form Coder for Satellite Link Applications,"
AES/Los Angeles, Sep. 1990

[6] J.P. Princen and A.B. Bradley, 'Analysis/Synthesis Filter Ba nk Design Based on Time Domain Aliasing Cancellation,”
IEEE ASSP-34. no.5, Oct. 1986