
D T P の夜明け

初出

イメージスキャナ開発室

<http://imeasure.cocolog-nifty.com/blog/>

2007年7月25日～8月10日

アイメジャー株式会社

一ノ瀬修一

info@imeasure.co.jp

■ DTPの夜明け その1

仕事を通じて時々歴史的な転換点の現場に遭遇することがあります。

私の場合その第1弾が、DTP (Dest Top Publishing) の夜明けでした。

たまたま入社して2年目の1986年4月から、イメージスキャナ事業の立ち上げに参画しました。

1986年4月当時、イメージスキャナはA4モノクロであって、カラーイメージスキャナは、シャープからA3カラーイメージスキャナが150万円で販売されていました。そこへエプソンは、19万8千円で、フルカラーイメージスキャナを発売し、市場に参入したのです。(ただしサイズはまだA6でした。) 主な利用者は、コンピュータゲームのキャラクター作成のための取込など、非常に特殊な用途でした。

なぜか。。それは、パーソナルコンピュータ側がまだ24bitフルカラーを扱える環境を持っていなかったからです。エプソンでも24bitフルカラーをVGA(640x480pixel)相当で表示するために、ナント2千万円もするシステムを使って、画像表示していました。価格の殆どはメモリが食っています。

確か、NEXUS (ネクサス) という名前だったでしょうか。。サピエンスの24bitフルカラーボード Super Frameの誕生はまだ先、Macintoshが32bitクイックドロウを整え24bitフルカラー表示を可能とするのもまだ先の話です。

そう 夜明け前です。

(つづく)

■ DTPの夜明け その2

Appleの虹色(!)のロゴを初めてみたのが1979年の夏でした。Apple IIというカワイイPCでした。それから10年、「電子文房具」の香りを携えどちらかというHobbyの世界に住んでいたMacintoshは、ビジネスの世界に参入を宣言したのです。その意思是、Macintosh II (まっきんとっしゅ つー)の矩形の巨大な筐体に現れていました。

私が始めて触ったのは1988年前後だったかと思います。驚いたことが2つありました。ディスプレイの制御とプリンタの制御でした。それまでは、プリンタといえば、ドットプリンタが主流。（EPSONにいたからだろ。。ってのは置いといて^^）

たとえば、「一ノ瀬」とディスプレイで書くとプリンタからも「一ノ瀬」と出てくる。でもそれは、PCは、「一ノ瀬」を内部にコードとして持っていて、印刷する際にもプリンタにコードを送る。プリンタは、コードを受けて、自分の持っているフォント情報を書き込んだ内臓ROMのデータからどんな文字を打つべきかをドットに展開して、印字する。だから、あくまでディスプレイとプリンタをつなぐ情報は、コード（記号）のみだった。

Macintoshに文字を書いた後、プリンタで出力をした。なんと、Macは、ドットプリンタを単なる、ビットマッププロッタとしてこきつかっていた。つまり、ディスプレイもプリンタも全て P I X E L で制御していた。

たとえでいえば、文字を全く知らない人に、電話で、どうにかして文字を紙の上にかかせる手段として、方眼紙を用意させて、そのます目を順番に黒く塗りつぶさせて、結果として文字の形を作り出す作業に似ている。

ただ、P I X E L というと語弊が実はある。P I X E L には寸法の単位がありませんからね。アップルは、実世界での寸法と関連づける仕組みをきちんと答えとして周到に用意していた。

（つづく）

■ DTPの夜明け その3

P I X E L には寸法の単位は無い。。

初めてデジタル画像を扱う人はたいがいこの概念に躓きます。

たとえば、スキャナでスキャンした手札写真をPhotoshopでディスプレイに表示して、プリンタに印刷する。この流れでは、全く支障が無い。オリジナルと全く同じの色にならないにしても、大きさは同じ大きさをプリンタから出力される。でも、いよいよ手にした一眼レフデジカメ。撮影した画像をPhotoshopで開いてサア印刷！すると、

「画像のサイズがプリント範囲よりも大きいため、画像の一部が切り取られます。」[続行][キャンセル]なんていう警告が出る。まあいいやと続行すると悲惨な結果に(%1)。なぜこうなるかという、PIXELを単位長さあたりいくつ割り当ててるか。という情報が(適切で)ないために発生する。これが、PIXEL数⇒寸法(mm、cm、インチ)に変換する「モノサシ」だ。このモノサシのことを「解像度」と呼ぶ。モノサシの単位としてたとえば、dpi(dot per inch)がある。

Appleはこの混乱を解決するスマートな手段として、機器の解像度を強制的に固定した。72dpiに統一したのである。まるで通貨統一に似た快挙である。Appleは、当時ブランドとして発売したディスプレイの解像度設定を全て72dpiに固定した。何故、72dpiか。それは、文字フォントの慣習からきている。フォントは、9p、10p、12pなどのpointという単位で大きさが表されるが、これは、72dpiの解像度で、何ドット使ってフォントを作るかに由来している。だから、例えば72ポイントであれば、1インチ(=25.4mm)のサイズであることが決まっている。

ディスプレイを72dpiに固定してあるため、10ポイント(=3.5mm(=25.4*10/72)mm)の文字を書くとディスプレイ上でも実際に、10ポイントの文字として表示され、そのまま印刷すると10ポイントの文字になる。Macintoshでワードプロセッサを使っていて、ディスプレイ上で作って、100%表示した原稿の上に、印刷して出てきた原稿を重ねてみると同じ大きさに出てきたことを当時、随分感動したものだ。Apple エライ!

さらに、Appleは、もうひとつ、画面上に表されるものが「そのまま」プリンタから出力されるように、もうひとつの仕掛けを用意した。それは、「ガンマ」である。

(つづく)

%1)CANON EOS-20Dで撮影した、3200x2300pixelの画像は、このdpiの情報が72dpiとなっている。そのため、そのまま印刷すると47x32inch(=124x82cm!!)で印刷されてしまう。なので先の警告が出る。

EPSONのRD-1、600万画素モードも調べてみたら。600dpiになっていた。3000x2000pixelは、5x3.3インチ(=12.5x8cm)に印刷される。

■DTPの夜明け その4

ガンマの話

PIXELには長さの単位が無い。なのでdpiという単位長さあたりにPIXELをいくつ割り当てるかという「モノサシ」が必要となる。という話を前回(その3)しました。

【実は、dotという単位は、網点印刷という[インキを乗せる/乗せない]技術の表現であって、PIXELあたりで諧調(ON/OFFではなく、濃淡をきめ細やかに表現する際の濃度分解能のこと)表現できる出力/入力装置の場合は、ppi(Pixel Per Inch)という表現の方がしっくりと来る。Photoshopは実際、途中のバージョンから[イメージ]⇒[解像度]で表示されるものさしをdot/inchからpixel/inchに変更した。】

PIXELには、明るさの単位が無い。

なので諧調情報を持つ場合に、濃淡表現の相対的な明るさを決める「モノサシ」が必要となります。これがガンマです。

意外に思われるかも知れませんが。たとえばフルカラー24bitデータで、

PIXEL その1 : (R, G, B)=0, 0, 0

PIXEL その2 : (R, G, B)=128, 128, 128

PIXEL その3 : (R, G, B)=255, 255, 255

というPIXELがあったとします。

PIXEL その3の明るさがディスプレイが表現する明るさの最大値だとして、PIXEL その2は、数字が半分だからと言って、明るさが半分となるとは限りません。ガンマ1.8のディスプレイであれば、174が半分となります。

ガンマ1.0のディスプレイであれば、128という諧調は、255の半分の明るさ(輝度)になります。(正確には、PIXEL その1がブラックホールのように暗黒でディスプレイ表面での環境光による反射などで明るさを全く持たないことを仮定。また、255なので、正確に半分とは127.5です。)

理系的な感覚としては、全ての入力装置（スキャナ）、出力装置（プリンタ）をガンマ1.0にしちやえばいいのに。何故ガンマを1.8やら2.2（デファクトスタンダードとなったsRGB色空間を持つデジカメのファイルフォーマットEXIFは2.2）なんていうメンドくさい特性にしてしまったのかと不思議に思います。この理由は、続きで。

（つづく）

■ DTPの夜明け その3 補足

d p iは、単位長さあたりPIXELをいくつ割り当てるかというモノサシである。

といいましたが、この「モノサシ」という概念はいまいちピンとこないと思います。

でも、身の回りにあるモノサシを考えてみると、

たとえば、小学校で使うmmやcmの入ったモノサシは、何かというと、単位長さあたりに[mm]をいくつ割り当てるかという定義を意味しています。

メートルという単位は、イギリスとフランスがプライドをかけて世界標準を取り合った時、イギリス(UK)が地球の経度の0を（つまり世界標準時のグリニッジを）取った。フランスは、長さのメートルを取った。地球の一周(%)を4万kmと定義して当時1メートルを決めた。イギリスはインチを使っていたけど、Timeを牛耳り、Lengthをフランスに譲った。

地球の大きさが変わるわけないから、メートルと言えば、世界で共通して使えた。

一方デジタル画像の世界では、

72dpi、300dpi、2400dpiなどという表現がある状態とはつまり、例えば、30cm定規の実世界での長さが1円玉30コ分だったり、72コ分だったり2400コ分だったりして変わってしまう事態に似ています。なので、モノサシは不変だという感覚を持つ一般人からするとデジタル画像の世界はとんでもない世界に感じるのです。

繰り返しですが、Appleはこの課題に対し dpi をエイヤ！と 72 dpi に統一する（スキャナやプリンタメーカーに 72dpi を標準として作るように規格統一した）ことで混乱を収めた。

(%1) 赤道の一周ではなく、北極と南極を通る子午線の一周。あらかじめ距離を測定した、同じ経度の A 地点と B 地点にて、同じ天体（たとえば北極星）を観測してその高度を測定すれば、地球一周距離の計算ができます。事実この方法で、古代ギリシャ時代のエラトステネスは、シエナーアレクサンドリア間（925km）で測定して地球一周を 46,250 km と推測していたそうです。経度方向で同じことをやろうとすると、正確な時計が必要となりますね。電波時計を使って、同じ経度の 2 地点間で、太陽の南中時刻を測定し、地球一周の距離を計算する、ってのはオモシロイ試みになりますね。

■ DTP の夜明け その 5

ガンマの話（2）

何故ガンマを 1 にしなかったのか。

まず、元祖の [Apple の言い分](#)（%1）を聞いてみましょう。

「一般的なブラウン管（CRT）ディスプレイの場合、（略）ガンマは「2.5」となります」

「ガンマが「2.5」のままの状態よりはガンマが「1.8」に調整された状態の方が、大幅に画像イメージの再現性が向上します。」

「Mac は、グラフィック制作を使用目的の一つとして設計されているため、画像・映像の『ディスプレイ上での見た目の再現性を重視』します。」

ちょっと苦しい言い訳しているような文章です。

つまり、見た目の再現性がもっとも良かったのは、ガンマ 1.8 だった。

と言っています。

ここにいくつかの疑問が沸きます。

疑問 1：一般的な CRT のガンマはどうして 2.5 になるのか？

疑問 2 : 見た目の再現性とは何なのか？

疑問 1 はネット上を調べると参考情報はたくさんあるので、みなさんにお任せして（リクエストがあれば整理してみます。ガンマとは、いわゆる真空管の三極管の特性として使われます。）、疑問 2 について話を進めたいと思います。

さてここからは、一ノ瀬の仮説です。（[^]_^ ;）

見た目の再現性とは、

（1）肉眼の特性 目は明暗をどのように感じているのか？

（2）出力装置の特性、具体的には、印刷物の濃度再現特性はどうなっているのか？

さて次回は、肉眼の特性についての話と印刷物のドットゲインの話（分析）をしたいと思います。

（つづく）

（% 1）Apple の言い分：

<http://www.apple.com/jp/pro/filmvideo/nle/06/index2.html>

世に存在する画像・映像処理デバイスは、個々にガンマを持ちます。例えば、一般的なブラウン管（CRT）ディスプレイの場合、その電気的な特性からガンマは「2.5」となります。このままでは再生される映像のイメージは暗くなり、自然なコントラストも得られません。

（ここに挿入されている図 3、図 4 は分かりやすい。ichinose）

Mac のガンマ

Mac は、グラフィック制作を使用目的の一つとして設計されているため、画像・映像の『ディスプレイ上での見た目の再現性を重視』します。過去において、Mac のディスプレイデバイスとして CRT ディスプレイが用いられてきましたが、この CRT ディスプレイのガンマは先にも示したとおり「2.5」です。ガンマが「2.5」のディスプレイデバイスの使用を前提に、最終的な画像の再現性を向上させるためのテクニックとして、Mac では「1/1.4」のガンマコレクションを施します。

2.5 × 1/1.4 ≒ 1.8 で、結果ガンマは「1.8」となります。ガンマは理想的な「1」とはなりません、ガンマが「2.5」のままの状態よりはガンマが「1.8」に調整された状態の方が、大幅に画像イメージの再現性が向上します。この「1.8」という値が Mac のシステムガンマ—Mac そのものの画像・映像の再生特性となっています。

■ DTP の夜明け その6

ガンマの話（3）

さて、今回は「見た目の再現性」を決める要因の1つ、

（1）肉眼の特性 目は明暗をどのように感じているのか？

の話です。

CIE(Commission Internationale de l'Eclairage:国際照明委員会)という学会が1931年に被験者を通じて結論した肉眼の特性は次の式で表されます。

$$L=116 (Y)^{1/3}-16$$

色を絶対的な数字で表現する際に、L*a*b*という座標系がありますが、L*はこの1931の実験を根拠にしています。

つまり、

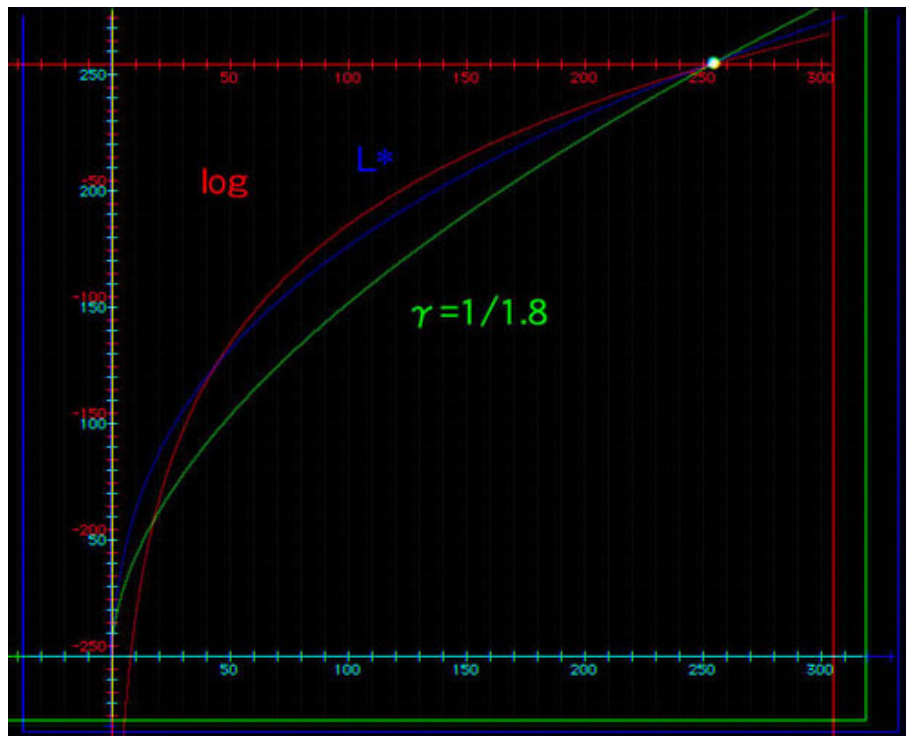
目に入る光の量（Y：光子（フォトン）の数に比例した、物理的に定義できる測定可能な数字です。）に対して、目が明暗を等間隔に感じるピッチ（L：明度）は、リニアではなく、（1／3）乗になっている。という事実が分かった。

これを Photoshop のトーンカーブと同様な、0－255の数字で表現するために式を書き換えると、次の式になります。


$$y = 255 \left(1.16 \left(\frac{x}{255} \right)^{1/3} - 0.16 \right)$$

これをグラフで表現すると次のようになります。

青い線を見てください。



「例の」ガンマ1.8の逆ガンマもいっしょに描きました。（緑色）

肉眼の特性は、このCIEの実験から、ガンマ3.0の特性を持ったセンサであると言い換えることができます。ですので、Appleが、「見た目の再現性」というとき、肉眼の特性だけを基準に決めたわけではないようです。

次回は、

(2) 出力装置の特性、具体的には、印刷物の濃度再現特性はどうなっているのか？

というテーマで、ドットゲインの話に触れたいと思います。

(つづく)

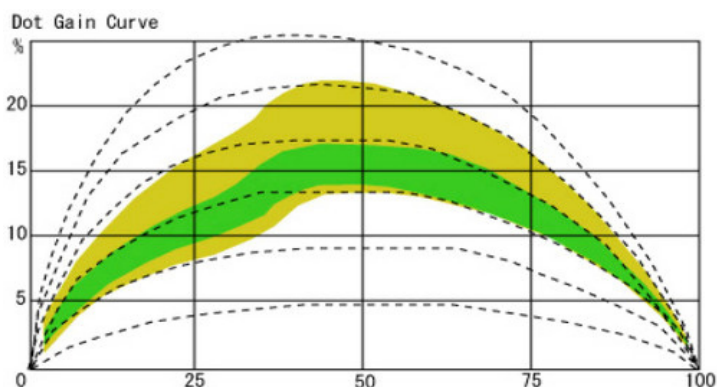
■ DTPの夜明け その7

ガンマの話（４）

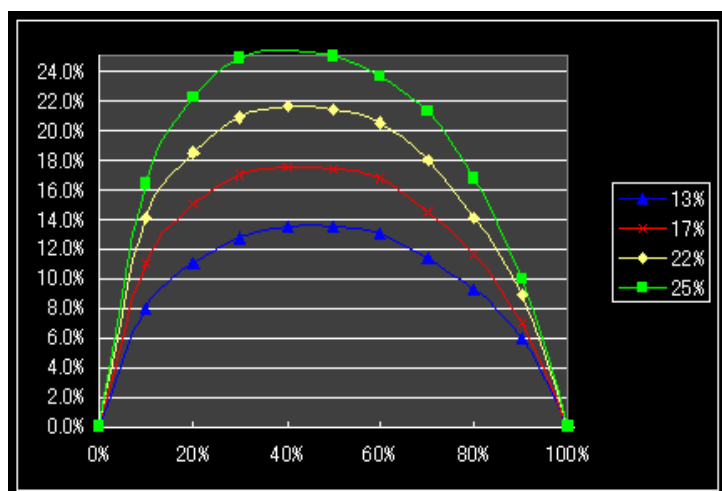
・出力装置の特性、具体的には、印刷物の濃度再現特性はどうなっているのか？

伝統的な印刷手段であるオフセット印刷（網点印刷）の話です。

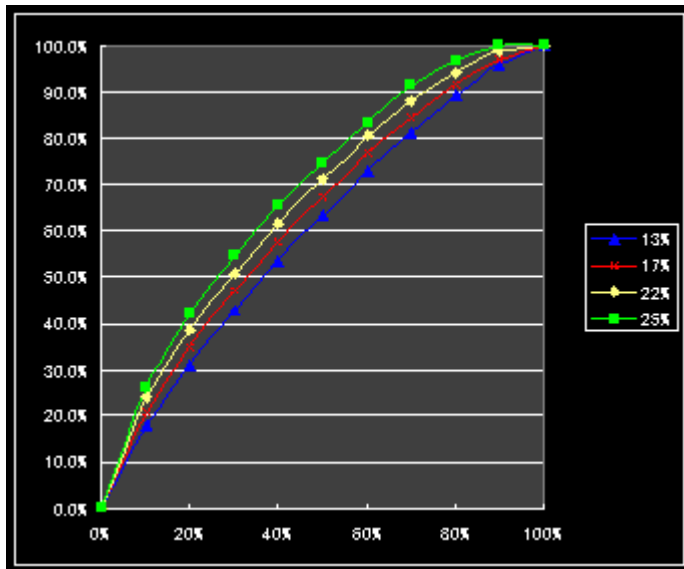
オフセット印刷では、印刷に使用する版（フィルム）に開口した穴の面積比率に対して、実際に紙の上に乗ったインキの面積の差をドットゲインという数字で表現します。（% 1）



150線の欧米タイプでの代表的なドットゲインカーブが上記の緑色、及び黄色の領域です。具体的には、0～30%の領域では、下から3本目のライン（網点率50%にて13%のdotgain）。30～100%の領域では、下から4本目のライン（網点率50%にて17%のdotgain）が標準的とのことです。（% 1）

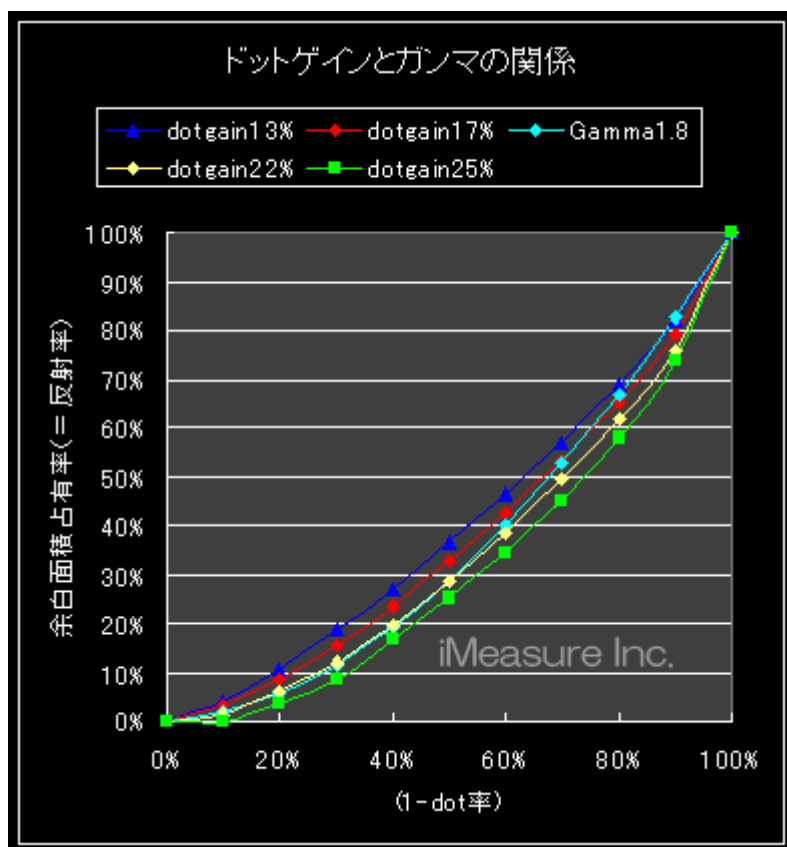


Photoshop の世界では、この dotgain よりもトーンカーブの方が理解しやすいので、トーンカーブに変換します。(% 2)



さらに、この座標系は、横軸縦軸ともに、数字が大きい程、暗い（インキが多い）ので、RGB系と同じ系とするために、逆転させます。

つまり、横軸は、1-dot率。縦軸は、インキの乗っていない領域（余白）の占有率として表現します。



実は、1本グラフを増やしています。

Cyan色(淡い青)は、ガンマ1.8のラインです。

暗い(インキ高濃度)の領域では、黄色のライン(網点率50%にて22%のdotgain)。明るい(低濃度)の領域では、青いライン(網点率50%にて13%のdotgain)に沿っていることが分かります。

以上の事実から、次のようなことが推察されます。

グレースケールチャートを0-255で作成し、オフセット印刷した結果をディスプレイに表示された画像と比較をした結果、ディスプレイのガンマ特性を1.8にした時に、もっともディスプレイ表示と印刷物の『見た目の再現性』が高かった。

恐らくこの実験をAppleが行い、システムガンマを1.8にすることにしたので、私は推察します。

ちなみに、「一般的に欧米の印刷物は紙の原パルプ配合率が高く裏抜けが少なくインクをあまり盛らずにさらっと仕上げるのが好まれるので、50%でのドットゲインは15%程度です。日本の印刷物はずっしりした手ごたえのある厚盛が好まれるため20～25%が適性といわれています。(%)」とのことですので、日本のメーカーがもしDTPを立ち上げたら、システムガンマは1.8よりももっと大きくしたかも知れません。

解像度：72 dpi

ガンマ：1.8

こうして、Appleは、解像度とガンマをそれぞれ定義することで、見たとおりに印刷される世界を構築しました。文字も、画像も（そして写真も）全て、画面で見たとおりを印刷する。当時、この構想は、(WYSIWYG)と呼ばれました。ういずういぐと読みます。

What You See Is What You Get

あなたが今見ているものは、あなたが得るものです

この謳い文句は、アルダスのページメーカーが最初にページレイアウトソフトとして具現化した際に使いました。

この話にはさらに続きがあります。WYSIWYGと言うには、まだ当時「色」については実現していませんでした。

次回はいよいよ最終段階、PIXELのもつ最後の情報、RGBの色についての話です。RGBという0-255の数字は、独立した3つの座標軸であるというだけであって、色の情報を持ちません。この色をどう定義するかというDTPの歴史もAppleが土台を構築したのです。いよいよDTPの夜明けのラスト ColorSyncの話です。

(つづく)

(%) SAKATA INX ENG. CO., LTD 濃度計測の基礎 Rev. 4(2007/04/20)

<http://www.inx-eng.co.jp/support/pdf/BasicDen.pdf>

(%2) 「How to Create Color Profiles for ColorSync 2.0」によれば、このトーンカーブのことを『プレスカーブ』と呼ぶようです。

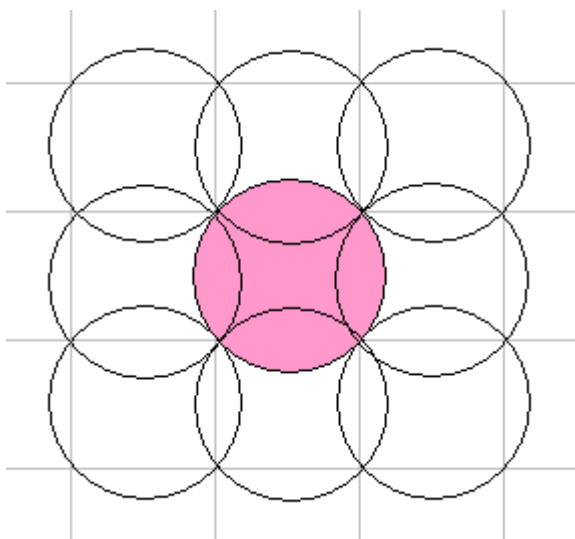
<http://www.jpc.gr.jp/jpc/download/pdf/HowtoCreate.pdf> page-16/24

■ ガンマの話 (5)

その7コメントに、『昔読んだ ColorTron のマニュアルには、ガンマ 1.8 の理由は、Macintosh の CRT と LaserWriter の調子を合わせるためだと書いてありました。』とありました。

LaserWriter は、電子写真式なので、入出力特性 (dot 率に対する面積比率の特性) がどうなるのか、不明ですが、インクジェットプリンタであれば理想的なインクジェットドットが打たれた場合を理論的に予測可能です。(% 1)

まず、まっさらな白紙にインクジェットプリンタによって、dot が 1 つ打たれた場合を考えます。

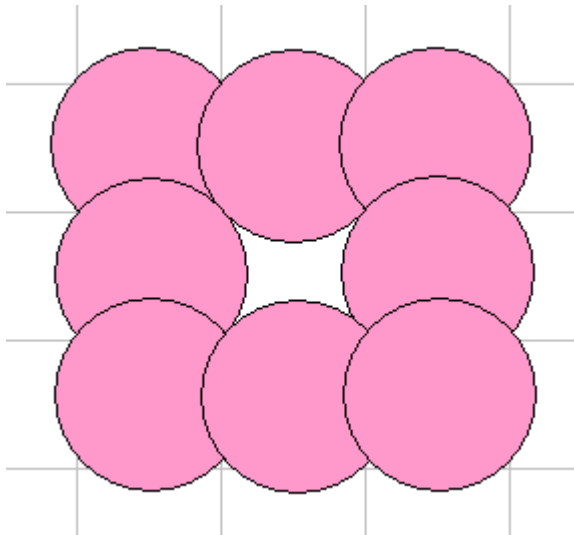


理想的なドットの場合、その直径は、解像度のピッチと等しくなりますから、その面積は、解像度あたりの四角の 1 辺を 1 とすると、 1.57 になります。

よって、現在の主流のディザ (打つか打たないかの dot の面積比率でグラデーションなどの中間調を表現する方法) である、誤差拡散法(%2)でドットが 1,

2, 3, , と増えていく場合、その dot 面積の増加の割合は 1.57 ですので
グラフにすると、 $y=1.57 \cdot x$ の直線に乗ります。

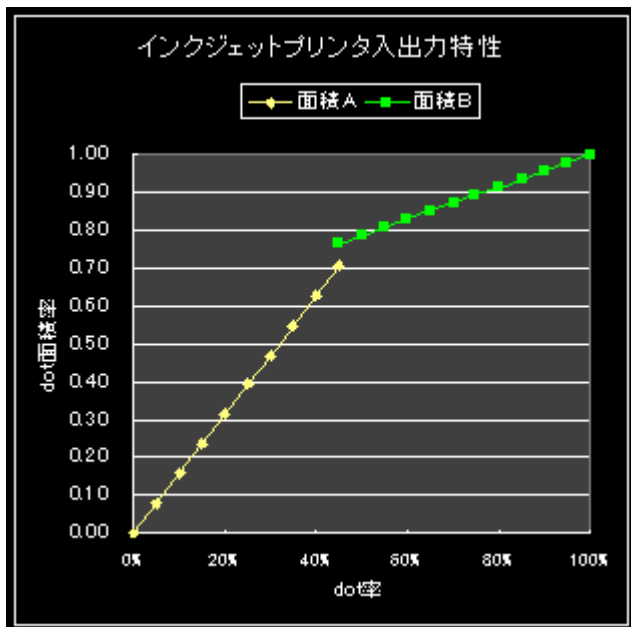
同様に、100% dot が埋まった状態から、1dot ずつ dot が抜けているシーンを考えます。



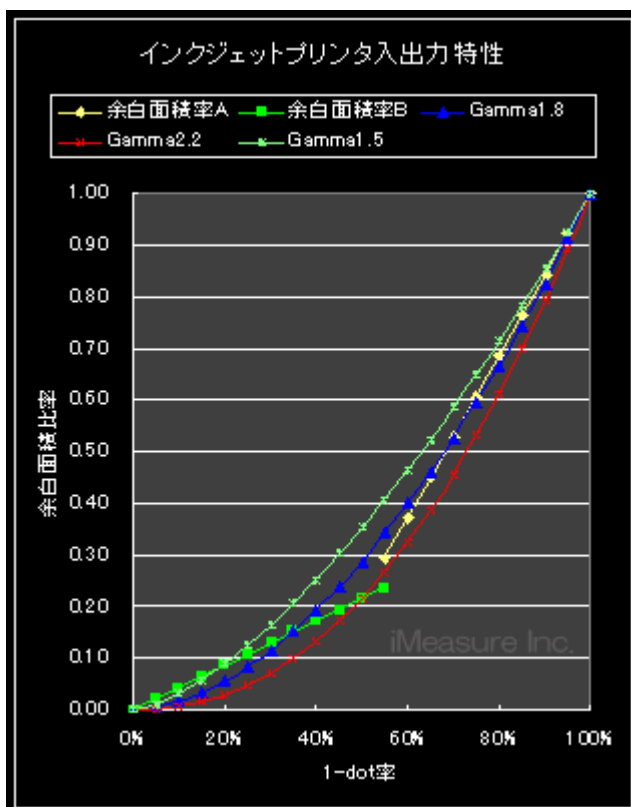
こちらは、四角の面積 - (円の面積 - 四角の面積) の分、つまり

$2 \times \text{四角の面積} - \text{円の面積} = 0.43$ だけ「黒さが抜けて」いくこととなります。

以上をグラフにすると次のとおりになります。



その7と同様にRGB系（0-255）とするためにX,Y軸を逆転します。



今回も、ガンマ1.8のラインを入れました。(他にもガンマ1.5, ガンマ2.2のラインを入れました。)

このシミュレーション結果を見る限り、インクジェットプリンタを使って、DTPシステム開発をしたとすれば、システムガンマを 1.5 にしたのではないでしょう。

(実際には、エプソンの初代インクジェットプリンタ開発当初、720dpi のピッチの $\sqrt{2} = 1.414$ のドットは打てなかったもので、ガンマ 2.2 くらいだったというウワサがあります。。 ^^)

(%1) 『[カラーイメージスキャナ設計技術](#)』に初掲。

(%2) 修正：平均誤差最小法⇒誤差拡散法

■ DTP の夜明け その5 補足

「ガンマとは、いわゆる真空管の三極管の特性として使われます。」

に関連して、資料がありますのでリンクします。

■ 日本画像学会技術講習 [「カラーイメージスキャナの設計技術」](#)
[1999-6-24]

<http://www.imeasure.co.jp/pdf/NihonGazouGakkai.pdf>

page-3 図 8

■ [情報処理学会論文](#) [1998.6.27] page-4 図 4

<http://www.valley.ne.jp/~ichinose/pdf/JouhouShoriGakkai.pdf>

■ [日本工業技術センター論文](#) [1991.4.16] page-9 図 3-4

<http://www.valley.ne.jp/~ichinose/pdf/NihonKougyouCenter.pdf>

● 論文の著作権について [2000. 4. 12]

本論文に掲載した一ノ瀬著作の論文の取り扱いについて注意事項を記します。

< 1 > 著作権の所在：

著作権は、一ノ瀬修一個人にあります。

< 2 > 公開の目的：

自学、自習を支援するために公開情報としてここに掲載します。
個人で学ぶためにダウンロード、複製することを許可します。

< 3 > 出典記載義務、連絡義務：

論文全体、もしくは一部を他の用途（書籍、雑誌、教育用資料、
WebSite、プログラムコード等）に利用する際には出典を明記
してください。

また、場合によっては次の< 4 >の条件に抵触する可能性もあり
ますので、利用が発生する前に必ず私にご一報ください。

<出典の記載例>

アイメジャー有限会社のページ/日本画像学会論文
<http://www.imeasure.co.jp/pdf/NihonGazouGakkai.pdf>

< 4 > 図の部分複写、部分加工の禁止：

論文の中には、当該論文への掲載のみを条件に認可して頂いた
図が含まれています。従って、論文に含まれる図を部分的に
複写、加工して他の用途に転用することを原則として禁止します。
どうしても利用する図がある場合は、利用が発生する前に
必ず私にご相談ください。（contact：info@imeasure.co.jp）