

# 光ディスク

## その1－光ディスクとは



CDやDVDの所謂「光ディスク」は、音楽・映像の再生の用途で、今や家電品の非常に貴重なメディアとして重宝されています。

周囲を見ても、ツタヤのレンタルDVD、音楽CDなどはもはや生活必需品のように考えられていますが、これらは概ねROM（**Read only memory**）として作られ、使われているわけで、このような使われ方である限り、子供でも簡単に使いこなしているのですから、難しいことはありません。

またパソコンの世界ではデータの記録・保存やソフトウェアのコンテンツの媒体として大活躍しているものの、ただ「読む」だけでなく、「書く」ことも必要となり、日常的にパソコンの操作でCD、DVDを、全く不自由なく使っているか、また自分でコピーを作ったりすることが出来るかと、云われると、これはかなり難解な代物で、自家薬籠中のものとしてマスターすることは非常に難しい面があるのです。

おまけに、更に厄介なことはIT世界の常として、光ディスクもまた日進月歩どころか、目まぐるしい進化を続けており、これは一寸前の知識は役に立たないという有難いけれども、頭痛のタネでもあるのです。

このような競争社会の切磋琢磨により、我々はその果実を享受しているのですが、反面あまりにも激しい競争の故に、実に多種多様な製品が次々に登場してしまい、この間の規格の不統一や互換性のないことが、ユーザーには非常に煩瑣な問題ともなっているわけで、これは技術進化の持つ二面性であります。

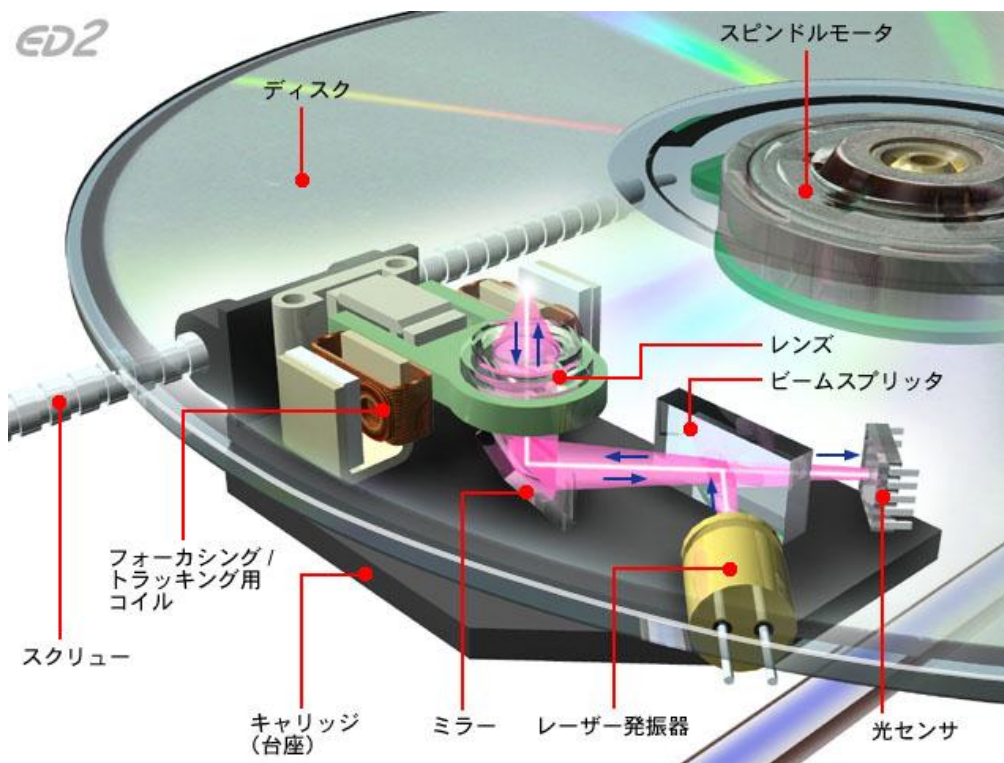
かくして、我々のような素人ユーザーは、折角の非常に有能なメディアを、どのように最大限に活用できるかには、少しはお勉強すること、常に進化をウォ

タッチすることが喫緊の課題となる次第です。

## 1) 光ディスクとは何か

「光ディスク」とは、光学ドライブ装置を使い、光（半導体レーザー）の反射により、データを読み書きする記録媒体（メディア）のことです。

ディスクにはピット（小さな穴）が刻み込まれており、レーザー光線を当てるとピットの窪みでは乱反射を起こしますので、それを光センサーで読み取って解読することにより、データの再生がなされるのです。



最も古く史上に登場したのは、レーザーディスクですが、レーザーディスクはその後衰退してしまっていて、もはや殆んどドライブの製造もメディアの販売も行われていないので、今回は省略します。

## 2) 光ディスクの種類

極く大雑把に云えば、光ディスクは進化の過程で容量の増大という至上命題に応えて来ましたので、現在使われている光ディスクは、歴史的にも、容量の面からも3つに大別されます。

- i) **CD (Compact Disc)**                      540MB～700MB  
1980年代に登場、赤外線半導体レーザーを使用する。この時期登場したレーザーディスクは、その後衰退した。
  
- ii) **DVD (Digital Versatile Disc)**      4.7GB～9.4GB  
1990年代に登場、赤色半導体レーザーを使用する。片面2層、両面なども出現した。
  
- iii) **BD (Blu-ray Disc)**                      25GB～50GB  
2000年代に登場、青紫色半導体レーザーを使用する。世界を真っ二つに割った主導権争いが続いたが、東芝陣営のHD-DVDが2008年春撤退して決着が着いた。
  
- iv) **HVD (Holographic Versatile Disc)**  
未だ開発途上の、第四世代光ディスク。  
赤と青緑の2色の半導体レーザーを使用する。

大雑把に上記をおさらいしてみましょう。

#### i) CD

現在はオレンジフォーラム（最近CDs 21ソリューションとなった）を策定団体として、大部分のメーカーがこれに所属しているので、規格の問題はほぼ解消したと考えてよく、音楽CDとCD-ROMの規格をベースとしています。容量は700MBが上限、価格はCD-R（一回だけの書き込み）で¥30～¥250 CD-RW（書き換え可能）で¥120～¥300。

CD-ROMというのは極く普通に子供でも知っている商品であり、非常に安価で扱いも簡単ですから、音楽、ゲーム、パソコンのソフトなどに大量に使われております。

しかしながら、700MBという上限の容量はデータ保存の容量としては、もはや十分とは云えないので、パソコンのデータ保存のためのメディアとしての役割は限定的とならざるを得ません。

パソコンのバックアップ・データの保存とか、データの伝達のためには、今やCDよりは、むしろUSBメモリーやオンライン・ストレージを使う方が遥かに簡単で便利なので、嘗てのフロッピー・ディスクと同様にCDもこのような仕様面衰退期を迎えております。

## ii) DVD

業界はDVDフォーラム (DVD-R, DVD-RW, DVD-RAM) とDVDアライアンス (DVD+R, DVD+RW) とに二分されていますが、スーパーマルチドライブが完全に普及してしまっているため、読み取りだけなら、互換性の問題はかなり解消されて来ています。

しかしながら、DVDを自分で焼くとなると、これはまだまだ非常に厄介で、他人の作ったDVDが読めない、パソコンとDVDプレーヤーとの互換性が無いというような話は日常茶飯事であります。

実はこの点こそが今月のテーマアップの主たるポイントなのです。

映像コンテンツが主たる対象になるわけですが、多層メディアが出現して容量は将来更に大きく出来る可能性もあるようです。

価格は

DVD-R (1層4.7GB, 2層8.5GB) ¥40~¥800

DVD-RW 4.7GB ¥200~1000

DVD-RAM (片面4.7GB, 両面9.4GB) ¥250~1100

DVD+R (1層4.7GB, 2層8.5GB) ¥110~1000

DVD+RW 4.7GB ¥250~500

ハイビジョン映像で適正に焼けば1時間ですが、画質を落としてしまえば、3時間くらいまでを一枚で焼くことが可能ですから、テレビ録画用のメディアとしては十分役に立ちます。

## iii) BD

2008年春、長年覇を競って来たBlu-rayとHD-DVDの争いに決着がついて、東芝陣営が撤退したので、ユーザーにとっては一安心です。

しかしながら、未だドライブが販売開始されたばかりであり、メディアも高額なので、普及は今後の問題となりましょう。

現時点での価格は

BD-R (1層25GB、2層50GB) ¥650~2000

BD-RE (            々            ) ¥1100~4000

## その2-光ディスクの基礎



まず、多くの光ディスクで共通している基本的な原理について見てみよう。光ディスクはいくつかの層が重なった構造になっており、例えばCDの場合なら、次のような層から構成されている。

- ・ポリカーボネイト(polycarbonate)層
- ・アルミニウム層
- ・アクリル保護層
- ・レーベル層

データが蓄えられている層はアルミニウム層で、そこにはピット(小さな穴)が刻み込まれている。ただし、ピットという言葉が当てはまるのはレーベル側から見た場合で、下からディスク面にレーザー光を当てる場合はピットは凸になっ

ている。ピットは同心円状ではなく、中心から渦を巻くかたちで書き込まれている。

このピットのサイズが小さければ小さいほど、同じ面積のディスク面内に多くのデータを詰め込めることになる。 最小ピット長やピットトラックについては、CD よりも DVD や次世代光ディスクのほうが小さい。また、DVD や次世代光ディスクでは、データ層を二層にしたり両面記録することでさらなる高情報密度化を図っている。

では、このピットをどのようにして読み取っているのだろうか？

レーザー光の焦点が光ディスクのデータ層にあわせられたとき、レーザー光がピット部分に当てられた場合は散乱されてしまうが、ピットとピットの間にある平らな部分(ランドと呼んでいる)に当てられた場合は反射される。反射された光はプリズムを通して光センサー(フォトダイオードアレイ)に届く。光センサーは受け取った光の量によって出力電圧が変化する。したがって、変化する反射光をフォトダイオードの電圧変化で感知することで、ピットとランドを読み取っているわけだ。

ただし実際は、ピットとランドが直接"0"と"1"のデータに対応しているわけではなく、CD や DVD のデータフォーマットによって、ピットとランドでどのようにデータを保存しているかは異なってくる。

ところで、ディスク上のデータを読みとるとき、同じ速度で回転するならば内側のトラックよりも外側のトラックのほうがデータ速度が速くなってしまふ。そのためディスクの回転速度は、内側を読み取る時に速く、外側を読み取る時は遅く変化させることで、データ速度を一定に保っている。例えば CD の回転速度は 200rpm(回転/分)から 500rpm の間で変化している。



## CD-ROM, CD-R/RW の比較

CD-ROM の容量はフロッピーディスクの 450 倍近くにもなる。おかげで CD-ROM は大容量のデータを安価に配布する手段として定着した。例えば AOL などのプロバイダーは接続ソフトとしてあちこちに配布しまわっていたし、パソコン雑誌に CD-ROM が付録として付いていても、雑誌の価格はほとんど変わらない。ただし、CD-ROM の問題は、ディスクをプレス製造する装置が高価で、数枚単位でディスクを製造する場合はコストがかかりすぎてしまうということにあった。

そこで登場したのが CD-R(CD-Recordable)だった。データ層にアルミニウムが使用されている CD-ROM とは異なり、CD-R には感光性の有機色素が使われている。この色素に読み込み用よりも強いレーザー光が当てられて、色素の反射率を変化させる。この変化が CD-ROM でいうピットに相当する。このとき、プリグループと呼ばれる基板上の誘導溝に沿ってレーザー光が照射される。

この変化は半永久的なものなので、CD-R に書き込みができるのは一回限りである。CD-R にデータを書き込むことを、よく「CD-R を焼く」という背景にはこういう理由がある。

有機物というのは、分子構造をコントロールすることで光学的な特性などを少しずつ変化させるのが可能である。そこで、メディアメーカーや化学メーカーは、独自の材料で CD-R に適合した有機色素を開発し CD-R を商品化している。メーカーによって CD-R の色が金色だったり青色だったりするが、これは使われている有機色素の構造が異なるためである。有機色素は、シアニン系、フタロシアニン系、アゾ系の三つに大別されている。

CD-R の再書き込みができないという弱点を補うべく登場したのが CD-RW(CD-ReWritable)だった。CD-RW では、CD-R のように感光性の有機色素が使われているのではなく、結晶とアモルファスの相変化(phase transition)

が可能な材料が利用されている。この材料には、**Ag-In-Sb-Te**（銀-インジウム-アンチモン-テルル）の四元素の合金がある。

結晶相を一気に融点にまで昇温し、不規則な原子の状態をつくり出す。これがアモルファス状態で、つぎにこの状態を急速に冷却すると、原子はばらばらな状態でフリーズされ、温度が下がってもアモルファス相が形成されている。

一方、融点には至らない、やや中間的なレベルにまで昇温しておいて比較的ゆっくり冷えるように温度管理をしてやると、今度は原子が元の状態に組み替わることができ、結晶相が形成される。データを消去する場合には、このようにして結晶相に変化させる。

アモルファスとは原子の配列が乱雑な状態で、結晶と比べて反射率が低くなる。この変化をピットとランドとしている。**CD-RW** ドライブには、この二つの温度を再現できるように、出力の異なったレーザーが備えつけられている。

## DVD について 「オーケストラ」から「ハリウッド」へ

大容量のデータ保存にまったく無力なフロッピーディスクに取って代わるかたちで登場してきたCDだったが、映像の記録となるとCDでも同様に無力になってしまう。CDは「オーケストラ」を自宅で再現できるようにしてくれたが、「ハリウッド」までは再現してくれなかったのだ。

一般にCD-ROMにMPEG-1形式で映像を記録する場合、その画質は三倍速で録画したビデオテープのものよりも粗いうえに、一枚のディスクに保存できるのは70分程度のものでしかない。仮に高画質のビデオテープ並のMPEG-2形式で記録するとCD-ROMでは20分以下になってしまう。

結局、ハリウッドを自宅で楽しめるようになったのは、DVD (digital versatile disc)の登場のおかげだ。DVDはCDと同じように120mmの直径、1.2mmの厚さにもかかわらず、その記憶量は最大で約17GB、転送速度やアクセス速度もCDよりもはるかに優れている。では、このDVDの物理的な中身はどうなっているのだろうか？

## DVDの情報密度



DVDの基本的な原理はCDのものとはほとんど変わらない。ただし、CDと同じ大きさのディスク 図. CD と DVD の物理的な比較上により多くの情報を詰め込むためには、それだけ情報を記録するピットのサイズが小さくしなければいけない。図にもあるように、CDの最小ピッチが  $0.83\mu\text{m}$ 、トラックピッチが  $1.6\mu\text{m}$  であるのに対し、DVDではそれぞれ  $0.4\mu\text{m}$ 、 $0.74\mu\text{m}$  である。それに伴って必要なレーザーの波長も短いものでなければならなくなる。CDのレーザーはほぼ赤外の  $0.78\mu\text{m}$  の波長の光が使われているのに対し、DVDでは可視領域の  $0.64\mu\text{m}$  のものが使われている。おかげでDVDのディスクの片面には  $4.7\text{GB}$  の情報を書き込むことが出来る。

DVDのレーザー光の波長が短くなったことでうれしい副作用が生じるようになった。光の波長とデータ層と読み取りヘッドの間の距離とは関係があり、波長が短くなるとプラッター(ディスクの主要な層)が薄くなる。おかげでDVDのプラッターの厚みは  $0.6\text{mm}$  となり、その裏に厚みが  $0.6\text{mm}$  のプラスチックのblank層を貼り付けてある。これが片面用のDVDである。もちろんこのblank層をストレージのために有効に使うことも出来る。blank層を貼り付けるかわりにデータ層を貼り付けて、両面でストレージを可能に



すればよいのだ。これによって両面のDVDは  $9.4\text{GB}$  の情報を書き込むことができる。しかしDVDには、これ以外にも情報を蓄えるスペースが残されているのだ。レーザーの焦点距離を調節すれば、片面に二層のデータを蓄えることが出来るようになる。もっとも二層目は反射率の低さなどが原因で一層目ほど高密度に書き込むことが出来ないの、単純に2倍、4倍ということにはならないが、片面二層式のDVDなら  $8.5\text{GB}$ 、両面二層式のDVDなら  $17\text{GB}$  の情報を書き込むことが出来るのだ。現在の映画用のDVDには片面二層式のものがよく使われている。

### その3 - CD

CDとはコンパクト・ディスクのこと。

1981年にフィリップスとソニーにより、音楽の録音の目的で開発されました。

それまでのレコードに取って代わるべく、巨匠カラヤンが逸早く着目したために爆発的に販売が進み、音楽再生メディアとしての地位は今や不動のものとなりました。

## 2-1 歴史

1981年のザルツブルク復活音楽祭で、ヘルベルト・フォン・カラヤン財団が、ソニー、フィリップス、ポリグラム・グループと協力し、急遽、CDの生産に踏み切ると発表した。

1982年10月1日、日本ではソニーから最初のCDプレーヤー（CDP-101）とCDソフトが発売された。同時に、レコード店で取扱いが始まったが、当初は「レコードよりも音質がよく、ノイズがないニューメディア」として扱われた。レコードと同じ商品のCD版として売られ、価格もレコードより2割ほど高かった。翌1983年の早い時期に、米国およびその他の市場で販売開始となった。

レコード会社が親会社であるオーディオメーカーに配慮してレコード生産を縮小したこともあり、1986年には早くも、販売枚数ベースでCDがLPを追い抜き、その後、1990年代にかけて、LPは生産されなくなっていくわけです。

この記録メディアに「コンパクト」という言葉が使用された理由は、フィリップス社の意向によるところが大きい。CDの開発段階でフィリップス社がソニーに提示した試作品の大きさは、コンパクトカセット（開発はフィリップス社）の対角の長さと同じ直径11.5cm（カセット本体が試作品CDにきれいに内接する大きさ）であり、コンパクトカセットとの名称の一貫性が図られていた（ただし、その後ソニー側の提案で収録できる時間を延長したため、実際には直径は0.5cm増えて12cmとなった）。

コンパクトディスク（CD）が登場した1982年は、まだ直径30cmのアナログレコードが広く流通しており、「直径12cmのディスクに30cmのレコードと同程度の時間だけ音楽が記録できる」ことは驚きで、「コンパクト」（小型に収めた）というこの名称は適切なものであったといえる。因みに、当時の映像分野での最先端記録メディア「レーザーディスク」が直径30cm、コンピュータの分野の「フロッピーディスク」は8インチ（1辺が約20cm）または5.25インチ（同13cm）が使用されていた。

その後の技術革新で各種記録メディアの小型化・高密度化なども進んだが、スーパーオーディオ CD、DVD、DVD オーディオ、次世代 DVD (BD、HD DVD) などの光ディスクはいずれも直径 12cm であり、この大きさは今後もこの分野での標準として継続するであろうと思われる。

## 2-2 概要

コンパクトディスクの外見は直径 12cm または 8cm、厚さ 1.2mm の円盤状で、プラスチックから作られている。

プラスチックの材質はポリカーボネートであるが、APO (非晶質ポリオレフィン) を使用したものもある。

読み取りには 780nm の赤外線レーザーが用いられ、照射したレーザー光の反射を読み取る。レーザー光を反射させるため、コンパクトディスクはアルミニウム蒸着膜 (厚さ約 80nm、これが鏡のような役割を持ちレーザー光を反射する) と保護層 (厚さ約 10 $\mu$ m)、(レーベルなどの) 印字膜の複数の層を重ねた構造になっている。

ディスクには非常に細かいくぼみが彫られており、このパターンによってデジタル情報を表現している。このくぼみ (読み取り面から見れば出っ張りになる) をピットといい、ピットのない部分をランドという。ピットのない部分に当たったレーザー光は反射してそのまま戻ってくるが、ピットがある部分に当たったレーザー光は、ランドからの反射波と 1/2 波長の位相差をもつため干渉して打ち消しあい暗くなる。この明暗によりデジタル信号を読み取り、これをアナログ信号に戻して音声として出力する。ピットの幅は 0.5 $\mu$ m で、長さは 0.83 $\mu$ m から 0.3 $\mu$ m 単位で 3.56 $\mu$ m まで 9 種類、ピットから次のピットまでの距離も同じ 9 種類である。またピットの列をトラックというが、このトラックは 1.6 $\mu$ m 幅で、内側から外側に向かって渦巻状に並んでいる。なお CD の虹色のような光沢は、この規則正しく並んだトラックで回折した光が干渉することによる構造色である。

SACD や DVD-Audio が登場した現在でも音楽供給媒体としてはいまだに主流であり、これらの次世代メディアへの置き換えは進んでいない。CD の本当の敵は、それら次世代 (有形) メディアではなく、インターネットによる音楽配信と言えるかも知れない。

## 2-3 容量

1 枚のコンパクトディスクは、CD-ROM 形式の場合約 650 - 700MB の容量を持ち、CD-DA 形式では最大収録時間は約 74 分 - 80 分である。

コンパクトディスクは、650MB では約 333,000 セクタ、700MB では約 360,000 セクタからなる。1 セクタは 2,352 バイトであるが、1 セクタあたりのデータ容量は CD-ROM で 2,048 バイト、CD-DA で 2,352 バイトである。CD-ROM は CD-DA より厳密なエラー訂正が必要となるため、2,352 バイトのうち 304 バイトをヘッダやエラー訂正などに割り当てていることから、CD-DA より容量が少なくなる。

なお、この 650MB という容量は、以下の計算式によって求められる。CD-DA 形式では、音楽データをサンプリング周波数 44.1kHz、量子化ビット数 16 ビット、2 チャンネル（ステレオ）で記録している（1 秒分の音楽データを 44,100 回に分割し、1 回あたり 16 ビットを費やして記録している）。このため、1 秒分のデータ量は  $16 \times 44,100 \times 2 \div 8 = 176,400$  バイトである。これが 74 分だと  $176,400 \times 60 \times 74 = 783,216,000$  バイトとなり、これは約 747MB となる。全領域に音楽データだけを記録するならこれだけの記録が可能なのだが、CD-ROM の場合はエラー訂正用データ等が入るため、全領域を使用できない。従って、使用できる容量は  $783,216,000 \times 2048 \div 2352 = 681,984,000$  バイトとなり、これが約 650MB となる（1kB=1,024 バイト、1MB=1,024kB 換算）。

## 最大収録時間

最大収録時間（約 74 分）が決まったいきさつについて、開発元のソニーによれば以下の通りである。

開発の過程で、カセットテープの対角線と同じで DIN に適合する 11.5 センチ（約 60 分）を主張するフィリップスに対し、当時ソニー副社長で声楽家出身の大賀典雄が「オペラー幕分、あるいはベートーベンの第九が収まる収録時間」（12cm、75 分）を主張して、調査した結果クラシック音楽の 95% が 75 分あれば 1 枚に収められることから、それを押し通した。

その他、カラヤンが絡んでいるという話も流布している。

開発当時、指揮者カラヤンが「ベートーベンの交響曲第九番を収録できるように」と提言した。指揮者によって演奏時間は変わるが、1951 年にライブ録音されたフルトヴェングラー指揮の交響曲第九番は歴史に残る名演奏とされ、演奏時間も長い（およそ 74 分）ことから、この演奏がコンパクトディスクの規格になったといわれる。

この話では、カラヤンがなぜ、フルトヴェングラー指揮による演奏の CD 化に対して心配しているのか疑問が残るものの、カラヤンが音楽媒体のデジタル化を望んでいたことは事実であり、他方では大賀がフィリップスを説得するためにカラヤンの名を引き合いに出したという見方もある。

また、8cmCD (CD SINGLE) の最大収録時間は約 22 分程度である。これは、CD ビデオのオーディオパートとビデオパートを分けてそれぞれ開発した際に由来している。8cm というサイズは、ケースに収納したときレコードのシングル盤のちょうど半分のサイズとなるため、店舗でレコード用の棚を使いまわせるだろうと考えたため。

## 転送速度

音楽 CD(CD-DA 形式)の再生時のデータの転送速度は等倍速で 1 倍速(150kB/s)を基準として、最大記録時間は 640MB のディスクで約 72 分、650MB のディスクで約 74 分、700MB のディスクで約 80 分となる。この音楽 CD の 1 倍速を基準として、ディスクのデータ転送速度を表すのに「〇倍速」という言い方を

## 補遺

### disc と disk はどう違うのか

作成日時 : 2007/12/25 22:08

先日ふと disc と disk とはどう違うのだろうかという疑問が浮かんだ。どちらも似たような意味のはずだが、何か使いわけがあるのだろうか、と考えたのである。そこで辞書やネットで調べてみた。

このうち辞書は、どれも同じような記述だった。disc のところに US also disk あるいは another spelling of disk、そして disk に UK ALSO disc などとあって、イギリスでは disc、アメリカでは disk がより使われる傾向にあるほかは、特に違いがないように見える。

詳しくしたのは Wikipedia で、Spelling of disc という項目を立てていて、2つの違いを説明していた。以下、ポイントとなりそうなところだけを引用させていただきます。

- The earlier word is disk, which came into the English language in the middle of the 17th century.

- In the 19th century, disc became the conventional spelling for audio recordings made on a flat plate, such as the gramophone record; this usage

gave rise to the modern term disc jockey.

昔の（しかし今も一部で愛好者がいる）アナログの円盤レコードは disc だった。

- In the 1950s, when the American company IBM pioneered the first hard disk drive storage devices, the k-spelling was used. However, some latter-day storage device manufacturers prefer the c-spelling.

辞書を見ると、確かに hard disk を見出し語にしているものがほとんどである。また、Google で検索してみても同様である。といっても hard disc も結構ヒット数がある。

- In 1979 the Dutch company Philips, along with Sony, developed the compact disc medium; here, the c-spelling was chosen, possibly because of the predominating British spelling, or because the compact disc was seen as a successor to the analogue disc record.

CDには disc が使われた。

- ... In computer jargon today it is common for the k-spelling to refer mainly to magnetic storage devices (particularly in British English, where the term disk is sometimes regarded as an abbreviation for diskette (a much later word), or is taken to refer to an object constructed from discs rather than a disc itself).

- The c-spelling is then used for optical media such as the compact disc and similar technologies (Apple Inc. considers this official).

磁気記憶装置には通常 disk が使われる傾向にあるという。円盤そのものは disc であっても、それを含めたディスクットとしては disk になると理解すればいいということか。

- Even in the computing field, however, the terms are used inconsistently; software documentation often using one or the other spelling exclusively.

Beyond the realm of technical terminology, usage generally follows local spelling patterns and preferences.

ということで、結論としては、少なくとも日常生活レベルでは、そう神経質に

なることはない、ということのようである。だから、辞書も disc を US also disk としても大きな問題はないと判断しているわけだろう。とはいえ、こうした探索を試みるのも、英語に親しむ上でムダではあるまい。

—おわり—