

光学メディアの長期保存および 被災時のための耐久性実験

竹淵 弘一郎 高橋 武 横井 利彰

今日までデジタルの記録メディア（ハードディスク、フラッシュメモリー、光学メディア）は様々な情報の長期保存媒体として、業務用・個人用を問わずに活用が急速に拡大している。国立国会図書館では、国内で刊行される出版物を広く収集し日本の貴重な文化遺産として後世に残していくために、本格的な長期保存の課題に取り組んでいる。このような中で、現在多用されている光学メディアの保存の目安としては、国際規格で最適な温度・湿度（温度 18℃湿度 40%）が示されているが、例えば家庭の中でどこが適した保存場所であるのかは必ずしも明らかではない。また、適するとされる場所に長期保存しているとしても、災害などの突発的な要因で記録データが危険にさらされる場合も考えられる。そこで本稿では、記録メディアの中で一般的に長期保存に適していると言われていた光学メディア（CD、DVD、BD）に焦点をあて、日常の環境の中で理想的な長期保存方法と、被災時にどれほどの耐久性があるものなのかを実験により検討することとした。

キーワード：光学メディア、長期保存、耐久性、データ復旧、保存環境

1 まえがき

光学メディア「CD/DVD/ブルーレイディスク（BD）」は平均寿命が 10 年以上あるといわれ、文献[1]によれば「品質や保存環境が良ければ 20~30 年以上性能を維持する」とされている。しかし、光学メディアの普及が進むなかで、価格競争により劣悪なものも市場に出回るようになり、粗悪品では短期間で読み出し不可能になるものがあるなどのトラブルを引き起こしている。また、良質の光学メディアを使用するとしても、一般の利用者にはどのような場所が保存に適しているのかを判断するのが難しいという問題もある。さらに、光学メディアに対する脅威には、災害などの突発的な要因もある。2011 年 3 月 11 日に起きた東北地方太平洋沖地震による津波で東日本は甚大な被害を受け、人や建物だけでなく思い出がまつまった写真や記録メディアも被害を受けた。今回の災害による津波被害で海水・泥水に浸かってしまった記録メディアはどれほどのダメージを受けているのか計り知れない。

上記の点を踏まえ、本稿では、光学メディアに保存したデータを長期的に保存するのに適する場所について、生活環境の様々な場所での温度・湿度データを測定し、

保存前後の光学メディアのエラー値を測定することとした。その際に、日本メーカー製と海外メーカー製の複数の光学メディアについて実験し、比較することで信頼性の違いについても検証を行うこととした。さらに、被災に対する光学メディアの耐久性を明らかにするため、海水・泥水による浸水実験を行うことでその影響を明らかにするとともに、データ復旧の可能性についても専用ソフトウェアを用いて検討することとした。

2 光学メディアによる情報記録について

光学メディアとは光学ドライブを用いてデータを読み書きする記憶媒体の総称である。ディスク 1 枚あたりの容量は磁気テープに比べて少ないが、寿命が長く長期保存に向いているとされている。今回研究に使用した種類は CD、DVD、BD である。以降に光学メディアの特徴についてまとめる。

2.1 光学メディアの構造

光学メディアは「レーベル面」、「保護層」（CD にはない）、「反射層」、「記録層」、「保護層」という 5 つの層から基本的に構成される（図 1）。レーベル面は、印刷やタイトルを記入する機能を、反射層はレーザー光を反射する機能、記録層はデータを記録する機能、保護層はディスクの変形を防ぐための機能を有している。CD、DVD、BD によって構成と各層の厚みが異なっている。

また、-R と -RW で構造や仕組みの違いがある。-R は記録層に「有機色素」を使用している。強いレーザー光線

TAKEBUCHI Koichiro

東京都市大学大学院 環境情報学研究科 1 年生

TAKAHASHI Isamu

東京都市大学 環境情報学部情報メディア学科 2011 年度卒業生

YOKOI Toshiaki

東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科教授

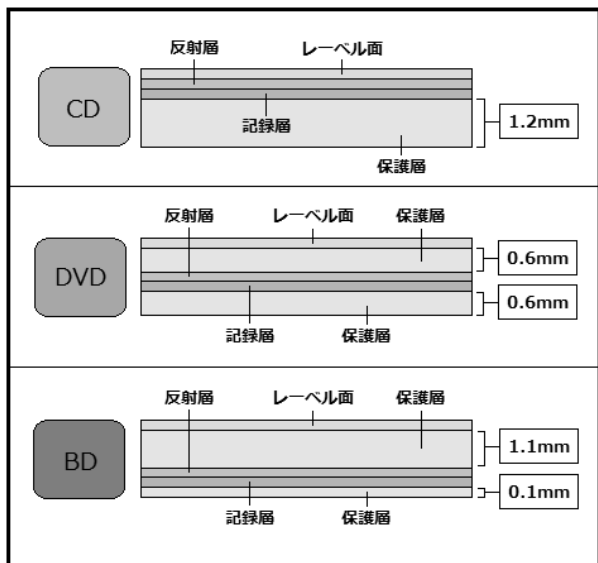


図1 光学メディアの基本構造

を照射することで有機色素に化学変化を起こさせてデータを記録する仕組みとなっている。有機色素は一度化学変化すると元には戻らないため、書き換えは不可能になる。他方、-RW は記録層にアモルファス金属材料を使用し、レーザー光線の照射による加熱と冷却の速さによって、結晶化または非晶化の違いで記録する。

2. 4 光学メディアの寿命と品質の判断指標

光学メディアの寿命と品質の判断指標に「エラー値」がある。エラー値とは、データを正しく読み取ることのできなかつた数のことで、劣化が進むと値が増加する。光学メディアでは、ディスク表面の埃や、記録層の劣化等が原因で読み取りエラーが発生しているが、その程度が小さい場合には、強力なエラー訂正機能により元のデータが完全に復元される。しかし、読み取りエラーが訂正可能な範囲を超えると、正しくデータを読み取れなくなり、ファイル管理情報やファイルの内容自体に致命的な欠損を生じることになる。光学メディアの種類によって訂正の仕組みが異なるため、エラー値の名称は異なるものとなっている (CD では「C1」、DVD では「PIE」、BD では「LDC」)。新品の光学ディスクにおいては、将来の劣化に備えて初期エラー値は極めて小さいことが望ましい。しかしこの強力なエラー訂正能力を逆手にとり、新品でもエラー値の多い粗悪なディスクも流通しているのが現状である。ちなみに、光メディアは一般に、外周に行く程エラー値が高くなる傾向にあるので、ディスク容量ギリギリまで書き込むとこの外周までデータを書き込むことになるので、エラーが生じる可能性が高くなることに注意する必要がある。

なお、エラー訂正機能によっても訂正しきれなかったエラーの数を、それぞれの光学メディアにおいて、CDは

「C2」、DVDは「PIF」、BDは「BIS」として表す。本研究では Plextor 製のドライブとそれに対応した Plex UTILITIES というソフトを使用し、これらのエラー値を測定することとした。

3 生活環境における保存の影響および被災時を想定した実験

日常の生活環境の中で理想的な長期保存の場所を探るために、様々な場所での保管実験を行いエラー値の変化を測定することとした。また、津波などによる被災時を想定し、塩水や泥水に対してどれほどの耐久性があるのかを調べる実験も行うこととした。

3. 1 実験用光学メディアの選定

実験用の光学メディアは、CD、DVD、BD の-R、-RW、-RE について、国内、海外メーカー製を組み合わせ計 13 種類を用意した (表 1)。

表 1 実験対象とした光学メディアの種類

測定用光学メディア						
種類	CD-R	CD-RW	DVD-R	DVD-RW	BD-R	BD-RE
国内メーカー	国内A	国内B	国内C	国内D	国内E	国内F
海外メーカー	海外A		海外C	海外E	海外F	海外G
	海外B		海外D			

日本メーカー製のものは 1 枚 100 円以上、海外メーカー製のものは 1 枚約 20 円程度の価格が中心となっている。なお、光学メディアの生産形態には、OEM と ODM と呼ばれるものがある。OEM は相手先のブランド名で製造することをいい、品質はその製造者の技術に依存する。対して ODM は設計から製造までを手がけることをいい、その場合には、もしも生産場所が海外であったとしても、設計から製造までの全工程で国内メーカー側が主導権を握れば品質は国内メーカーと同等となる。本研究では、原産国が海外であっても ODM であれば国内メーカーと品質は同等のため国産として扱った。なお、今回の実験ではサンプル数が必ずしも多くはないため、断定的結果とならぬように、メーカー名については伏せることとした。

なお、光学メディアの選定にあたっては、DVD-R などの一系が現在の主流であって、+系はあまり出回っていないため一系のみを取り上げることとした。また、海外メーカー製の CD-RW はほとんど出回っていないため除外し、DVD-RAM は-RW と同じ素材でできているため今回は取り上げていない。2層3層構造のもの (例えば DVD-R DL) に関しては、材質的には単層と同様でありまた測定に時間が多くかかるため取り上げていない。また予備実験から、海外メーカー製は品質の差が激しかったため、光学メディアの中でも特に安くて購入者が多いと思われる CD-R、DVD-R を 2 種類にした。

3.2 光学メディアの日常生活環境における長期保存実験

日常生活環境においてどのような場所が保存に適しているのか、また日本メーカー製と格安な海外メーカー製の光学メディアの品質の違いを調べるための実験を行うこととした。

3.2.1 実験手順

光学メディアの劣化実験を下記の①～⑤の手順で行った。

①定用光学メディアを選定し購入、②初期エラー値の測定、③日常生活空間に測定用光学メディアを設置、④各保存場所の温度湿度データの測定、⑤実験前と実験後の劣化状態をエラー値で比較

この実験では3.1で示した測定用光学メディア(国内メーカー製、海外メーカー製合わせて13種類)を、各保存場所に1枚ずつ使用した。

3.2.2 初期エラー値の比較

測定用光学メディアの初期エラー値を比較することで、国内メーカー製、海外メーカー製の初期品質を比較した。CD、DVDに関しては、日本メーカー製のものが海外メーカー製に比べエラー値が低い傾向にあった(図2、図3)。

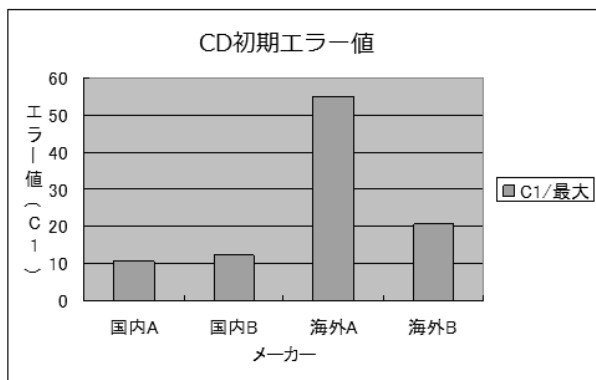


図2 CD初期エラー値

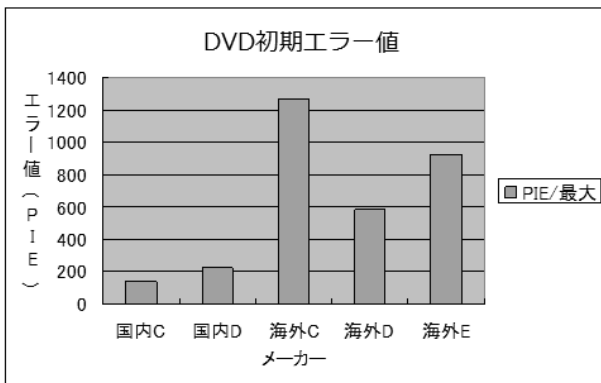


図3 DVD初期エラー値

また、1つの販売セット内でのエラー値のばらつきは、日本メーカー製、海外メーカー製で大きく異なるものであった。日本メーカー製のものはばらつきが少なく品質にばらつきは少なかった。それに対して海外メーカー製のものはばらつきが激しく、ひどいものは書き込みすらできないものすらあった。なおBDに関しては日本メーカー製、海外メーカー製でエラー値の大きな差は見られなかった(図4)。

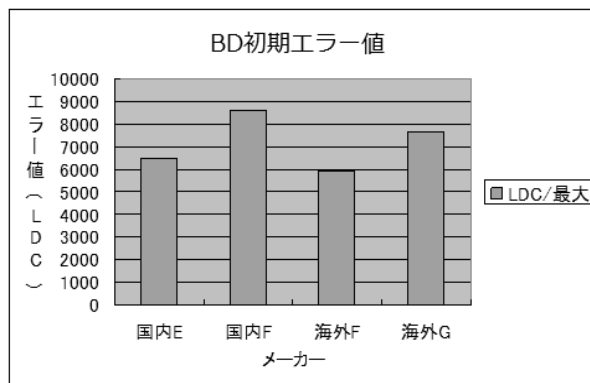


図4 BD初期エラー値

3.2.3 日常生活環境における保存場所の選定

測定用光学メディアの保存場所は、以下の7ヶ所を選び保存した(図5～図10)。

家屋内：机の中、本棚、押入れ、クローゼット、物置
その他：車内(トランク)、銀行の貸し金庫



図5 机の中



図6 本棚



図7 押入れ



図8 クローゼット



図9 物置



図10 車内(トランク)

※銀行の貸し金庫はセキュリティの都合上画像なし

3. 2. 4 保存実験期間と温度湿度測定結果

光学メディアは高温・多湿・紫外線下の環境に弱い性質を持つ。そこで光学メディアにとって過酷な環境である夏を含む期間に実施することで保存場所の適性を調べ

た。全保存期間は8月～11月の3ヶ月とした。

各場所における代表的温度・湿度の変化の測定には、ハイグロクロンというボタン型計測器を使用して下記の条件のもとに行った(図11)。

測定時期・・・8月, 測定日数・・・3日間, 測定間隔・・・1時間



図11 ボタン型温度湿度計測器(ハイグロクロン)

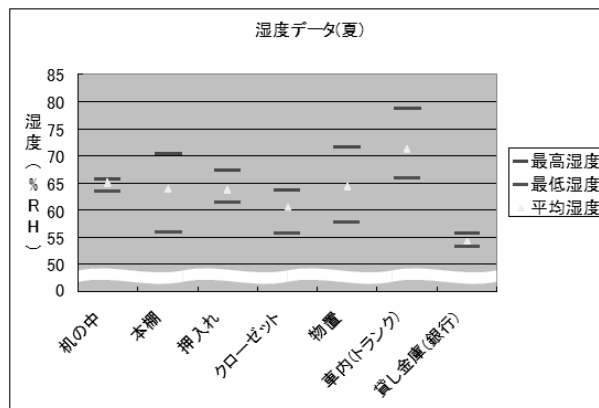


図12 温度データ(夏)

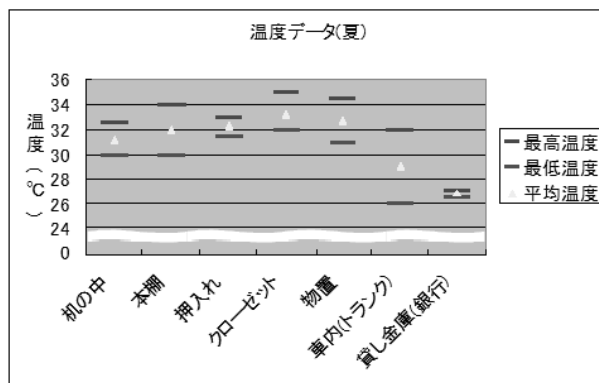


図13 湿度データ(夏)

日常生活環境の夏の温度湿度データの測定結果を図12, 13に示す。測定結果から、温度湿度共に貸し金庫が非常に安定した値をとっており、他の場所に比べて温度が低く、また時刻による数値のばらつきもほとんどなかった。それに対し、他の6カ所の場所はどこも最高温度

が30℃をこえる状況にあり、また時間によって温度湿度の値にばらつきがある状況であった。

3.2.5 各場所の実験用光学メディアのエラー値及びディスクイメージのバイナリデータの比較

バイナリデータでの劣化具合を確認するために、実験前後でのディスクイメージの比較も検討に入れた。ディスクイメージとは、光学メディア内のファイルシステムの完全な内容を1つのファイルに格納したデータである。実験前にこのデータを実験用ディスクから生成保存しておき、実験後に同様に生成したイメージとの比較を行った。

期間が4ヶ月と短かったこともあり、場所による影響はみられなかった。また、海外メーカー製はエラー値の上昇が不安定という傾向が見られた。実験前と実験後ディスクイメージを比較したところ、読み取りデータのバイナリデータの変化は見られなかったがエラー値自体は増加していた。よって今の時点ではエラー訂正の許容範囲なので、表面上では正常なディスクとして読み取られている。しかし裏では着実にエラー値が増加しており、ディスクの劣化自体は進んでいることがわかった。

3.3 海水・泥水に対する光学メディアの耐久性とデータ復旧

海水・泥水に対する光学メディアの耐久性を明らかにするために、3.1で述べた実験用光学メディアを用いて浸水実験を行った。また、フリーウェアのデータ復旧ソフトを用い、読み込めなくなった光学ディスクのデータを復旧できるかどうかの見通しを明らかにすることとした。以下では、その測定手順と測定結果についてまとめる。

3.3.1 実験用データディスクの作成

3.1で取り上げた光学メディアを、各メーカー製ごとに8枚ずつ計104枚用意した。この光学メディアに書きこむデータとしては、音楽ファイル(ファイルの種類はwav, mp3, midi, wma)、画像ファイル(jpeg, png, gif, bmp)、動画ファイル(fl, mp4, wmv, avi, swf)}を書き込むこととした。これらのファイルの種類のもはよく利用されるものを選んだ(図14)。総量は、エラー値の高くなる外周までを含むディスク容量の限界付近まで書き込むこととした。

また、浸水実験前後のデータのエラー値の変化、バイナリデータの変化を調べるため、実験前にデータをディスクイメージとして保存し、光学メディアの初期エラー値の測定を行った(図15)。

	音楽	画像	動画	計
CD	200MB(12曲)	200MB(198枚)	200MB(101個)	600MB
DVD	1.4GB(84曲)	1.4GB(1386枚)	1.4GB(707個)	4.2GB
BD	7.4GB(444曲)	7.4GB(7326枚)	7.4GB(3707個)	22.2GB

図14 各ディスクに書き込んだデータの内訳

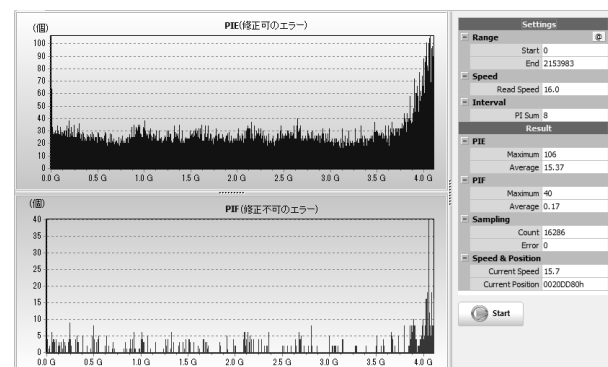


図15 DVD-R(国内C)のエラー値のグラフの例(浸水実験前)

3.3.2 浸水実験の準備

津波による被災などを想定した浸水実験に用いる海水は、葛西臨海公園に隣接する東京湾で採水し、また泥水のための土は陸地で採取した。紫外線の影響が出ることを考慮し、各メーカー製別8枚のメディアを日向・日陰に4枚ずつにわけて測定した。津波による濁流で傷ついた状態を再現するため各4枚中1枚には人為的に傷をつけた。傷の付け方は、CDはレーベル(記録)面、DVDは側面(記録層)、BDは記録面に光学メディアの外周にカッターで1cm程の傷を付けた。今回の傷の付け方はCD, DVD, BDが記録層にダメージを受けた場合を仮定しており、実際には傷に対するダメージに強いのはDVD>BD>CDとなる。これは瓦礫などの中で傷が付き記録層にまで達することを想定したものである。

3.3.3 浸水実験

海水・泥水による浸水実験を図16のように行った。左側は記録面を上に向け紫外線を当て、右側はブルーシートを被せ日陰の再現をした。また、浸水実験の場合分けを以下のようにした。

浸水期間：

ケースA：1日(9/14~9/15)

ケースB：16日(9/28~10/14)

紫外線の影響の有無：

ケースA1：紫外線照射なし(日陰)

ケースA2：紫外線照射あり(日向)

ケースB1：紫外線照射なし(日陰)

ケースB2：紫外線照射あり(日向)



図16 海水・泥水による浸水実験の様子

3. 3. 4 浸水実験前後の光学メディアの変化

ケースA1, A2:

エラー値が全体的に上昇しておりデータの読み取りに影響が出た(図17, 18). 状態の変化が著しく出たものもあった(図19). また, 当初読み込めなくなったものでも十分に乾かせば読み込めるようになったものもあった.

A1と比べ, A2の方が読み込めなくなっているディスクが多かった(図20). 今回の傷の付け方による差は見られなかった.

ケースB1, B2:

ほとんどの光学メディアに見た目, データの読み取りに深刻な影響が出ており(図21, 22), 残ったディスクのエラー値も上昇していた. B1とB2での差はわずかだが, B2の方が読み込めなくなっているディスクが多かった(図23). こちらも今回の傷の付け方による顕著な差は見られなかった.

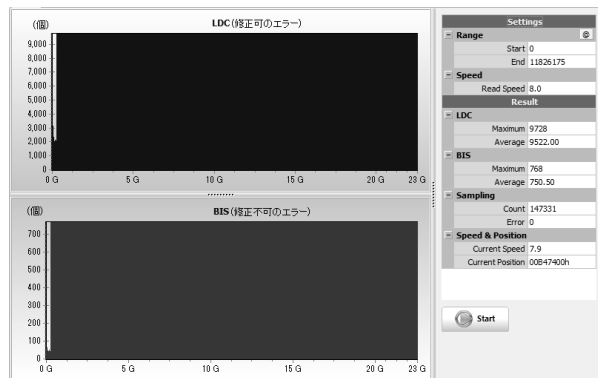


図18 浸水実験後(ケースA1傷なし)のBD-RE(国内F)のエラー値の例(PlexUTILITIESによる)

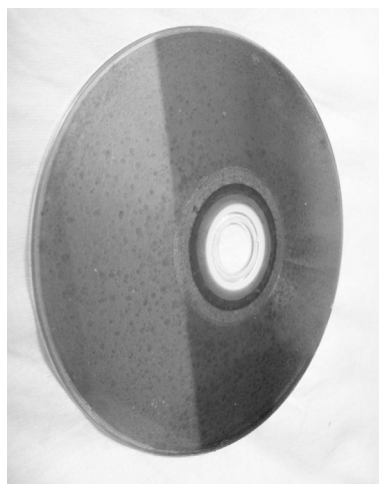


図19 ケースA1(傷なし)BD-R(国内E)の記録面の变化

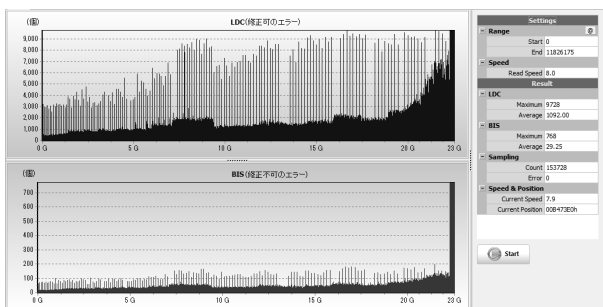


図17 浸水実験前の初期エラー値の例(BR)(PlexUTILITIESによる)

	日陰(ケースA1)				日向(ケースA2)			
	傷なし			傷あり	傷なし			傷あり
	1	2	3	4	5	6	7	8
CD-R								
国内A	○	○	○	○	○	○	○	○
海外A	○	○	○	○	○	○	○	○
海外B	○	○	×	○	×	×	×	○
CD-RW								
国内B	○	○	○	○	○	○	○	○
DVD-R								
国内C	○	○	△	○	○	○	○	○
海外C	○	○	○	○	△	○	○	○
海外D	○	○	○	△	△	○	△	△
DVD-RW								
国内D	○	×	△	△	×	△	△	×
海外E	○	○	△	△	△	○	△	△
BD-R								
国内E	×	×	×	×	×	×	×	×
海外F	△	△	×	×	×	×	×	×
BD-RW								
国内F	○	○	○	○	△	△	△	△
海外G	△	×	○	×	×	×	×	×

○...正常にデータを読み込めたもの(計56枚...CD:28枚, DVD:23枚, BD:5枚)
 △...エラーでデータを一部しか読み込めなかったもの(計21枚...CD:0枚, DVD:14枚, BD:7枚)
 ×...エラーでデータを完全に読み込めなかったもの(計27枚...CD:4枚, DVD:3枚, BD:20枚)

図20 浸水実験後ケースA1, A2の読み込み可否表

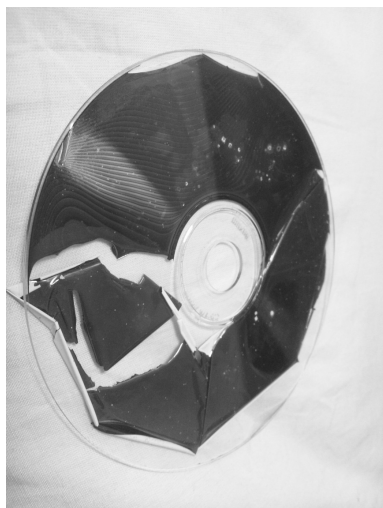


図 21 ケース B 2 (傷なし) CD-RW (国内 B) の記録面の変化

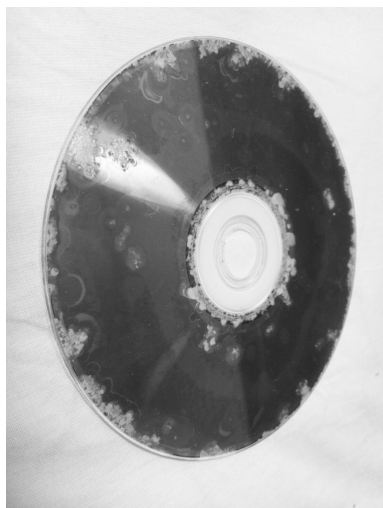


図 22 ケース B 2 (傷なし) DVD-RW (国内 D) の記録面の変化

	日陰(ケースB1)				日向(ケースB2)			
	傷なし	傷あり	傷なし	傷あり	傷なし	傷あり	傷なし	傷あり
CD-R								
国内A	△	×	×	△	×	×	×	×
海外A	○	×	○	○	×	×	×	×
海外B	×	×	×	×	×	×	×	×
CD-RW								
国内B	△	×	×	△	×	×	×	×
DVD-R								
国内C	×	△	△	×	×	×	×	×
海外C	×	×	×	×	×	×	×	×
海外D	×	×	×	×	×	×	×	×
DVD-RW								
国内D	×	×	×	×	×	×	×	×
海外E	×	△	×	×	×	×	×	×
BD-R								
国内E	×	×	×	×	×	×	×	×
海外F	×	×	×	×	×	×	×	×
BD-RW								
国内F	×	×	×	×	×	×	×	×
海外G	×	×	×	×	×	×	×	×

○…正常にデータを読み込めたもの(計7枚…CD:7枚, DVD:0枚, BD:0枚)
 △…エラーでデータを一部しか読み込めなかったもの(計7枚…CD:0枚, DVD:7枚, BD:0枚)
 ×…エラーでデータを完全に読み込めなかったもの(計90枚…CD:21枚, DVD:37枚, BD:32枚)

図 23 浸水実験後ケース B 1, B 2 の読み込み可否表

3. 3. 5 実験前後でのバイナリデータの変化

浸水実験前と浸水実験後ではバイナリデータに変化が生じていた。浸水実験後のエラー値は上がっており、状態が悪化していると推定できる。一方で浸水実験後のケース A 1, A 2, B 1, B 2 でバイナリデータの顕著な差はなかった。

3. 3. 6 データ復旧実験

読み取りが不可能になったディスクを対象に、「CD Recovery Toolbox Free」というデータ復旧ソフトを使い復旧を試みた。まず光学ドライブに挿入しても、全く認識しなくなってしまった実験用メディアで試みたが、やはり反応しなかった。次にエラーが発生しているものの一部のデータは読み込める実験用メディアで試みた、こちらは途中までは読み込めたものの、肝心の読み込めないデータの箇所ではハングアップし、結局復旧できなかった。また、一部のデータは読み込める実験用メディアの場合でも、読み込み時間が非常に長くなったり、ファイル管理情報が正常に読み込めず不安定なもの、ファイルを再生するとハングアップしてしまうものなど多岐に渡り、どの度合いでも通常の使用に支障をきたす状態だった。特にファイル管理情報が正常に読み込めないものは、フォルダなどの情報が壊れ一目でわかる状態であった(図 24, 25)。

名前	更新日時	種類	サイズ
▲ 現在ディスクにあるファイル (5)			
BMP	2011/07/27 13:41	ファイル フォルダ	
gif	2011/07/27 14:14	ファイル フォルダ	
gifアニメ	2011/07/27 14:44	ファイル フォルダ	
jpg	2011/07/27 14:11	ファイル フォルダ	
png	2011/07/27 14:17	ファイル フォルダ	

図 24 正常にデータを読み込める状態

名前	更新日時	種類	サイズ
▲ 現在ディスクにあるファイル (5)			
BMP		ファイル	0 KB
gif		ファイル	0 KB
gifアニメ		ファイル	0 KB
jpg		ファイル	0 KB
png		ファイル	0 KB

図 25 ファイル管理情報が壊れて正常にデータを読み込めない状態

4 まとめ

本稿では、光学メディアに保存したデータを長期的に保存するのに適する場所について調べるとともに、災害などを想定した海水・泥水での浸水実験を行い、実験前後の光学メディアのエラー値を調べた。光学メディアは日本メーカー製と海外メーカー製での品質によるエラー値の差、日常生活内でのわずかな期間でもエラー値が上昇すること、及び光学メディアの耐久性は海水・泥水に非常に弱く、大切なデータが保存されていてもデータが読み込めなくなると復旧が困難であるとわかった。

光学メディア大切なデータの長期保存のためには、初期段階からエラーが多い無名メーカー製を避け、国内メーカー製の光学メディアを使用して、温度湿度の安定している場所で保管し、3年程度を目安にデータをチェックし、必要に応じてバックアップを作成することが必要と考える。また、海水・泥水は致命的な影響なので極力避け、被災の可能性が否定できない場合には、海水・泥水に浸からないように密閉した容器で安全な場所に保管し、複数のバックアップを分散させて保管しておくことが大切であると考えます。

参考文献

- [1] 高田学也, 松元英樹: 「DVDは百年もつか?」『日経パソコン』2006/09/25号 pp. 42-59
- [2] 涌井健一郎, 鷹野美紀: 「DVDの寿命を30年伸ばす」『日経PC21』2008/10号 pp. 105-117
- [3] 国井瑠美, 大橋源一郎, 小谷宏志: 「極限まで延ばせ! メディアの寿命」『日経PC21』2010/07号 pp. 38-45
- [4] 岡野幸治, 服部雅幸, 国井瑠美: 「DVD/CD/ブルーレイ完全攻略」『日経PC21』2011/03号 pp. 24-31
- [5] 井橋孝夫, 鈴木敏夫: 「長期記録媒体としての光ディスクの品質評価と寿命推定」『情報メディアセンタージャーナル』2011年3月発行
- [6] 「CDやDVDにも寿命がある!?上手に保管しよう!」
<<http://allabout.co.jp/gm/gc/51079/>>
- [7] 涌井健一郎, 鷹野美紀: 「DVDの寿命を30年伸ばす」『日経PC21, 2008/10号』 pp. 114-117
- [8] 中村稔: 「記録メディア最新知識」『日経パソコン』2011. 6. 13号 pp38-43