

## 階層型記憶装置を用いた Web アーカイビングシステムの提案

小城 正士<sup>†</sup> 廣瀬 信己<sup>††</sup> 河野 浩之<sup>†,††</sup>

近年、Web 情報の文化的・社会的価値に着目し、それらを保存する持続的な試みが世界各国で進められている。我が国では、国立国会図書館インターネット資源選択的蓄積実験事業 (WARP: Web Archiving Project) において、Web アーカイブの構築が進められているが、急増するデータ収集システム、長期保存が可能なストレージシステム等多くの技術的問題が存在する。本稿では、喫緊の課題であるストレージシステムに焦点を当て、データ保存形式や格納領域のデバイス特性を考慮した階層型ストレージシステムの基本的なアーキテクチャを提案する。また、ファイル参照頻度に基づいた評価値を用いて、適切な保存デバイスに適切なファイルフォーマットで移動するアルゴリズムを提案する。WARP データに基づく評価予測を行うことで、長期間のアーカイブに適した性能が実現できることを示す。

キーワード: ウェブアーカイブ, 階層型ストレージ, ファイル移動アルゴリズム, 性能評価, データ長期保存

### Hierarchical Storage System for Web Archiving based on Experience of WARP

MASASHI KOJO,<sup>†</sup> NOBUKI HIROSE<sup>††</sup> and HIROYUKI KAWANO <sup>†,††</sup>

In many countries, the web archiving projects have been promoted continually for preserving cultural and social properties on web systems. In Japan, a project called WARP in the National Diet Library has been promoted, it has many technical problems of archiving system, such as collecting monotonously increasing huge volume of web data, long-term preservation and so on. In this paper, we focus on the the urgent task of storage system, and propose a basic architecture of hierarchical storage system based on characteristics of data compressions and storage devices. We also propose file moving algorithm by using file retrieval frequency. We evaluate the performance of our proposed architecture with predicted data based on WARP statistics.

**Keywords:** web archive, hierarchical storage system, file moving algorithm, performance evaluation, long-term data preservation

#### 1. はじめに

現在、インターネットの Web システム上に流通する情報量は、表層部分に 40 億ページ以上、深層部分に 5,500 億ページ以上存在すると推定されており、米国議会図書館の蔵書の約 50 倍の情報量に匹敵すると言われる<sup>12)</sup>。しかし、知識流通基盤となるインターネット上の多様な情報は、従来の出版物に比べ、空間的にも時間的にも情報内容と存在が安定しないという問題点をもつ。

すなわち、情報内容の更新・改変が容易であるため、安定した原本保存が難しく (内容の不安定性)、また仮に同じ内容であっても、URL (Uniform Resource Locator) が変更になることも多い (存在の空間的不安定性)。加えて、著者やサーバ管理者の都合により公開中止となる場合も頻繁に生じる。よって、数十年、数百年といった長期の視点で考えた場合、インターネット上の情報は、必ず消失すると言って過言でない (存在の時間的不安定性)。実際、Web ページの平均寿命は 44 日であると言われる。そこで、米国では全米デジタル情報基盤整備・保存プログラム (National Digital Information Infrastructure and Preservation Program : NDIIPP) において、官民をあげて電子情報を保存する取組みが開始されている<sup>11)</sup>。

特に、Web 情報を、国の文化資産として体系的に蓄積し、将来にわたって長期的に保存するウェブアーカイブ (Web Archive) プロジェクトが、世界各国の国立図書館などを中心に推進されている。プロジェクト遂行に関わる主要技術はデータの「収集」「検索」「保

<sup>†</sup> 京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻  
Graduate School of Informatics, Kyoto University, Kyoto, Japan.

<sup>††</sup> 国立国会図書館関西館事業部電子図書館課  
Digital Library Division, Kansai-Kan of the National Diet Library, Kyoto, Japan.

<sup>†††</sup> 国立国会図書館関西館電子図書館課非常勤調査員  
Adjunct Researcher, Digital Library Division, Kansai-Kan of the National Diet Library, Kyoto, Japan.

組織	名称	収集方法	規模	閲覧方法	法制度面の状況
InternetArchive(米)	—	バルク	150TB 以上	ネット上で公開	権利処理なし
米国議会図書館	MINERVA	選択的	35 サイト	提供せず	NDIIPP 議会承認
英国図書館	Britain on the Web	選択的	30MB	提供せず	議会にて法改正準備中
フランス国立図書館	—	両方	1TB 弱	提供せず	法改正検討中
フィンランド国立図書館	—	バルク	401GB	提供せず	法改正原案あり
スウェーデン王立図書館	Kulturarw3	バルク	4.5TB	館内のみ	政令に基づく
デンマーク王立図書館	(netarchive.dk)	両方	23GB	館内のみ	1997 年納本法に基づく
オーストラリア国立図書館	PANDORA	選択的	353GB	ネット上で公開	
オーストリア国立図書館	AOLA	バルク	488GB	提供せず	納本制度に関連規定あり
国立国会図書館(日本)	WARP	選択的	149GB	ネット上で公開	審議会にて法改正検討中

表 1 世界の主な Web アーカイビングプロジェクト

存」に大別される。「収集」は、目的の Web ページの内容の更新時期等に合わせて、Web ロボット等を用いて効率的に取得する技術である<sup>15)</sup>。「検索」は、収集ページに対してデータベース等を用いて一貫性の高い管理を行う技術であり、例えば、全文検索機能などの検索支援機能が必要とされる<sup>7)</sup>。また、「保存」は、収集データを利用性の高い形式で適切な記憶媒体に格納する技術である<sup>10)</sup>。

このうち「収集」と「検索」に関しては、分散協調型 Web ロボットや、Web マイニングをはじめとして、サーチエンジン開発において多数の研究や技術開発が進められてきた<sup>7),15)</sup>。しかしながら、「保存」に関しては、Web アーカイブでは単調増加する全ての Web ページを時系列順に長期間保存しなければならないため、ページ更新時に上書き等を行えば良いサーチエンジンと大きく異なる機能が必要とされる。そのため、大規模なファイル群を効率良く管理可能なストレージ技術が必要となっている。

そこで、本稿では、長期間にわたり円滑に Web アーカイブを実行することを視野に入れながら、データ保存形式と格納媒体に関して複数の階層構造を有するストレージシステムの基本的アーキテクチャを提案する<sup>8)</sup>。2 章では Web アーカイブの特徴、サーチエンジンとの相違点、諸外国及び我が国におけるプロジェクト、プロジェクト遂行における幾つかの問題点などを簡単に紹介する。3 章では、階層型記憶装置、大容量ファイルに対する圧縮技法・検索手法など、関連する既存の技術について述べる。4 章では、Web アーカイブに適した多階層型ストレージシステムやファイル移動アルゴリズムなどを提案する。5 章では提案システムに対して簡単なモデルを与え、WARP プロジェクトから得られたデータを用いた簡単な評価を与える。そして、結びと今後の課題を 6 章に述べる。

## 2. Web アーカイブの特徴と問題点

### 2.1 インターネット資源蓄積と WARP の現状

Web アーカイブ方式は、「バルク収集」と「選択的収集」の二つのアプローチに大別される。バルク収集とは一国全体、あるいは世界全体の Web 情報を一

括して収集する方法であり、選択的収集とはサイト単位、あるいは資料単位でセレクションや著作権処理を行いながら収集していく方法である。表 1 に表すように、諸外国において多数のプロジェクトが推進されている<sup>1),2),4),9)</sup>。また、Web ページ収集にあたって、著作権等の問題を抱えるが、これに関しては現在法制化が進められている。

我が国では、国立国会図書館が推進する「国立国会図書館インターネット資源選択的蓄積実験事業(WARP: Web Archiving Project)」\*の成果を、2002 年 11 月よりインターネット上で公開している。電子雑誌、政府ウェブ、協力機関ウェブの三つのコレクションからなり、一件ずつ著作権等の処理を行いながら、選択的収集を行っている。2003 年 9 月 30 日現在、電子雑誌 788 タイトル、政府機関 9 タイトル、協力機関 130 タイトルを所蔵する。実験段階の事業であり小規模ではあるが、法制度面について、現在、国立国会図書館長の諮問機関である納本制度審議会において立法措置が検討されており、また、政府の e-Japan 戦略との連携も視野に入っている<sup>6)</sup>。

### 2.2 サーチエンジンとの相違点

Web 上の情報を探索・収集・分類する処理を伴う Web アーカイブは、サーチエンジンと異なる以下の性質をもつ。但し、本稿では、収集対象の多様性、時系列管理、長期保存に焦点を当てて議論を進める。

- **収集対象の多様性**  
文書ファイル(text, HTML, XML, PDF, doc 等)、マルチメディアファイル(JPG, GIF, WAV, RAM 等)等、多様なファイル収集が必要。
- **品質管理**  
Java Script を含め、ブラウザ上で高い再現性を得るファイル収集技術が必要。
- **原本性保証**  
法的・学術的に信頼性のある利用には、MD5 や SHA といったハッシュ関数に基づく一意性保証や改竄防止が必要。
- **時系列管理**  
同一 URL のデータ更新時に、異なるバージョン

\* <http://warp.ndl.go.jp/>

として蓄積管理することが必要。

- **メタデータと識別子**

URI, Dublin Coreなどをメタデータとして付与し、同定可能なデータ収集が必要。

- **長期保存**

ブラウザやファイルフォーマット等の変更にも対応可能な長期継続性の高いデータ保管技術が必要。

### 2.3 WARPにおける問題点

実験プロジェクトである WARP において収集、蓄積されたデータ量は、2003年9月30日現在において総ファイル数が243.9万、総容量が149GBである。現時点では、アーカイブ総容量は比較的少ないが、包括的な保存も一つの選択肢として、視野に入れておく必要がある。その場合、情報通信政策研究所の2002年末調査に示されている日本のWebページ容量10,150GBが目安になる<sup>13)</sup>。このように膨大な数のファイルを上書きすることなく、収集対象の多様性、長期保存等の課題解決を図りながら時系列順に蓄積するには、大規模ストレージシステムが必須である。

しかしながら、情報保存を行いつつ一般公開することを考えた場合、全ての情報を同等に扱い、単一デバイスに蓄積することは効率的とは言えない。特に、個々の情報の利用価値によって参照頻度が変化することを考えると、参照頻度の高い情報を高速アクセス可能なデバイスに蓄積し、参照頻度の低い情報を比較的低速かつ安価なデバイスに圧縮保管する形態を採用することが運用面では望ましい。そのため、保存形式や保存媒体の特性を考慮した階層構造をもつストレージシステムや、ストレージ間の適切なデータ転送アルゴリズムが必要となる。次章以降では、Webアーカイブに適した階層型ストレージシステムの基礎的アーキテクチャやアルゴリズム、WARP統計値に基づく簡単な性能予測を行う。

## 3. 大容量 Web データ蓄積に関わる技術

### 3.1 階層型ストレージ構築技術

文献<sup>8)</sup>では、大規模データのアーカイブを行うことを考えて、図1のような階層構造を備えたシステム構成を提案している。この際、表2に示すような、各種記憶媒体のアクセス速度、記憶容量、使用年限等の特性に基づいて、長期にわたる運用コストや信頼性も考慮しなければならない。そこで、本節では、階層型ストレージ設計に関わる幾つかの技術を示す。

#### ストレージ容量とキャッシュ機構

文献<sup>3)</sup>では、ストレージ容量とキャッシュ機構の関係が議論されている。まず、下位記憶層からのファイル取得レート  $R$  (Lower Layer Retrieval Rate) と、検索所要レート  $C$  (Retrieval Consumption Rate) より、ファイル取得レートと検索所要レートの比  $PCR$  (Production Consumption Ratio) ( $= R/C$ ) を

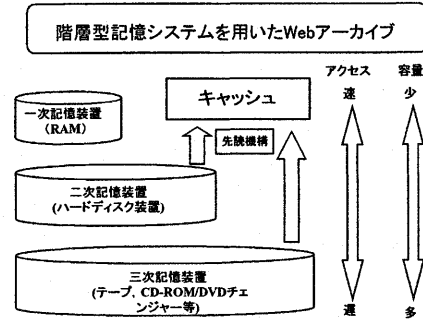


図1 階層型ストレージ

与える。

ここで、 $PCR \leq 1$  の時、単位時間の取得ファイルサイズよりも、検索ファイルサイズが大きくなり、間断ない結果表示には  $(1 - PCR)$  の先読みが必要となる。必要な表示キャッシュ量  $DC_{req}$  (Display-Caching Requirements) は、ファイルサイズ  $F$  を用いて、 $DC_{req} = (1 - PCR) \cdot F$  となる。

また、 $PCR > 1$  の時、取得ファイルサイズが大きくなるので、取得と同時表示が可能になる。表示キャッシュ量は対象ファイル全体の読み込み時に最大になり、 $DC_{req} = F \left(1 - \frac{1}{PCR}\right)$  となる。このとき、新たに1ファイルを読み出す時、第二次キャッシュ  $DC_{2nd}$  は下位媒体へのアクセス時間  $T$  を用いて表される。

$$DC_{2nd} = F \left(1 - \frac{1}{PCR}\right) - \left(T + \frac{F}{R}\right) \cdot C$$

したがって、 $N_T$  個の転送要求が生じた場合、全ファイルを間断無く表示する最低限のキャッシュ量  $DC_{all}$  が求まる。

$$DC_{all} = \sum_{k=0}^{N_T-1} \left\{ F \left(1 - \frac{1}{PCR}\right) - k \left(T + \frac{F}{R}\right) \cdot C \right\}$$

#### 記憶媒体階層間のファイル移動

ファイル参照頻度と記憶媒体特性を適切に保つ記憶媒体階層間のファイル移動方式の研究がある。例えば、最長時間参照されていないファイルを移動させる LRU (Least Recently Used) アルゴリズムは、ファイルサイズが大きい場合、多くの Read/Write 処理時間を要するテープ媒体などを用いた最下位層の処理コストが大きくなる傾向がある。

そこで、文献<sup>5)</sup>では、平均ファイルサイズから求まる定数  $X$ 、Aging Factor と呼ぶ更新率  $f_{age}$  を用いて、各ファイルの指標値  $MV$  (Migration Value) を更新し、階層間ファイル移動を  $MV$  値に対する閾値により行うアルゴリズムが提案されている。

### 3.2 大量ファイルに対する検索技術

Web ページから抽出された特徴的なキーワードや

記憶装置	RAM	HDD	DVD-ROM	磁気テープ	Blu-Ray	ホログラフィックメモリ	マイクロフィルム	紙
容量	1GB	300GB	8GB	300GB	27GB	1TB~	-	-
転送速度	数百 Mbps	数十 Mbps	数 Mbps	数 Mbps	数十 Mbps	100Mbps	-	-
耐用年数	8年	5年	20年	30年	20年	20年	500~900年	~1000年

表2 保存媒体の特性<sup>10)</sup>\*

リンク構造などを利用するサーチエンジンと異なり、Webアーカイブでは格納されたページに対する時系列管理が重要である。また、正確な全文検索機能の重要性も高くなるため、膨大な数のページ閲覧に適した効率良いインデックス技術を必要とする。

基礎的な全文検索は、キーワードと出現ファイルに対応させる転置ファイル (Inverted File) により実現されるが、転置ファイルサイズが元のファイルサイズと同程度になる場合がある。そのため、膨大なファイル数を扱うアーカイブシステムでは、キーワードの確率的分布を用いた手法である、Global Bernouli method や Observed frequency method と呼ばれる転置ファイル作成手法の適用を考える必要がある<sup>14)</sup>。

また、階層型ストレージ利用時には、参照頻度等を用いて保存ストレージを決定するが、適切なファイル保存形式を採用すべきである。例えば、頻繁に利用されるファイルはアクセス速度の高い形式で、参照頻度の低いファイルは圧縮して保存すべきである。また、極めて参照頻度の低いファイル群は、時系列やサイト・ディレクトリ単位等に分類し、tar+gzなどの複数ファイル群圧縮により圧縮効率を高める。もともと、参照頻度の異なるファイル群圧縮では、展開コストが大きくなる可能性があるため、圧縮戦略も課題となる。さらに、多様なファイル群に対する検索インデックス技術も必要となる。すなわち、表3に示すように、アーカイブシステム全体では、ストレージ特性による物理的階層中に圧縮方式の異なる階層が存在する多階層構造になる。

参照頻度	保存フォーマット	検索方式
高	オリジナルフォーマット	全文検索中心
中	ファイル圧縮	全文検索・部分検索
低	複数ファイル群圧縮	部分検索中心

表3 参照頻度に応じた保存方法の一例

また、代表的な圧縮方式の中から lha と gzip 及び tar+gz に対して、各種フォーマットに対する圧縮率の差を表4に示した。

ファイルフォーマット		txt	html	pdf	jpg
個別ファイル圧縮	lha	33.14	26.84	82.99	98.04
	gz	30.94	26.08	73.31	97.85
ファイル群圧縮	lha	32.88	27.57	96.53	98.74
	tar+gz	30.70	25.31	73.26	97.89

表4 フォーマットによる圧縮率 (%)

\* 条件や文献等により媒体特性に関わる数値は異なる。

## 4. 階層型ストレージによる Web アーカイブ

### 4.1 階層型ストレージ容量算出

表5に示す多層構造をもつ階層型ストレージを考える。また、ストレージ総容量、ならびに、システム運用期間にアーカイブされる各種ファイル容量と、圧縮率を表6に示す。

ファイルの種類	サイズ	圧縮率 (個別)	(複数)
テキスト	$S_0$	$P_{0,0}$	$P_{0,1}$
文書	$S_1$	$P_{1,0}$	$P_{1,1}$
マルチメディア	$S_2$	$P_{2,0}$	$P_{2,1}$

表6 保存ファイルフォーマットに対する特性

ここで、収集ファイルを圧縮率の特性によりテキスト (txt,html 等)、文書 (pdf,doc 等)、マルチメディア (jpg,gif,wmv 等) の三種に大きく分ける。各種ファイルサイズの増加予測により、ストレージ総容量が計算できる。全ファイル非圧縮状態で保存される場合のストレージ総容量  $S_{all}$  は、 $S_{all} = \sum_{i=0}^2 S_i$  である。

なお、ファイル参照頻度に応じた圧縮保存を行い、ストレージ  $j$  に保存される各ファイルサイズを  $S_{i,j}$  で表す時、ストレージ総容量  $S_{all}$  は次式で表される。

$$S_{all} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 (S_{i,j} + P_{i,0} S_{i,j+1} + P_{i,1} S_{i,j+2})$$

これより、各階層の非圧縮・圧縮領域の割合に基づいて、必要なストレージ総容量が決定できる。

### 4.2 各階層のストレージサイズ

本節では、階層ごとに格納されたファイル参照頻度と読み込み時間に基づいて全ストレージに対する各階層の比率を求める。全ファイル数を  $N$ 、番号  $i$  のファイルサイズを  $O_i$  (非圧縮・圧縮ファイル容量)、保存ストレージ番号を  $s_i$  とする。また、ファイル参照頻度  $f_i$  を、(ファイル  $i$  が参照された日数) / (全日数) で表す。もともと、一般に Web ページ閲覧は単独ページで行われることは少なく、ハイパーリンク構造に基づいた複数ファイルが関わることが多い。よて、ページ参照頻度に基づいて適切なストレージを決定するには、Web ページのクリックストリーム統計や Web Graph 構造特性を用いて、参照関係を考慮しながら保存しなければならない。しかしながら、本稿では問題を単純化し、単純に参照頻度の高い順に各階層にファイルが保存されるものとする。

媒体例	一次			二次			三次		
	DRAM			HDD			Tape		
保存形態	非圧縮 (P)	圧縮 (C)	複数圧縮 (M)	P	C	M	P	C	M
ストレージ番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8
サイズ	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$M_8$
コスト	$C_0$			$C_1$			$C_2$		
転送レート	$R_0$			$R_1$			$R_2$		
アクセス時間	$T_0$			$T_1$			$T_2$		

表 5 ストレージ階層と特性

$$f_0 \geq f_1 \geq \dots \geq f_{N-2} \geq f_{N-1} > 0$$

$$s_i = \{0, \dots, 8\}$$

このとき、保存ストレージへのアクセス時間  $T_{[s_i/3]}$ (sec)、読み出し時間  $\frac{O_i}{R_{[s_i/3]}}$ (sec)、圧縮形式  $j$  のファイル伸張時間を  $D_j$ (sec/byte) とした時の圧縮ファイル展開コスト  $O_i \cdot D_j$  を用いたファイル読み出し時間は、

$$T_{[s_i/3]} + \frac{O_i}{R_{[s_i/3]}} + O_i D_j$$

となる。また、参照頻度  $f_i$  を用いて、ファイル読み出し時間の期待値の平均  $Ref$  を求めると、

$$Ref = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(T_{[s_i/3]} + \frac{O_i}{R_{[s_i/3]}} + O_i D_j) \cdot f_i}{N}$$

となる。 $Ref$  が小さいほど高い性能が得られることになり、アクセス時間が少なく読み出し時間が少ない上位層の割合を増やすことで実現できる。しかしながら、一般に上位層ほど記憶媒体の導入費用が高価と考えられ、次式に示すストレージ導入コスト  $Cost$  と勘案しながら、適切な  $Ref$  を定める必要がある。

$$Cost = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^8 \sum_{k=0}^2 S_{k,j} \cdot C_i$$

したがって、トレードオフ関係にある  $Cost$  と  $Ref$  に対して、データ量増加予測値に基づいて各階層の最適な割合が決定される。

#### 4.3 各階層間のファイル移動

システム運用時には、各ファイルの参照頻度変化に応じて、各階層の容量制約を満たしながら階層間でファイル移動を行う必要がある。階層間ファイル移動は、文献<sup>9)</sup>の File Aging アルゴリズムを拡張したアルゴリズムにより行う。本アルゴリズムにより、参照頻度に適したフォーマットとストレージ保存が行われるため、ファイル読み込時の呼損抑制が達成される。

##### 【階層間移動アルゴリズム】

- (1) 追加ファイルは、初期段階では一次ストレージに保管される。
- (2)  $MV$  値を毎日更新するものとし、階層間ファイル移動周期を  $Date$  とする。
  - (a) 今日追加されたファイルに対しては
 
$$MV = (X/Size) \cdot f_{age}$$
  - (b) 既に保存されているファイルに対しては

(i) 今日アクセスがあった場合  

$$MV = MV + (X/Size) \cdot f_{age}$$

(ii) アクセスがなかった場合  

$$MV = MV \cdot f_{age}$$

- (3) 更新周期  $Date$  に応じて、 $MV$  値の降順にファイルをソートし、適切なフォーマット変換と保存ストレージへのファイル移動を行う。

## 5. 評価

本章では、提案した階層型ストレージに関する性能評価を行う。5.1 節で、性能評価に関わる主要なパラメータを一覧し、提案した階層間移動アルゴリズムの特性評価を行う簡単なモデルに従った数値計算結果を5.2 節に示す。また、5.3 節において、WARP により得られた実データを基礎値としてデータ増加量予測を行い、複数のファイルフォーマットと記憶媒体からなる階層型ストレージの設計指針について考察する。

### 5.1 性能評価モデルの提案

提案手法に対する性能評価を進める上で、システム特性を与える主要な項目を一覧する。まず、性能評価の指標となる読み出し時間には、対象となるファイル容量、上位記憶媒体へと読み出す時間、対象ファイルの検索アクセス処理時間、圧縮ファイルの伸長時間などが関わる。システム内の読み出し平均時間のために、参照頻度も必要である。他方、コスト評価には、各ストレージの容量・単価、ファイル総容量、非圧縮・圧縮保存比率などが関係する。その他、階層間移動アルゴリズムには、各ファイル容量、 $MV$  値、参照頻度、参照回数分布、更新周期ごとの移動ファイル数とサイズ、即時読み出しが不可能なミスマッチ回数などが関係する。なお、提案する階層型ストレージの性能評価に用いる主要パラメータを表 7 に示す。

ストレージ	容量、転送時間、アクセス時間、単価、使用率 非圧縮・圧縮比率
ファイル	総数、容量、容量の分布、種類、種類ごとの圧縮率、伸長時間、更新率、増加率、参照頻度
参照	発生数、発生数の分布、平均回数、発生頻度
階層間移動	$MV$ 値、更新頻度、移動ファイル数・サイズ ミスマッチ発生数

表 7 評価に用いる主要パラメータ

## 5.2 提案システムに対する性能特性

我々の提案する階層型ストレージの特性を調べるため、一年間システム運用を行った場合に得られる性能指標を、次の評価モデルを用いたシミュレーションにより求める。各階層のストレージ容量は、一次媒体 6GB、二次媒体 3TB、三次媒体 30TB とする。保存ファイル総容量は 6TB で、平均 60KB の正規分布に従うファイルサイズ分布をもつ 1 億ファイルを蓄積する。各ファイルに対する参照頻度分布は Zipf 分布に従い、一日あたり 10 万件ランダムに参照されるとする。階層間移動アルゴリズムの  $X$  値を 60,000、 $f_{age}$  値を 0.9 とし、階層間ファイル移動周期を 7 日 (52 周期) とした。なお、これらの値は 3 章の引用文献や WARP 所蔵量データを参考に設定したものである。

図 2 は、階層間移動の指標となる  $MV$  値の時間変化について示したものである。毎日の  $MV$  値更新後の、参照頻度が最大・最小のファイルの  $MV$  値と、全ファイルの平均値を示す。Zipf 分布に従う参照頻度は、最大 1.0、最小  $1.0e-5$  である。参照頻度最大のファイルの  $MV$  値は、ほぼ毎日参照されるため増加する一方、最小のファイルは全く参照されないため単調減少し、平均値は一定値に収束する傾向を示している。

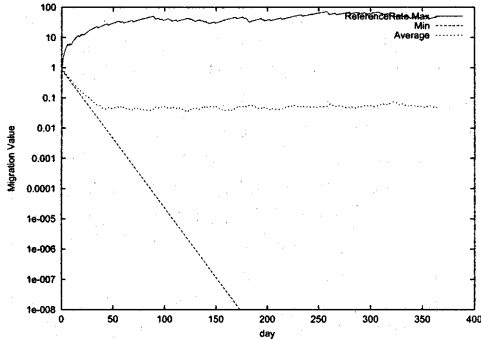


図 2  $MV$  値の変化

図 3、図 4 は、ファイルの階層間移動に関するグラフである。図 3 は周期毎に移動したファイル総数を表しており、初回更新時に大量移動した後、毎回約 1% 前後のファイル移動が生じている。図 4 には、移動ファイルの内、上層・下層ストレージに移動したファイル総数と平均サイズを、移動が生じない場合のサイズを削除して示した。下層へと移動するファイル数の方が多いが、平均サイズは上層移動する方が多く、大きなサイズのファイルほど上層に滞留し、小さいファイルが下層へと集まる傾向が生じている。

ファイル読み出し時に、三次ストレージ上の目的ファイルへのアクセス時間がボトルネックとなりうる。そこで、参照要求時に目的ファイルが実時間アクセス可能な一次・二次ストレージに存在しないミスヒット総

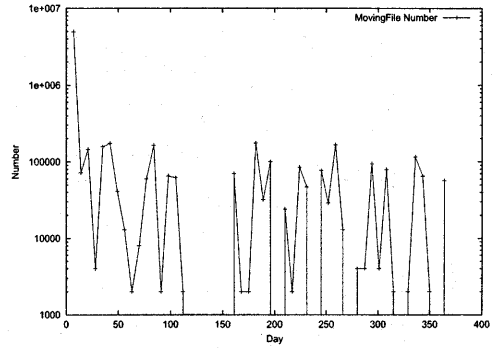


図 3 移動したファイル数

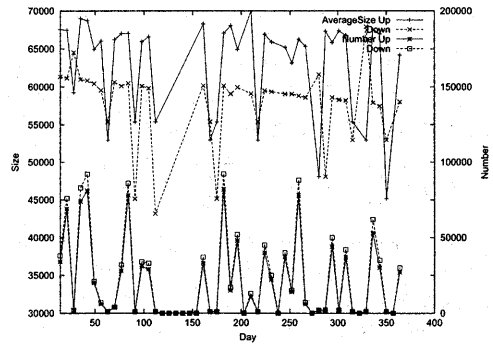


図 4 上層・下層へ移動したファイル数・平均サイズ

数を、図 5 に示す。もっとも、図 5 では、ミスヒットが常に生じており望ましくない性質を示す。ここでは、参照要求がランダムに発生するモデルを用いたが、実システムにおけるファイル参照は、単独で発生することは多くなく、ハイパーリンク構造に従った参照関係により偏りが生じる。よって今後、Web Graph 構造等を考慮に入れた参照要求による評価を行う必要がある。

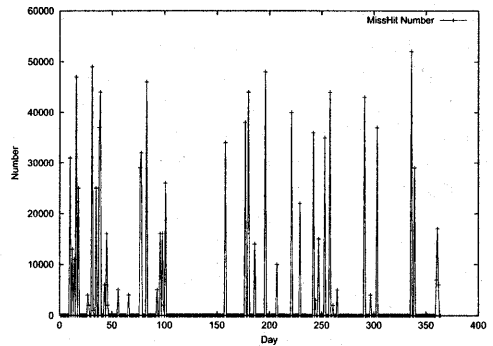


図 5 ミスヒット数

### 5.3 WARP データに基づくシステム性能評価

WARP 収蔵データの第  $i$  年度目におけるタイトル数  $t_i$ , 個体数  $k_i$ , 容量  $K_i$  とし, 再収集頻度  $\alpha (\geq 1)$ , 毎年の新規タイトル数  $p$ , 一個体あたりの平均容量  $A$  に基づいて, 次の増加予測モデルを与える. まず, 第  $n$  年度のタイトル数, 個体数, 容量を次式で与える.

$$t_n = t_{n-1} + p$$

$$k_n = k_{n-1} + \alpha \cdot t_n$$

$$K_n = k_n \cdot A$$

よって第  $n$  年度の個体数  $k_n$ , 容量  $K_n$  は次式となる.

$$k_n = k_1 + \alpha(n-1)t_1 + \frac{1}{2}\alpha p n(n-1)$$

$$K_n = K_1 + \{\alpha(n-1)t_1 + \frac{1}{2}\alpha p n(n-1)\}A$$

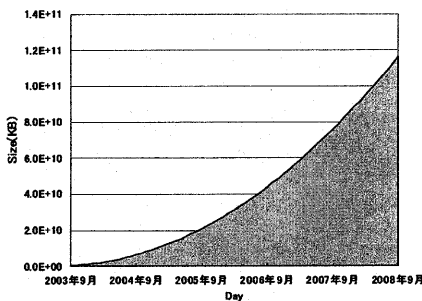


図6 増加予測値

図6には, 2003年9月末のWARP所蔵統計に基づく  $t_1 = 927, k_1 = 1,602, K_1 = 149,081(MB), \alpha = 6, p = 2,500, A = 86.9(MB)$  を用いて, 2008年9月までの増加予測を求めた\*. これより, 2008年9月での総容量は, 116.38TBと試算される. この容量は大きく分けて「原本データ保存容量」, 「コレクション総容量」, 「収集ログ等容量」で構成されており, それぞれ 46.40TB, 46.40TB, 16.70TB となっている. このうち, 「原本データ」と「収集ログ等データ」は実際には利用者の目に触れることのないデータなので, これ以降は「コレクション総容量」のみを取り上げる.

2008年9月におけるコレクション総容量は 46.40TB である. これに, 各ファイルフォーマットの占める割合は 2003年9月時点と同様であると仮定した場合のテキスト/文書/マルチメディアファイルの予測容量/ファイル数を表8に示す.

そこで, この予測値に基づいて, どのような階層型ストレージを設計すれば良いかを考える. まず, ストレージ全容量を 46.40TB, ファイル総数を 8.03 億とする. また, WARP 所蔵統計と表4に基づいて, 保

\* コレクションの性質やシステム動作上の要素を加味している.

種類	容量	ファイル数
テキスト (%)	3.13TB(6.74)	33,670 万 (41.74)
文書 (%)	23.94TB(51.60)	7,667 万 (9.50)
マルチメディア (%)	18.75TB(40.41)	38,978 万 (48.32)

表8 ファイル種類別の予測値

存ファイルの(平均容量, 圧縮率)は, テキスト/文書/マルチメディアごとに, (10KB, 30%) / (330KB, 73%) / (50KB, 98%) とする. 個別/複数圧縮の圧縮率には大きな差がないのでここでは同等に扱うが, 複数圧縮の場合, 伸長時間は長くなるが, ファイル管理負荷が低くなる利点がある. ここで, 各媒体の単価を一次媒体 30 円/MB, 二次媒体 0.3 円/MB, 三次媒体 0.1 円/MB とした. ここでは, 単価よりも将来的に変化が生じにくいであろうという点で比率が重要である. また, 比率に注意すべきことは, 転送速度についても同じであることに注意しておきたい. さらに, 目標ファイルへのアクセス時間は, 一次媒体では無視し, 二次媒体で 0.01 秒, 三次媒体で 100 秒とした.

次に, 4章で述べた評価手法を用いて, 読み出し時間の平均  $Ref$  と導入コスト  $Cost$  を計算する. 繰り返しになるが, 重要な評価結果は, 各媒体の利用率とストレージ内の非圧縮/圧縮ファイル比率である. すなわち, 二次媒体の割合を増加するとアクセス速度は向上するが高コストになり, 三次媒体を増やすと安価に構成できるが速度低下が生じる. また, 圧縮保存すれば容量が減ってコスト低下が望めるが, 読み出し時間は伸長時間が増加する. そこで, これらの関係に注意しながら, 読み出し時間とコストの双方が最適となる設定を考える必要がある.

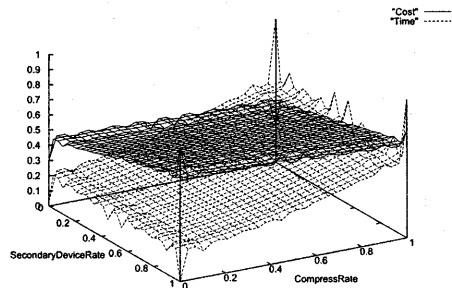


図7 読み出し時間とコスト

図7に, 各媒体の比率とストレージ内に占める圧縮ファイルの比率を変化させた場合の  $Ref$  と  $Cost$  を表す. 一次媒体は微小であると考えて固定値を与え, 二次媒体の比率を変化させた. 圧縮ファイルの比率は, ストレージに保存される全ファイルのうちの圧縮ファイルの比率である. なお,  $Ref$  と  $Cost$  の値は比較しやすいように正規化を行った.

図7より、RefとCostにトレードオフ関係があることが確かめられる。また、Refに注目すると、圧縮ファイルの割合によって、値が大きく変化する。これは、読み出し時に、圧縮ファイルの伸長時間が読み出し時間短縮の障害となっていることを表す。よって、ファイルの圧縮保存に関しては、ファイル参照頻度を綿密に考慮した上、決定する必要がある。

RefとCostの変化が分かれば、双方が最適であると思われるところを選んで、各階層の容量を決定することが出来る。いくつかの具体例に対するそれぞれの値を表9に示す\*。

	二次媒体/圧縮比率 (%)		
	20/65	50/50	65/20
総容量 (圧縮率)	40.39TB (87.05)	41.85TB (90.20)	44.70TB (96.34)
媒体コスト	573 万	843 万	1,032 万
読み出し時間	1.89 秒	1.28 秒	0.43 秒

表9 媒体コストと読み出し時間の数値例

## 6. 結 び

本稿では、Web アーカイブにおける大容量データの長期保存のための階層型ストレージシステムの基本アーキテクチャと、参照頻度に基づくファイルの階層間移動アルゴリズムについて述べた。階層間移動アルゴリズムに関しては、指標であるMV値の推移と、ファイルの移動傾向について示した。一方、階層間移動の性能指標の一つであるミスマッチの発生数を抑えることは出来なかった。これは、参照が個々のファイルの相互参照関係から発生していることに起因している。これを解決するためには、Web Graph 構造特性等を考慮する必要がある、今後の課題といえる。階層型ストレージシステム的设计に関しては、コストと読み出し時間の二つの指標を用いることで、各媒体容量と、ファイルの保存形態を決定出来ることを示した。

考察の過程において、ファイルフォーマットの割合は将来において一定であると仮定したが、Web アーカイブの性質を考えた場合に将来的にフォーマットの分布が変化したり、未知のフォーマットが大量にアーカイブされる可能性は否定できない。Web アーカイブのストレージシステムは、文化資産としてのWeb 情報が集積された、電子的な「書庫」であり、それを担う図書館の蔵書構築方針、書庫計画などと密接な関連性をもつ。将来のアーカイブデータの急激な変化にも対応しつつ、社会的、文化的動向をも踏まえながら、柔軟なストレージシステムを設計することが必要である。

謝辞 本稿の一部は、文部省科学研究費(15017248, 13680482, 14213101, 15206059)の研究成果によるものであり、ここに記して謝意を表す。

\* 筐体、システム構成コストなどを含まない。

## 参 考 文 献

- Arms, W., Adkins, R., Ammen, C., and Hayes, A., "Collecting and Preserving the Web: The Minerva Prototype," RLG DigiNews, Vol.5, No.2, 2001.4.15.
- Abiteboul, S., Cobena, G., Masanes, J., and Sedrati, G., "A First Experience in Archiving the French Web," Research and Advanced Technology for Digital Libraries, Springer, 2002.
- Dashti, A. E. and Ghandeharizadeh, S., "On Configuring Hierarchical Storage Structures," Proc. of the Joint NASA/IEEE Mass Storage Conference, Mar. 1998.
- Day, M., "Collecting and preserving the World Wide Web," (online), available from <http://library.wellcome.ac.uk/projects/archiving.shtml>, (accessed 2003.10.2).
- Gibson, T. and Miller, E. L., "An Improved Long-Term File-Usage Prediction Algorithm," Proc. of the 24th Annual International Conference on Computer Measurement and Performance (CMG '99), pp.639-648, 1999.
- 廣瀬信己, "国立国会図書館におけるウェブ・アーカイビングの実践と課題," 情報処理学会研究報告, Vol.2003, No.51, pp.95-111, 2003.
- 河野浩之, 川原稔, "Web 検索におけるテキストマイニング," 人工知能学会誌, Vol.16, No.2, pp.212-218, 2001.
- Kawano, H., "Web archiving strategies by using web mining techniques," Proc. of IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, CD-ROM, 2003.
- 国立国会図書館, "文化資産としてのウェブ情報: ウェブ・アーカイビングに関する国際シンポジウム記録集," 出版ニュース社, 2003.
- 国立国会図書館, "電子情報保存に係る調査研究報告書," pp.101, 2003.3, (online), available from [http://www.ndl.go.jp/jp/aboutus/preservation\\_02\\_01.html](http://www.ndl.go.jp/jp/aboutus/preservation_02_01.html), (accessed 2003.10.2).
- Library of Congress, "Preserving Our Digital Heritage: Plan for the National Digital Information Infrastructure and Preservation Program," 2002.10, (online), available from [http://www.digitalpreservation.gov/repord/ndiipp\\_plan.pdf](http://www.digitalpreservation.gov/repord/ndiipp_plan.pdf), (accessed 2003.10.2).
- Lyman, P., "Archiving the World Wide Web", Building a National Strategy for Preservation: Issues in Digital Media Archiving," 2002.4, (online), available from <http://www.clir.org/pubs/reports/pub106/web.html>, (accessed 2003.10.2).
- 総務省編, "情報通信白書平成15年版," 2003.7, (online), available from <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h15/>, (accessed 2003.10.2).
- Witten, I., Moffat, A. and Bell, T., "Managing Gigabyte - Compressing and Indexing Documents and Images," Morgan Kaufmann, pp.106-129, 1999.
- Yamana, H., Tamura, K., Kamei, S., Kawano, H. et al., "Experiments of Collecting WWW Information using Distributed WWW Robots," Proc. of SIGIR'98, Melbourne, Australia, pp.379-380, 1998.