

# Web アーカイブにおける長期ストレージシステムの提案

Web Archive: Proposal of Storage Systems for Long-term Preservation

小城 正士<sup>1</sup>  
河野 浩之<sup>3</sup>

廣瀬 信己<sup>2</sup>

Masashi KOJO Nobuki HIROSE  
Hiroyuki KAWANO

近年、文化的・社会的価値をもつ Web 情報のアーカイブが各国で行われており、日本では、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) が進められている。本稿では、現状の WARP システムにおける、大容量ストレージシステムを用いた長期運用・保存に関する技術的課題に焦点を当てる。データ保存形式やデバイス特性を考慮したシステム性能評価を考え、参照頻度に基づく評価尺度を用いて、適切な保存デバイスとフォーマットを決定するファイル移動アルゴリズムを提案する。また、WARP データに基づく評価予測を行う。

In many countries, the web archiving projects have been promoted continually for preserving cultural and social properties on web systems, and a project called WARP in the National Diet Library has been promoted in Japan. In this paper, we focus on the technical problems of the long-term data preservation and management of data in the WARP system. We propose a file-moving algorithm to determine appropriate storage devices and file formats by using techniques of data compression, storage property and file retrieval frequency. We also evaluate the performance of our proposed algorithm based on WARP statistics.

## 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 167TB 以上、深層部分に 91,850TB 以上存在すると推定されている [10]。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、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)。また、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)。このような不安定性を持つ Web 情報

<sup>1</sup>学生会員 京都大学大学院情報学専攻システム科学専攻  
kojo@sys.i.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 国立国会図書館総務部  
nhirose@ndl.go.jp

<sup>3</sup>正会員 南山大学数理情報学部情報通信学科  
kawano@it.nanzan-u.ac.jp

を国の文化資産として体系的に蓄積し、将来に渡って長期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等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」「保存」に大別され、このうち特に「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する必要があるため、大規模なファイル群を効率的に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 [5]。

## 2. Web アーカイブの特徴と問題点

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性質として「収集対象の多様性」「品質管理」「原本性保証」「時系列管理」「メタデータと識別子」「長期保存」などをもつ [7]。このうち、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る。

本稿では、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)」<sup>1</sup>の成果 (2002 年 11 月よりインターネット上で公開) を対象とする。WARP に収集、蓄積されたデータ量は、2004 年 6 月 30 日現在において総ファイル数 1,091.2 万、総容量 623GB である。また、日本全体の Web 情報の包括的な保存も一つの選択肢として、研究調査が NDL で行われている<sup>2</sup>。その場合、情報通信政策研究所の 2003 年末調査に示されている日本の Web ページ容量 13,609GB 程度が保存対象となる [8]。このように膨大な数のファイルを大規模ストレージシステムで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ず、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。

## 3. 階層型ストレージ

階層型ストレージの構成について説明する。

### 3.1 階層型ストレージ技術

保存データの容量が大きくなるにつれて、個々のデータはストレージデバイスの特性の影響を強く受ける。大容量データの効率的な管理・運用には、データがストレージに捕われない保存形式が必要となる。文献 [5] では、図 1 のような階層構造を備えたシステムを用いて、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たストレージを実現する手法を提案している。

<sup>1</sup><http://warp.ndl.go.jp/>

<sup>2</sup><http://www.ndl.go.jp/jp/aboutus/bulkresearch2004/>

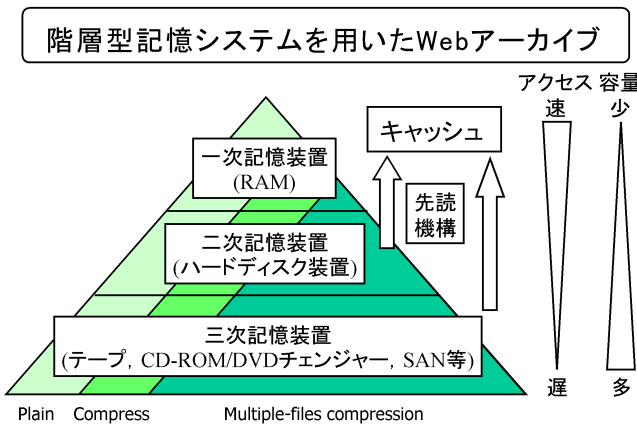


図 1 階層型ストレージ

Fig. 1 Hierarchical Storage System

また、同一デバイス内においても、ファイルの参照頻度に合わせて適切な保存形式を採用するべきである。例えば、頻繁に利用されるファイルはオリジナルの状態での保存し、参照頻度の低いファイルは圧縮保存、更に低いファイルは時系列・サイト・ディレクトリ単位で分類し、tar+gzなどでファイル群圧縮を行う。もっとも、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。こうすることで、表 1 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を必要とする。

表 1 参照頻度に応じた保存方法の一例

Table. 1 Example of Preservation Methods Corresponding to Reference Frequency

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

また、このような階層構造をもったストレージにおいては、階層間でのファイル移動戦略が重要となる。例えば、最長時間参照の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、Read/Write 処理時間を大きく要するテープ媒体等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、ファイル参照頻度を用いて適切な記憶媒体特性を決定するファイル移動アルゴリズムを提案する。

### 3.2 階層型ストレージ容量算出

表 2 に示す多層構造をもつ階層型ストレージを考える。システム運用期間にアーカイブされるファイルのフォーマットの種類は  $N$  種類とし、ファイルフォーマット  $i$  のサイズ

を  $S_i$ 、圧縮率(個別)を  $P_{s_i}$ 、圧縮率(複数)を  $P_{m_i}$  とすると、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  $S_{plain} = \sum_{i=0}^{N-1} S_i$  であり、参照頻度に応じた圧縮保存を行った場合のストレージ総容量  $S_{all}$  は、ストレージ番号  $j$  に保存される各ファイルサイズを  $S_{i,j}$  を用いて次式で表される。

$$S_{all} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{n-1} (S_{i,3j} + P_{s_i} S_{i,3j+1} + P_{m_i} S_{i,3j+2})$$

以後、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を決定する。

### 3.3 各階層のストレージサイズ

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各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  $F$  とし、番号  $i$  のファイルサイズを  $O_i$  (非圧縮もしくは圧縮ファイル容量)、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。また、簡単化のために、参照頻度の高い順に各階層にファイルを保存する。

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

$$s_i = \{0, \dots, 3(n-1) + 2\}$$

このとき、保存ストレージへのアクセス時間  $T_{[s_i/3]}(\text{sec})$ 、ストレージ内での検索時間  $L_{s_i}$ 、ファイルフォーマット  $\text{Format}(j)$  の圧縮率を  $P_j$ 、伸張時間を  $D_j(\text{sec/byte})$  とした時の圧縮ファイル展開時間  $O_i \cdot D_j$ 、転送時間  $\frac{O_i/P_j}{R_{[s_i/3]}}(\text{sec})$  を用いたファイル読み出し時間は、

$$T_{[s_i/3]} + L_{s_i} + O_i D_j + \frac{O_i/P_j}{R_{[s_i/3]}}, P_j = \{P_{s_j}, P_{m_j}\}$$

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、

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

となる。 $Ref$  が小さいほど高い性能が得られることになるが、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  $Ref$  を決定する必要がある。

$$Cost = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{3(n-1)+2} \sum_{k=0}^{N-1} S_{k,j} \cdot C_i$$

### 3.4 各階層間のファイル移動

階層間ファイル移動は、文献 [2] の File Aging アルゴリズムを拡張する。本アルゴリズムは、参照頻度に適した

表 2 ストレージ階層と特性  
Table.2 Storage Layers and Properties

保存媒体	1次			2次			...	n次		
	非圧縮 (P)	個別圧縮 (S)	複数圧縮 (M)	P	S	M		P	S	M
ストレージ番号	0	1	2	3	4	5	...	$3(n-1)$	$3(n-1)+1$	$3(n-1)+2$
サイズ	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	...	$M_{3(n-1)}$	$M_{3(n-1)+1}$	$M_{3(n-1)+2}$
コスト	$C_0$			$C_1$			...	$C_{n-1}$		
転送レート	$R_0$			$R_1$			...	$R_{n-1}$		
アクセス時間	$T_0$			$T_1$			...	$T_{n-1}$		
検索時間	$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	...	$L_{3(n-1)}$	$L_{3(n-1)+1}$	$L_{3(n-1)+2}$

フォーマットとストレージ保存, ファイル読み込時の呼損抑制を目的とする.  $Size$  を各ファイルのサイズ,  $X$  をファイルの平均サイズ,  $f_{age}$  を更新率,  $MV$  を指標値とする.  $f_{age}$  は Aging Factor と呼ばれる定数で, 1 以下の値をとる. 詳しいアルゴリズムは [6, 7] を参照.

#### 【階層間移動アルゴリズム】

(0) ファイルは初期段階では一次ストレージに保管

(1)  $MV$  値を下記の条件で毎日更新する

(1-i) 新しく追加されたファイル

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

(1-ii) 既に保存されているファイル

$$\begin{cases} MV = MV \cdot f_{age} & (\text{参照がなかった場合}) \\ MV = MV + (X/Size) \cdot f_{age} & (\text{参照があった場合}) \end{cases}$$

(2) 階層間ファイル移動周期  $Date$  に応じて,  $MV$  値の降順にファイルをソートし, フォーマット変換と保存ストレージ移動を行う

## 4. 評価

提案した手法のシミュレーションと実際の WARP データに適用した場合の性能評価を行う.

### 4.1 シミュレーション

提案した階層型ストレージの特性をシミュレーションによって求める. 簡単化のために評価モデルは三次媒体までとし, 各階層のストレージ容量は, 一次:二次:三次 (6GB:3TB: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, 一年間) とする.

シミュレーションの結果, 階層間移動の指標となる  $MV$  値の平均値は一定値に収束する傾向を示した. また, 図 2

は, ファイルの階層間移動に関するグラフであり, 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 (Number Up, Down) と平均サイズ (AverageSize Up, Down) を, 移動が生じない場合のサイズを削除して示す. 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集まる傾向があり, 一度上層に移動したファイルを極力下層へ移動させないことで移動コストを抑制しようとしていることが分かる.

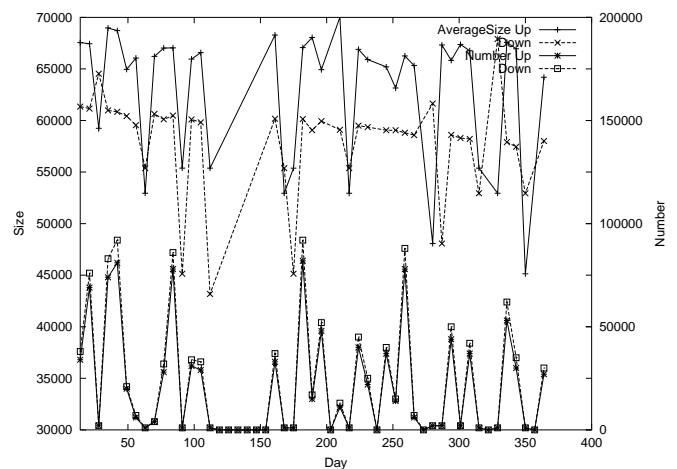


図 2 上層・下層へ移動したファイル数・平均サイズ  
Fig.2 Number and Average Size of Moving Files to The Upper or Lower Layer

また, 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場合の読み出し時間の抑制が課題である. 特に, 実システムにおけるファイル参照は, 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ことから, Web Graph 構造特性等が利用可能であると考えている.

### 4.2 WARP データに基づくシステム性能評価

2004 年 6 月末の WARP 所蔵統計に基づいて, 2009 年 7 月までの増加予測を求めた結果総容量は, 137.55TB と試

算された。所蔵データは大きく分けて「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、このうち実際に利用者の目に触れる「コレクション総容量」のみを取り上げる。その場合の総容量は59.80TB、ファイル総数は9.97億である。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と、各ファイルフォーマットの(容量/ファイル数)はテキスト(5.07TB/39,799万)、文書(27.77TB/8,671万)、マルチメディア(25.30TB/50,085万)である(比率は2004年6月の統計より推定)。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、WARP所蔵統計に基づいて、保存ファイルの(平均容量、圧縮率)をテキスト/文書/マルチメディア:(10KB, 25%)/(330KB, 75%)/(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。各媒体の(単価、アクセス時間)を一次(30円/MB, 0秒)、二次(0.3円/MB, 0.01秒)、三次(0.1円/MB, 100秒)とした。ここでは、その値よりも将来的に変化が生じにくいであろうという点で各媒体間の比率が重要となる。これらに対して、前述の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* を計算した。表3はその一例である。これより、*Ref* と *Cost* にトレードオフ関係があることが確かめられる。実際のシステムの設計の際には、読み出し時間の上限値などの運用上の指標から、最適なシステム構成や圧縮戦略を決定することになる。例えば、NDLでは、一つの目安として4秒の応答時間を考えていることから、二次媒体比率25%、圧縮比率25%とした時の媒体コスト844万円、読み出し時間2.40秒といったシステム設計も可能性がある。

表3 数値例

Fig.3 Example of Numerical Values

媒体コスト(万円)/ 読み出し時間(sec)		二次媒体比率(%)		
		25	50	75
圧縮 比率 (%)	25	844/2.40	1,129/2.28	1,413/2.03
	50	803/5.22	1,075/5.01	1,344/4.57
	75	761/8.36	1,021/7.99	1,277/7.41

## 5. 結び

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。また、階層型ストレージシステムの設計に関しては、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。

今後の課題としては、収集したデータに対する時系列一貫性を持った閲覧手法を考えている。

## [謝辞]

本稿の一部は、文部省科学研究費(16016248, 13680482)の研究成果によるもので、ここに記して謝意を表します。

## [文献]

- [1] Dashti, A. E. and Ghandeharizadeh, S., "On Configuring Hierarchical Storage Structures," Proc. of the Joint NASA/IEEE Mass Storage Conference, Mar. 1998.
- [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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 小城正士, 廣瀬信己, 河野浩之, "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," デジタル図書館, No.24, pp.62-69, 2003.
- [7] 小城正士, 廣瀬信己, 河野浩之, "Webアーカイブにおける長期ストレージシステムの提案," DBWeb2004, Vol.2004, No.14, pp.33-40, 2004.
- [8] 総務省編『情報通信白書平成16年版』2004.
- [9] Library of Congress, "Preserving Our Digital Heritage: Plan for the National Digital Information Infrastructure and Preservation Program," 2002.
- [10] Lyman, P. and Varian, H. R., "How Much Information? 2003," 2003.
- [11] 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.

小城 正士 Masashi KOJO

京都大学大学院情報学研究科博士前期課程(2005修了)。2003京都大学工学部情報学科卒業。日本データベース学会学生会員。

廣瀬 信己 Nobuki HIROSE

国立国会図書館総務部。1997日本長期信用銀行金融商品開発部。1997東京大学経済学部経済学科卒業。日本図書館協会個人会員。

河野 浩之 Hiroyuki KAWANO

2004南山大学数理情報学部情報通信学科教授。1997京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻助教授。1990京都大学大学院工学研究科数理工学専攻博士後期課程。工学博士。電子情報通信学会、情報処理学会など所属。