

特集2

デジタル情報を未来に伝えるには何が必要か？

JST研究開発戦略センター（CRDS）の戦略プロポーザルから

情報を1と0で表すデジタル技術が生まれておよそ半世紀。デジタル情報社会を迎えた今日、さまざまな記録や情報の継承に関わる人々の間で、100年を超えるデータの長期保存の危うさが深刻な問題となってきた。一般にはあまり認識されておらず、産業界だけでの対応も難しい。将来的に大きな影響があると予測される分野に、シンクタンクであるCRDSが光を当てていくさまを追った。

思い出が消える日

結婚式で幼いころの写真や映像を上映し、みんなに楽しんでもらおう—そう思い、父親が撮り溜めてくれたまま眠らせていたDVDを、パソコンに読み込ませようとした。ところがディスクを入れても中身が出てこない。かたっぱしから見てみたが、やはりたくさんあったはずの写真や映像が1枚も読み出せない。懐かしい思い出の画像は、一体どこに消えてしまったのだろうか？

そんな日が遠からず来るかもしれない。いま、「失われつつある過去」として浮上し始めている深刻な問題が、デジタル情報の長期保存の危うさだ。現在主流のメモリや光ディスクは、書き換えスピードは

速くなっているものの、長期保存には向いていない。メーカーにもよるが、現在の製品は5～10年すれば読み書きできなくなってしまうともいわれ、安価なUSBメモリなどは保証期間すら不明なのが実状だ。つまり、いつデータが消えてもおかしくないのである。

デジタル・ジレンマ

ハリウッドの映画界は、この問題を深刻にとらえている。長い間、メーカーなどで半導体技術の開発に携わり、以前からこの問題を危惧していた神奈川大学の小林敏夫さんが、その重要性に気付いたのは2005年ごろのことだ。「1992年ごろから、映画にCGや音声のデジタル符号化技術が導入され始めましたが、ハリウッドではこのようなデジタル方式の映画でさえ銀塩フィルムで保存しているというのです」と小林さんは話す。

ビジネス面からも、彼らは作品を100年以上は保存したいと考えている。し

かし、デジタルのまま保存しようと思っても、媒体の寿命が短いので、長期保存するには何年かごとにデータのコピーを繰り返す必要がある。最近では解像度が高くなり、データ量は爆発的に増え続けているため、移し替えにかかる時間もばかにならない。しかもソフトウェアの記録形式や世代が変われば正しく再現できない危険性があるので、システムごと移行しなければならない（p.11図上段参照）。

一方アナログ媒体のフィルムは、100年以上の保存実績があり、解像度など質の面でも上映には十分である。ハリウッドでは、データをデジタルのまま残したいと思いつつ、現状では維持費のかかりすぎるデジタル媒体での保管に踏み切れないのだ。

小林さんは、メーカー勤務時代に、この問題の解決策となる技術の開発を試みたが、実現できなかった。「現状では価格競争が激しいこともあり、寿命が短くても高速の情報処理を追求する技術開発が主流になっています。利益につながりにくい長期保存に関心を寄せる人は皆無に近い状態です」と嘆く。



小林 敏夫

こばやし・としお

神奈川大学理学部数理・物理学科 非常勤講師

1972年、上智大学理工学部卒業。74年、早稲田大学大学院応用物理学修士課程修了後、電電公社（現・NTT）入社。主幹研究員として、LSIの技術開発などに携わる。97年、早稲田大学より工学博士号取得。98年にソニーに移り、主幹研究員としてMONOS型不揮発性メモリの技術開発と商品化を担当。2001～03年、千葉大学非常勤講師。定年退職後の10年より現職。12年、JST研究開発戦略センターが開催した科学技術未来戦略ワークショップ「超長期保存メモリ・システムの開発」でコーディネーターを務めた。

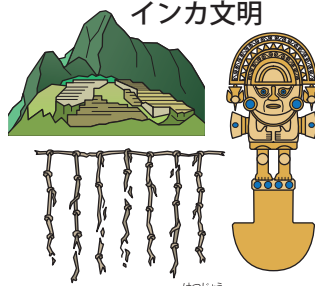


古代エジプト文明



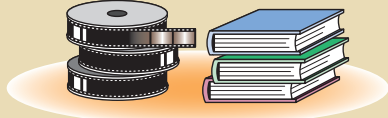
石に刻まれたヒエログリフは残った。

インカ文明

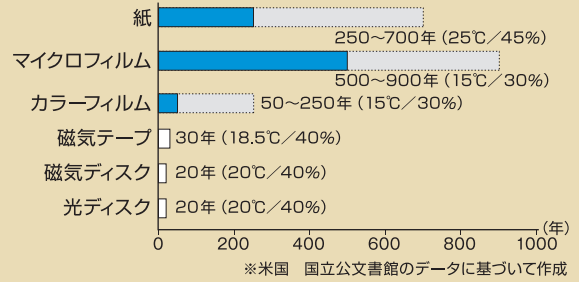


ひもに記述されたキープ（結繩）は保存に向いていなかった。

紙やフィルムは100年持つがデジタルデータは…。



保存性の高い媒体に記録を残さなかった過去の文明は、文字や数字があっても歴史の間に沈んでしまう。記録を後世に伝えるには、長期間風化しない媒体とその解読法を残すことが必要となる。



現在の主な記録媒体の寿命。青は保存条件が保たれた場合に保証される寿命。カッコ内は保存条件(温度/湿度)。紙などに比べて、デジタルデータの保存性は非常に短く、保存用メモリー技術の開発が求められている。

NASAのデータ消失

「デジタル・ジレンマ」とも呼ばれるこうした悩みを抱えているのはハリウッドだけではない。2006年には、スウェーデン国立公文書館が「デジタルブラックホール」と題し、維持できなくなった電子化情報の末路について警鐘を鳴らしている。文化・科学・セキュリティなどに関連する各国の公的機関から一般企業まで、デジタルデータの長期保存に関わる人々はこの問題に気付きはじめており、解決策を求めている。

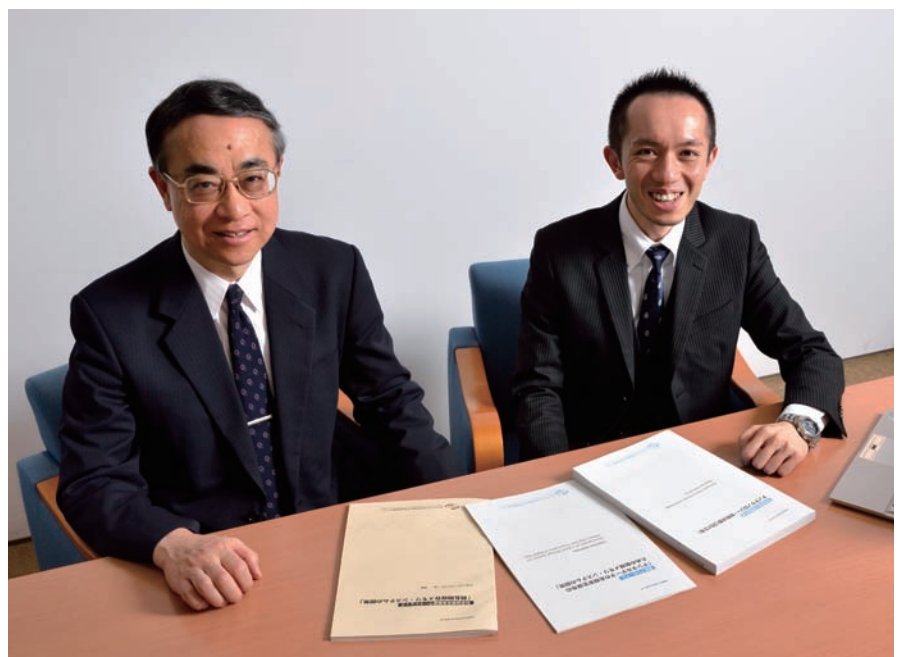
「すでに、過去のデータの消失が大きな問題になった事例も出ています」と危機感を募らすのは、JST研究開発戦略センター(CRDS)のナノテクノロジー・材料ユニットでフェロー(エキスパート)を務める河村誠一郎だ。

1975年に打ち上げられた米国航空宇宙局(NASA)の火星探査機「バイキング」に関する初期のデジタルデータは、磁気テープに記録され保管されていたが、1999年に研究者が内容を確認しようとしたところ、データを読み出せないという事件が起きた。わずか24年前のデータにも関わらず、NASAはそのフォーマットを失っていたのだ。これをきっかけに、米国ではシステムチックにデータ移行を行

うことで連邦政府内のデジタルデータ資産を保護する取り組みを進めてきた。また、海外ベンチャーはさまざまなアイデアで長期保存分野に乗り出し始めているが、世界標準となるような大プロジェクトはいまのところ現れていない。「日本でもこの課題に国が積極的に関わっていくことが必要と考え、私たちCRDSが提言書をまとめるべきだと考えたのです」と河村は調査のきっかけを振り返った。

いくつかの壁を越えて

CRDSは、国の科学技術政策を考える公的シンクタンクとして2003年7月に設立された。その使命は、国内外の科学技術政策や研究開発の動向、社会的・経済的なニーズなどの調査や分析を行い、日本が進めるべき研究開発対象を明らかにして、総合科学技術会議をはじめ各省庁に向けて、科学技術イノベーション創出



JST研究開発戦略センター(CRDS)ナノテクノロジー・材料ユニットでフェローを務める河村誠一郎(左)と永野智己(右)。

のための提言書である「戦略プロポーザル」をつくることだ。

「CRDSが非常に大事にしているのは、科学的根拠に基づいた中立・^{こうへい}公平・公正な提言活動です。何かを提案する際には、特定の政治団体・業界団体・研究者などの意見を代弁するのではなく、あらゆる関係者と徹底的に議論し、自らの責任で慎重に判断しています」とナノテクノロジー・材料ユニットフェローの永野智己は話す。

CRDSにはユニットという専門分野別のグループがある。活動のベースとなるのは、各ユニットが2年ごとに発行する俯瞰報告書だ。これは全体で300人以上にも及ぶ専門家への取材をもとに議論を重ねて分野ごとにまとめられるもので、各分野の科学技術の研究動向から今後の大きな方向性、各国の戦略比較まで網羅されている。

提言化するテーマは、この俯瞰報告書をもとに抽出される。ただし、提言書の形になるのは「いま、提言すべき」と認められたテーマのみ。先取りしすぎても、当たり前すぎてもいけない。国が推進すべき内容としての重要性など、さまざまな観点からCRDS全体で検討される。取り上げる課題が承認されると、ユニットを超えて人が集められ、チームが結成される。2012年4月に結成した「メモリチー

ム」は、河村がリーダーとなり、永野や社会・経済的効果を分析する外部の専門家を含め7人が参加した。

ニーズとシーズが出合う場

チーム結成後は、その分野の研究者・技術者・関連省庁の関係者からユーザーまで、何十人もの人々に、半年ほどかけてインタビュー調査などを行う。海外事情とも比較しながら、日本ではどうすべきかについて検討する。このとき、特に注意することは、潜在的なものも含めて社会のニーズをしっかりと把握し分析することだという。

社会の期待をとらえることは難しいが、CRDSではワークショップ形式を取り入れた手法を確立してきた。メモリチームも、2012年11月に「超長期保存メモリ・システムの開発」と題するワークショップを開催、小林さんがコーディネーターを務めた。そこでは事前調査に応じた産学官のそれぞれ異なる立場の関係者が集まり、チームで検討しながら立てた仮説の実現可能性がその議論を通じて検証される。「社会のニーズ」と「科学技術のシーズ」とが出合うとき、背景がまったく異なる人々の議論を“翻訳”して繋ぐのもCRDSの重要な役割だ。

メモリチームは、こうして大勢の人々の

ニーズや言葉を集め、膨大な議論を重ねながら、提言すべき内容を徹底的に練り上げてきた。この間、フェロー戦略会議と呼ばれるCRDS全分野のフェロー約50人が一同に会する会議での数度にわたる議論や、提言書案の査読などを経て、提言の内容が研ぎ澄まされていった。そして2013年3月、河村の問題提起から1年半後に、ようやく提言書「デジタルデータの長期安定保存のための新規メモリ・システムの開発」が発行された。

100年以上保存する技術

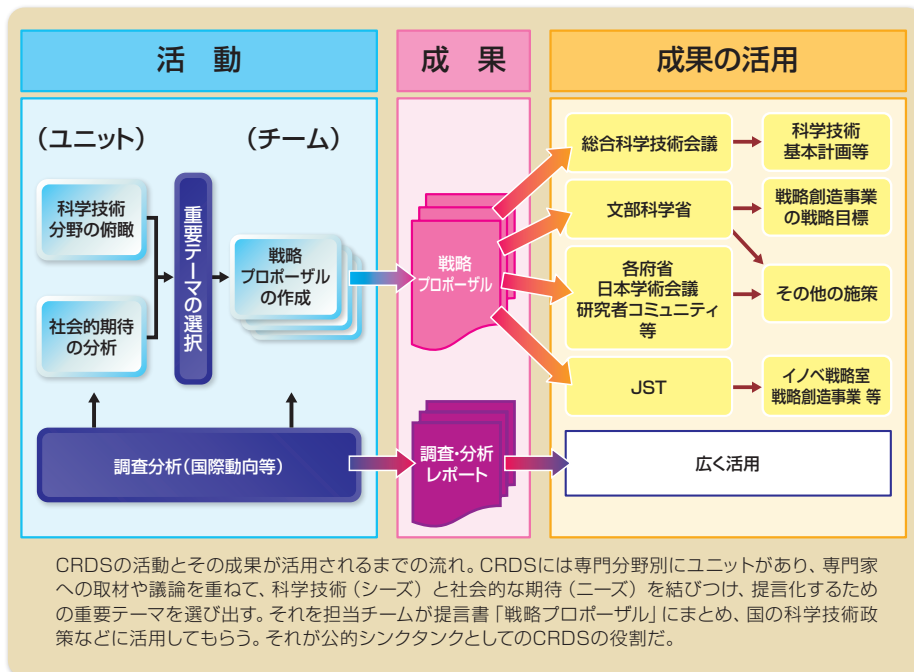
ワークショップなどを通じて、100年どころか1000年以上の記録保持が期待できるメモリ媒体の技術が、すでにいくつも研究開発されてきていることがわかった。

そのひとつが、小林さんらが提唱するMONOS型メモリという半導体や酸化物、窒化物を用いた媒体だ。小林さんは、「MONOS型メモリなら、100年どころか1万年でももつはずです」と太鼓判を押す。これらの材料は非常に丈夫な物質で、常温で安定していて腐食しにくい。しかも構造がシンプルで書き込んだ内容が消えにくく、非常に低コストで製造できる。書き換えがしにくいために、USBメモリなどの大容量メモリの分野では主流にならなかったが、宇宙空間で使うメモリや、携帯電話や交通系ICカードなど信頼性が求められる特定の分野では重用されてきた。

もうひとつは、慶応義塾大学教授の黒田忠広さんが提唱するデジタルロゼッタストーンだ。記録を書き込んである半導体チップを丈夫な素材に完全に密封し、ICカードのように無線でデータをやりとりする。腐食や劣化の元となる酸素や水分を絶つことで、1000年以上の寿命がある。

半導体以外では、超短パルスレーザーで石英ガラスにデータを刻み込む3次元メモリも日立から提唱されており、データ量の課題はあるものの、数億年以上劣化しないという。

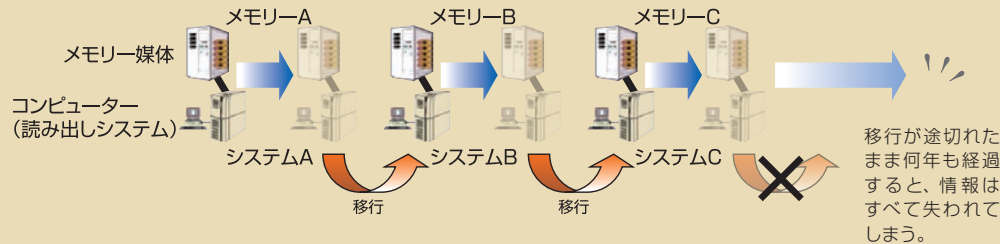
このように、期待できる技術はすでに存在している。「本気で取り組めば、数百





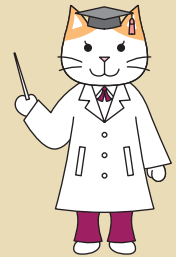
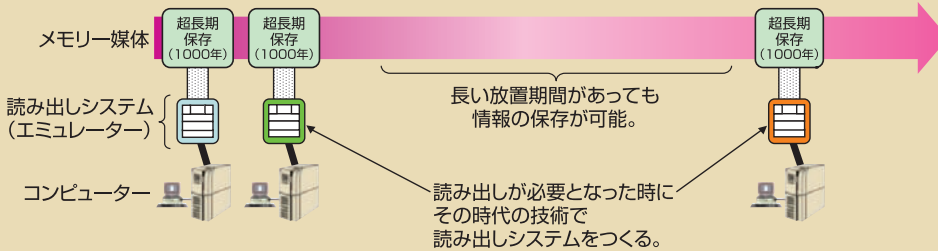
時間軸

●従来型のデータ移行



現在のデジタル情報は、メモリー媒体やシステムの寿命が短いため、長期間保存するには、何年かごとにデータコピーなどの移行作業を繰り返さなければならない。一方、長期保存メモリーは、そのデータを読み出す方法が残されていれば、長期間にわたってデジタル情報を保存できる。

●エミュレーション戦略



年レベルの保証は数年で実現できると思っています。ただし、数百年もつ媒体だけでも、役に立ちません。問題はむしろ意味を理解するシステムのほうです」と小林さん。

将来世代に負担をかけない戦略

どんなに頑丈なタイムカプセルがあっても、将来の人が取り出した情報を理解できなければ意味がない。NASAの事例では、取り出された0、1のビットデータを理解するのに必要な情報がわからなくなっていた。デジタル情報の場合、システムの仕様は移り変わっていくので、わずかな数十年でデータは使えなくなってしまう。

私たちは、すでに家庭用ゲーム機で同じことを経験済みだ。昔楽しんだゲームの多くは、同じメーカーでも最新のゲーム機にはカセットを挿入できない、あるいは読み取れないので遊ぶことができない。

しかし最近では、そんなハードもソフトも合わない古いゲームを、新しいゲーム機で楽しめるようにする仕組みが提供されている。仮想的にかつてのゲーム機を再現させるソフト（エミュレーター）で、当時のままのプログラムをダウンロードして再生できる仕組みだ。こうした技術をエミュレーションという。

もし、将来世代がその時代の技術でエミュレーターをつくることを前提に、現世代がデータ保存の仕様を設計し、数百年後までもつ媒体に格納して、それを扱うための基本情報をシンプルな形で付記しておけばどうだろう。データ移行をせずに、数百年後も、さほど苦勞することなくデータを復元できるはずである（上図下段参照）。去る11月のCRDSのワークショップでも、このエミュレーション戦略が大きな鍵を握るということで一致した。

この戦略を成功させるには、メモリーを動かすハードウェアシステムから基本ソフト、アプリケーションソフトまでを一貫通貫して標準化する必要がある。しかし現状では、電子材料やシステムの研究者とアプリケーションなどを扱う産業界が、別々に研究開発を進めている。「標準化は非常に骨の折れる仕事です。特定の企業だけがリーダーシップを取るのには難しく、関連するステークホルダーを国がサポートして、一体となってつくっていかねばなりません」と永野は言う。

国レベルの決断を支える戦略プロポーザル

米国の市場調査会社によれば、2020年に全世界で生成されるデジタル情報は、現在のほぼ20倍の年間40ゼタバイト

(Z byte=10²¹byte)。仮にその1%が超長期安定保存を必要とするデータであれば、半導体チップだけでも数十兆円、チップの読み書きをする装置は、その2倍程度の市場規模が見込めるという。

この莫大な市場を日本がリードするために、小林さんは次の3つが必要だと考えている。まず、超長期安定保存メモリー・システム全体の仕様を考える活動主体を1日も早く国内につくること。次に、世界に先駆けて基本仕様をつくった上で、各用途について使いやすい実装モデルを先行して開発すること。そして、その土台を固めてから、基本仕様を公開し、国を挙げて世界標準化を狙うことだ。

「日本が、世界をリードするためには自分たちで基本的な仕組みを考え、行動しなければなりません。長期保存システムは、巨大市場をつくる商品として残る数少ない分野だと思います。CRDSが出した提言書が、ぜひこの分野を切り開いていく追い風になってほしい」と小林さんは期待を寄せる。

CRDSは、これまでに96本の戦略プロポーザルを発行してきた。日本の科学技術をけん引する人々の支えとなるべく、河村と永野のまなざしも、すでに新しい提言の準備に向けられている。