

# 考えてみるに As We May Think

ヴァネバー・ブッシュ Vannevar Bush,\* 翻訳 山形浩生†

2013年3月25日

## 概要

第二次大戦中に戦争用弾道計算アナログコンピュータ開発を主導したヴァネバー・ブッシュの有名な(でも実際に読んだ人はあまりいない)1945年の論文。ハイパーテキストの概念を最初期に考案し、それを実現する機械メメックスを提案した論文として名高い。なお、各節の見出しは訳者が便宜のためにつけたもの。概要は以下の通り:

第二次大戦が終わり、科学者は次の大きなプロジェクトを探す必要がある。計算機は進歩したが、計算だけではダメだ。科学はさまざまな成果を生み出しているが、いまや情報洪水でそれを十分に活用できていない。機械による情報記録、検索、関連づけを行うことで人類の知的可能性は飛躍的に向上する。記録のためのカメラ技術は発達してきて、現像不要で画像が作れる。それを保存するためのマイクロフィルム技術はある。そのフィルムの中身を拡大投影するブラウン管もある。そのマイクロフィルム内の情報を結ぶ経路を保存するためのリレー回路もある。これを使って、情報検索と情報の結びつきや関連性まで記録保存できる新しい装置「メメックス」が実現できるのだ。それが発達すれば、いずれは各種信号を脳に直結することも可能になるかもしれない。

## 目次

1	増大する科学情報の活用を機械化するには	2
2	記録、通信、再生方式の発達	4
3	機械による音声認識と計算	6
4	計算力の進歩だけでは不十分	7
5	情報処理と検索こそが重要	8
6	メメックスの「道筋」: 元祖ハイパーテキスト/リンク	10
7	索引の関連づけと情報の道筋	11
8	情報の関連づけ　そして脳直結の可能性へ	12

---

\* 初出 *The Atlantic* 1945 Jul. 1

† ©山形浩生 2013

科学研究開発局長官として、ヴァネバー・ブッシュ博士は科学の戦時利用のために六千人ほどの科学者の活動を取りまとめてきました。この重要な論説では、かれは戦闘が終わった後で科学者にとってのインセンティブを掲げてみせます。科学に従事する人々は、こんどはいまの気が遠くなるほど蓄積された知識をもっと活用しやすくするというすさまじい作業にむかうべきだ、と本稿は主張します。長年にわたり、発明品は人間の物理的な力を拡張してきましたが、人間の精神の力は拡張していません。げんこつを拡大するはねハンマー、目をするどくする顕微鏡、破壊と検出の新しい装置は、現代科学の目新しい成果ではありますが最終目的ではないのです。いまや、きちんと開発すれば、人類に歴史を通じて受け継がれた知識をアクセスしてそれを支配できるようになる、とブッシュ博士は述べます。こうした平和装置の完成こそは、科学者が戦争のための研究から戻ってきたときにまっ先に取り組むべきものなのです。エマーソンの「アメリカの学者」に関する 1837 年の有名な演説のように、ブッシュ博士のこの論文は、考える人とその知識の総体との新しい関係と呼びかけるものとなっています。 編者

今回のものは科学者の戦争ではなかった。それは私たち全員が一端を担った戦争だった。科学者たちは、共通の目的の求めに答えて古い専門的な競争を控え、大いに共有して多くを学んだ。成功した協力関係の中で作業をするのは実に高揚感がある。さて多くの人々は、それがそろそろ終わりを迎えそうだと見ている。その先で科学者たちは何をすべきだろうか？

生物学者たち、特に医療科学者たちには、ほとんど迷う余地はない。というのも戦争で古い道を離れる必要などほとんど生じなかったからだ。多くは戦時中の研究を、お馴染みの平和時の研究所で続けることができた。彼らの目的はほぼ同じままだ。

最も派手にかつての道から投げ出されたのは物理学者たちだ。彼らは学術的な研究を離れて、変な破壊的ガジェット製作に携わり、その予想もしない任務のために新しい手法を考案しなければならなかった。敵を追い返すのに成功した装置に彼らも貢献し、同盟国の物理学者たちと協力しあった。そして達成感のうごめきを感じた。偉大なチームの一員となったのだ。そして平和が近づくにつれて、その最良の能力にふさわしい狙いをどこで見つけられるかが問題となる。

## 1 増大する科学情報の活用を機械化するには

人間の研究が生み出した科学や新しい道具の利用において、いかなる永続的な便益があったらうか。まず、それにより人類の物質環境に対するコントロールが増した。食べ物、衣服、住居を改善した。安全を増し、ぎりぎりの生存という縛りから部分的にせよ解放してくれた。自分の生物学的プロセスについての知識も増し、病気からだんだん自由になり、寿命も延びた。人間の生理学的、心理学的機能の相互作用を明るみに出して、心の健康改善を約束してくれている。

科学は個人間の通信をきわめて高速にした。アイデアの記録を提供し、人々がそうした記録を操作して抽出できるようにして、知識がある個人の生涯だけでなく、その種の生存期間中ずっと発達し、維持されるようにしている。

研究は山のように積み上がりつつある。だが人々が今日、専門化が進むにつれて、それに押しつぶされているという証拠が増大しつつある。探求者は、何千もの他の人々による発見や結論を前にたじろぐ。そうした結論が次々に登場するので理解する時間もないし、ましてそれを覚えておくこともできない。だが進歩のためにはますます専門化が必要になるし、各種分野の間を橋渡しするという試みはますます皮相的なものになってしまう。

専門的には、研究の結果を送信してそれをふりかえる手法は何世代も昔のもので、いまやその目的を達成するにはまるで不十分だ。学術論文を書くための時間とそれを読むための時間を比較できるなら、両者の比率は驚くほどのものになりかねない。ごく限られた分野ですら、絶え間なく没頭して読み続けて自分の分野で最新の発想についていこうと本気で試みる人々ですら、一ヶ月前の努力をその場でどれだけ思い出せるか示すような試験を受けると言われたら尻込みするだろう。メンデルの遺伝法則の考え方は、一世代にわたり世界から失われていたが、それは彼の刊行物が、それを把握して拡張できるような少数の人々に到達しなかったからだ。そしてこの種の危機はまちがいなくあちこちで繰り返されているはずで、真に重要な成果が、大量のどうでもいいものに埋もれて失われてしまっているはずなのだ。

むずかしいのはどうやら、今日の関心の広がり多様性から見て無駄な刊行物が多いということではなく、むしろ刊行物がそうした記録を本当に活用する現在の能力をはるかに超える量になっているということのようだ。人間体験の総計はとんでもない速度で拡大させられており、そこから生じる迷路をくぐりぬけてその時点で重要なアイテムに到達するための手段は、大型帆船時代に使われていたものと代わっていない。

だが新しく強力な道具が使われるようになってきて、変化の兆しが見える。物理的な意味で見ることでできる光電素子、目に見えるものや見えないものまで記録できる先進的な写真技術、蚊が羽を動かすより小さい力で大きな力をコントロールできる熱電子管、一マイクロ秒ですら長時間に思えるほどの短い現象を目に見えるものにできるブラウン管、関連する動きのシーケンスをどんな人間のオペレータよりも信頼できる形で何千倍もはやく伝えられるリレーの組み合わせ 科学的記録の一大変化を引き起こせるような機械的補助は大量にあるのだ。

二世紀前にライブニッツが発明した計算機は、最近のキーボードによる装置の基本的な特性をほとんど体現していたが、当時はそれは実用にならなかった。当時の状況の経済性がそれを阻止したからだ。それを作るのに必要な労働は、大量生産の時代以前だったので、それを使うことにより節約できる労働を上回るものになってしまった。というのも、その計算機で実現できることは、紙と鉛筆をたくさん使えば再現できることでしかなかったからだ。さらにその計算機はしょっちゅう壊れたらうから、頼りにならなかった。当時、そしてその後長きにわたり、複雑性と低信頼性というのは同じことだったのだ。

バベッジは、当時としては驚くほど気前のいい支援を受けていたが、その偉大な算術機械を生み出すことはできなかった。そのアイデアは十分にしっかりしたものだったが、その建設維持費は当時はあまりに大きかったのだ。古代エジプトのファラオが自動車の詳細で明確な設計図を手にし、それを完全に理解できたとしても、車一台のために何千もの部品を作るとなればエジプト王国にとってはすさまじい負担になったらうし、できた車もギザにむかう最初の道中で故障してしまったことだろう。

交換可能な部品を持つ機械は、いまやきわめて労力を節約する形で建設できる。かなりの複雑さを持つのに、信頼できる形で機能するのだ。慎ましいタイプライターでも、映画カメラでも、自動車でも見てみよう。電気の接点は、十分に理解されたので最早くっいたりしはしない。自動電話交換機を見てみよう。そこには何百というそうした接点があるのに、信頼できる。クモの巣のような金属の網の目が薄いガラス容器に封入され、まばゆく輝くように熱されたもの、つまりはラジオの中の熱電管は、一度に何億本単位で製造され、梱包の中で手荒に扱われ、ソケットに差し込まれ それが機能する！ その繊細な部品、建造に求められる厳密な位置や配置は、ギルドの大職人であっても何ヶ月もかかるものだったらう。それがいまや 30 セントで作れる。世界はいまや、安くて複雑なのにきわめて信頼性が高い装置の時代にやってきた。そしてそこから何かは確実に生まれるはずだ。

## 2 記録、通信、再生方式の発達

記録が科学にとって有用であるためには、たえまなく拡張し、保存し、そして何よりも参照されねばならない。今日我々は記録を作るのに、執筆と写真を使い、それが印刷される。だがフィルムやロウ式円盤、磁気ワイヤにも記録する。今後まったく新しい記録方式が登場しなくても、現在のものは確実に改変拡張されつつある。

写真の進歩はどうみても止めようがない。高速な材料やレンズ、もっと自動化の進んだカメラ、もっと肌理の細かい敏感な化合物によるミニカメラという発想の延長はまちがいなく起こる。このトレンドを、不可避ではないにしても論理的な帰結まで伸ばしてみよう。将来のカメラ愛好家は、おでこにクルミよりちょっと大きいくらいの固まりをつける。それは三ミリ四方の写真を撮り、それが後に投射されるか引き延ばされるのだ。これは現在あるものを十分の一にすればすむ話だ。ユニバーサル焦点方式のレンズは、裸眼で見えるあらゆる距離に対応する。これはその焦点距離が短いからだ。クルミには光電素子が組み込まれている。これは少なくとも一つのカメラですでに実現されていて、各種の光の状態に対応して自動的に露出を調整する。クルミの中には露光 100 回分のフィルムがあり、そのシャッターを切ってフィルムをシフトさせるためのバネは、フィルムクリップ装填のときに巻かれる。結果はフルカラーだ。3D 立体視にしてもいい。間隔を開けた二枚のガラスの目で記録することで、いまにも実現しようとしている立体視技術の驚異的な改善が実現できる。

シャッターを切るためのコードは、その人の袖を通して指ですぐにアクセスできるようにすればいい。さっと握れば、写真が撮れる。普通のめがねの片側でっぺん近く、通常見るのには使われない部分に細い線で四角が書かれ、その四角に物体が映れば写真の範囲に入る。未来の科学者が研究室や現場をうろつくときには、何か記録に値するものを見たら、シャッターを切ってその画像が保存され、シャッター音すら聞こえない。あまりに荒唐無稽？ この話で唯一荒唐無稽なのは、これを使ったときに生まれるほどの大量の写真を生み出すという発想だけなのだ。

乾式現像は実現するか？ すでに二種類の形で実現されている。プレイディが南北戦争の写真撮ったとき、プレートは露光の間ずっと濡れている必要があった。いまは、かわりに現像の間だけ濡れていなければならぬ。将来は、まったく湿らせる必要がないかもしれない。昔から現像なしで画像を描ける、ジアゾ染料を使ったフィルムはあり、これを使うとカメラを操作してすぐに写真がそこにある。アンモニアガスに曝せば、露光していない染料は破壊され、画像はすぐに明るいとこで検分できるようになる。いまはこのプロセスは時間がかかるが、だれかがそれを加速する人が現れるかもしれないし、いまの写真研究者を悩ませているような粒子の困難もない。カメラをスナップして、すぐに写真を見ることができれば有利となる場合は多いだろう。

いま使われているもう一つのプロセスもやはり遅いし、同じくらい面倒だ。50 年にわたり、電極が触れたところが暗くなるような薬品を染みこませた紙が使われてきた。これは紙に含まれるイオン化合物の化学変化により生じるものだ。これも記録に使われており、その上を動くポインタは軌跡を残せる。ポインタの電位を移動につれて変化させると、その線は電位に応じて薄くなったり濃くなったりする。

この方式は現在、ファクシミリ送信に使われている。ポインタは紙の上に密集した線をたくさん描く。動くにつれて、遠くの局から電線で送られてくる電流変動に応じて電位が変化させられる。その局のほうでは、こうした変化は同時に画像を走査している光素子によりそうした変動が生み出されている。あらゆる瞬間に、描かれている線の濃さは、光素子が見ている画像上の点の濃さと同じになる。したがって画像全体がカバーされたら、受信側ではその複製ができることになる。

ある場面そのものも、このようにして線ごとに光素子によって検出することができる。それはその場面の写真と同じことになる。装置全体はカメラで、その画像を遠くで作るといふ追加機能を必要に応じて使える。遅いし、画像はかなり粗いものだ。でも乾式現像の別のプロセスではあり、画像は撮影と同時に完成する。

こうしたプロセスがこの先ずっと面倒で、遅く、細部のつぶれたものであり続けると予想するのはかなり大胆なことだろう。今日のテレビ装置は、毎秒そこそこの画像を 16 枚ずつ送るが、それは上に述べられたものと本質的には二つの点でちがっているにすぎない。一つは、記録はポインタの移動ではなく電子ビームの移動によって行われるということ。というのも電子ビームは画像の上をきわめて高速に移動走査できるからだ。もう一つのちがいは単に、化学的に処理された紙や、永遠に変更されるフィルムとはちがひ、電子ビームが当たったときに一瞬だけ輝く画面を使うというだけだ。テレビではこの速度が必要なのだ。というのも静止画ではなく動画が求められるからだ。

輝く画面の代わりに化学処理されたフィルムを使い、その装置が画像を次々に送るのではなく一枚の画像を送るようにすれば、乾式写真のための高速カメラが実現する。化学処理されたフィルムは既存のものよりはるかに高速に機能しなくてはならないが、それはたぶん実現できる。もっと深刻なのは、この方式ではフィルムを真空室の中に入れる必要があるという反論だ。というのも電子ビームが普通にふるまうのは、そうした珍しい環境の中だけだからだ。この困難は、電子ビームがある仕切りの片側だけで作用するようにして、その仕切りが表面と直角に入ってきた電子は通過できるようにしておけば、フィルムをその反対側に押しつければ、電子が脇にそれずにすむ。こうした仕切りは、粗雑な形ではまちがひなくつくれるし、全体の開発を阻害するようなことはほとんどない。

乾式現像と同じく、マイクロ写真もまだまだ発展の余地がある。記録の大きさを減らし、それを見るときに直接見るのではなく投射して見るための基本的な方式は、可能性が大きすぎて無視しがたい。工学的な投影と写真の縮小はすでに学問用途でのマイクロフィルムで結果を出しているし、その可能性はきわめて示唆的だ。今日マイクロフィルムを使えば、線形で 20 分の 1 の縮小が可能で、しかもそれを検討するために再拡大しても、完全に明瞭さを保てる。それを制約するのはフィルムの粒子の粗さ、光学系の優秀さ、使う光源の効率性だ。これはどれも急速に改善されている。

将来の用途では、線形で 100 分の 1 の比率を想定しよう。フィルムは紙の厚さだとしよう。もちろんもっと薄いフィルムでも当然使える。でもこの条件瀬すら、通常の本の記録とそのマイクロフィルムでの複製を比べれば容積で一万分の一の比率となる。『ブリタニカ百科事典』はマッチ箱ほどの大きさに縮められる。百万冊の図書館は、机の片側くらいの大きさに圧縮できる。人類が活字の発明以来、雑誌、新聞、本、論考、宣伝文句、文通などという形で、記録の総体として十億冊の本に匹敵する記録を生み出したとしたら、そのすべてを集めて圧縮しても、引っ越し用トラックくらいの大きさにして運べる。もちろん圧縮度を高めるだけではダメだ。人は記録を作り保存するだけでなく、それを調べられねばならず、問題のその側面については後で触れる。現代の大図書館ですら、全体が参照されてはいない。少数の人がつまみ食いしているだけなのだ。

だが圧縮は費用面から見れば重要だ。マイクロフィルム版ブリタニカ百科事典の材料はほんの 5 セントほどで、1 セントでどこにでも郵送できる。それを百万部印刷したらいくらかかるだろうか？ 新聞を一枚、大量に印刷すると、一枚は一セントの何分の一かしかかからない。マイクロフィルムに縮小されたブリタニカ百科事典の全内容は、8.5 インチ × 11 インチの紙（レターサイズ）一枚におさまる。それができたら、将来の写真複製技術をもってすれば、大量に複製すればたぶん材料費として一枚 1 セントくらいで作れる。ではそのもとのコピーを作るには？ それが問題の次の部分だ。

### 3 機械による音声認識と計算

記録を作るには、いま鉛筆で書くかタイプライターを叩く。それからそれを読み直して訂正し、その後は製版、印刷、頒布という複雑なプロセスが続く。この手順の最初の段階を考える場合、未来の作家は手書きやタイプライターの執筆をやめて、記録に直接しゃべるようになるだろうか？ いままでも間接的にはそれをしてきた。たとえば速記者に話したり、口ウ管に録音したりしてきた。でもしゃべったものが直接タイプされた記録になるようにするための要素は、すべて存在している。必要なのは既存の機構を活用し、同時に自分の言葉を変えることだ。

最近の世界博で、ヴォーダーという機械が展示された。女の子がそのキーを叩くと、聞き取れる声を発するのだ。その過程で人間の声帯は一切入ってこない。キーは単に、何か電気が生み出す振動を組み合わせるそれをラウドスピーカーに流したのだ。ベル研究所では、この機械の逆をやるヴォコーダーという機械がある。ラウドスピーカーのかわりにマイクがあり、それが音を拾う。それに話しかければ、対応するキーが動く。これが想定されるシステムの一要素となり得る。

他の要素はステノタイプに見られる。これは通常は公開会議などでお目にかかる、いささか不穏な装置だ。女の子がそのキーを物憂げに叩きだし、部屋やときには話者を見つめるので、落ち着かない気持ちになってしまう。この装置からはタイプされた紙テープが出てきて、それは音韻的に単純化した言語により、話者が言ったはずのことを記録しているとされる。後にこの紙テープは通常の言語にタイプしなおされる。そのままでは、特別な訓練を受けた人しか理解できないからだ。この二つの要素を組み合わせよう。ヴォコーダーにステノタイプを使わせよう。すると、話しかけるとタイプしてくれる機械ができあがる。

私たちの現在の言語は、この種の機械化にはあまり適応していないのは事実だ。世界言語の発明者たちが、発話を送信記録するのにもっと適した言語を作るというアイデアを取り入れていないのは不思議なことだ（訳注：たぶんエスペラント運動とかが念頭にある）。だがこれからでも機械化がこうした動きを強制することになるかもしれない。特に科学分野ではその可能性がある。そうなれば科学専門用語も、素人に少しはわかりやすくなるかもしれない。

いまや研究室にいる未来の研究者を思い描ける。手には何ももたず、机にしばりつけられてもいない。動き回り観察するにつれて、写真を撮ってコメントを語る。この二つの記録には自動的に時間が記録される。フィールド調査に出たら、記録装置とは無線で接続されるかもしれない。夜になって自分のメモを見直すにつれて、またもやコメントを記録装置に語りかける。タイプされた記録や写真はどちらもミニチュア版になっているので、検討するときにはそれを投影する。

だが、データの収集と観察、既存記録から類似材料の抽出、新しい材料を共通記録の一般的な総体に最終的に挿入という一連の活動の間には、多くのことが実行されねばならない。成熟した思考は機械では置き換えられない。だが創造的な思索と基本的には反復的な思考とはまったくちがったものだ。後者については、すでに強力な機械補助があるし、今後もさらに増えるかもしれない。

数字に一桁追加するのは反復的な思考プロセスであり、ずっと昔に正しくも機械に委任された。確かにその機械はときに鍵盤でコントロールされるし、数字を読んで対応するキーをつつくには思考のようなものが入ってくるが、これすら回避できる。タイプされた図を光素子で読んで、対応するキーを押す機械はできている。活字を走査する光素子、そこから生じる変化を整理する電気回路、その結果をソレノイドの活動に翻訳してキーを押させるリレー回路の組み合わせだ。

こうした複雑な仕組みが必要なのは私たちが数字を書くのを学んだやり方のせいだ。もしそれを位置として

記録し、単なるカード上の点の配置で表せば、自動読み取り装置は比較的簡単になる。実はその点が穴なら、国勢調査のためにホロリスが開発したパンチカード機械がずっと前からあるし、これはいまやあちこちの企業で使われている。一部の複雑な企業は、こうした機械がなくてはほとんど機能できない。

加算は演算操作の一つでしかない。算術計算をするためには、減算、乗算、割り算がいるし、その結果の一時的な保存手段、さらなる操作のためにそれを保存から取り出す手段、最終的な結果を印刷して記録する手段が必要だ。こうした目的の機械はいまや二種類ある。会計用などの鍵盤機械は、データの挿入のために手でコントロールされ、操作のシーケンスについては通常は自動でコントロールされる。もう一つはパンチカード機械で、ちがう操作がそれぞれ一連の機械に任せられ、カードは実体としてこちらからあちらへと移動させられる。どちらの形式もとても便利だ。だが複雑な計算についていえば、どちらもヒヨコでしかない。

高速電気計数は、物理学者が宇宙線を数えるといいなと思ってからすぐに登場した。自分たちが使うために、物理学者たちはすぐに毎秒 10 万の率で電気インパルスを数えられる熱電管装置をすぐに作った。将来の算術装置は電気的なものとなり、現在の百倍、いやそれ以上の速度で計算するだろう。

さらに、現在の商用機械よりずっと柔軟性を持ち、各種の演算にすぐに適応させられるようになる。コントロールカードやコントロールフィルムで制御され、自分でデータを選び出し、それを挿入された命令にしたがって操作し、複雑な算術計算をとんでもなく高速で実施して、結果の記録も頒布しやすい形が後にさらに操作しやすい形で行う。こうした機械はすさまじい食欲を持つ。たった一台の機械が、単純な鍵盤パンチ機を持った部屋いっぱいの女の子たちから命令やデータを受け取って、計算結果の紙を数分ごとにはき出す。何百万もの人々が複雑なことをやるという細かい作業においては、いつだって計算すべきものはたくさんあるはずだ。

## 4 計算力の進歩だけでは不十分

思考の反復的なプロセスは、算術や統計の問題に限られてはいない。実は人が確立した論理プロセスにしたがって事実を組み合わせ記録するたびに、思考の創造的な側面は、データと使うべきプロセスの選択にしか使われておらず、その後の操作は本質的に反復的なものでしかなく、したがって機械に委任するにふさわしいものとなっている。この方向性では、算数の領域以外では大した試みは行われていない。これは主に状況の経済性のためだ。ビジネスのニーズや、その他待ち構えている大量の市場のおかげで、大量生産の算術機械は生産手段が十分に発達するがはやいか発達するのはまちがいないことだった。

高度な分析の機械となると、そういう状況は存在していない。というのも大きな市場が昔もいまもないからだ。データ操作の高度な手法を使う人は人口のごくわずかだ。だが微分方程式を解く機械はある。そしてまた関数方程式や積分方程式も解ける。潮の満ち干を予測するハーモニックスンセサイザなど、多くの専用機械もある。そうしたものは今後も登場するだろう。そしてまちががなく、最初のごく少数だけが科学者の手にわたることになるだろう。

もし科学的な理由づけが算数の論理プロセスだけに限られているなら、物理世界の理解はあまり進まないだろう。ポーカーの勝負を確率数学だけで理解しようとするようなものだ。並行した針金多数にビーズを通したそろばんは、アラブ人たちに位取り記数法とゼロの概念を、他の世界より何世紀も前に発見させたし、それは便利な道具ではあった。あまりに便利なので、いまだに存在するほどだ。

そろばんからいまの鍵盤式会計機械までは実に距離がある。そこから未来の算術機械へは、同じくらいの距離があるだろう。だがこの新しい機械ですら、科学者を必要な位置に連れて行ってはくれない。利用者が脳を、確立されたルール通りの反復的な細かい変形作業から解放したいのであれば、高等数学の面倒で細かい操

作からも人々は解放されねばならない。数学者というのは、数字を容易に操れる人物ではない。数字が苦手な人も多いのだ。解析学を使って方程式を容易に変形できる人物でさえない。数学者というのは主に、記号論理をもっと高い次元で使うのに長けた人物であり、特に使う操作プロセスの操作についての直感的な判断ができる人物なのだ。

それ以外のすべては、機械に任せられるはずだ。ちょうど車の駆動を、ボンネット下の複雑なメカニズムに安心して任せられるのと同じだ。そうなったときに初めて、数学は原子に関する知識増大を高度な化学や冶金、生物学などの有益な解決に適用することが実用的に可能となるだろう。このため、科学者のために高等数学を扱う機械はもっと出てくる。その一部は実に異様なものとなり、文明の目下の人工物に対するきわめて気むずかしい愛好家ですら満足させるものとなるだろう。

## 5 情報処理と検索こそが重要

だが、データを操作して、論理的なプロセスを使うことでまわりの世界を検討するのは科学者だけではない。科学者たちはときどき、論理的になる人をすべて自分たちの仲間扱いし、イギリスの労働指導者がナイトの称号を与えられるように、みんな科学者にしてしまうことでそれが科学者だけなのだというそぶりをしてみせるのではあるが。思考の論理的プロセスが活用されるときは常に　つまりしばらくでも思考が受け入れられた道筋にしたがって動くとき　そこにはこの機械が活躍する機会が生じる。形式論理は、かつては教師が生徒の頭を試そうとするときには有効な道具となった。前提条件を形式論理にしたがって操作するような機械をつくることはすぐにでも可能で、リレー回路を巧みに使えばいいだけだ。こうした装置に前提群を入れてハンドルを回すと、即座に結論が次々に出てきてそのすべてが論理法則に従ったものとなり、鍵盤式の加算機ほどのまちがいもおかさないのだ。

論理はすさまじくむずかしくなりかねず、その利用についてももっと安心をもたせればまちがいなく結構なことだ。高次の分析用機械は、通常は方程式を解く機械だった。等式の変形機のアイディアも生まれつつある。これは等式で表現された関係を、厳密でいささか高度な論理にしたがって並べ直すものだ。進歩を阻害しているのは、数学者が関係を表現するためのずいぶん粗雑なやり方だ。彼らが使う記号はトプシーのように育ってしまい、ほとんど一貫性がない。最も論理的な分野なのに、これは奇妙な事実だ。

新しい記号体系、たぶん位置にもとづく記号が、数学的変形を機械プロセスに還元するに先立って起こる必要があるのは明らかだ。それから数学者の厳密な論理を越えて、それを日常的な作業に適用するという段階がくる。いつの日か、機械に議論をカチカチと入力して、いま売上げをキャッシュレジスターに入力するのと同じくらい安心して処理させるかもしれない。だが論理の機械はキャッシュレジスター　いやその流線型モデルですら　のような姿にはならないだろう。

アイディアの操作やそれを記録に挿入する話はここまでとしよう。これまで私たちは、以前よりかえって悪い状態になってしまったようだ　という人もはすさまじく記録を拡張することはできる。だが記録はいまの分量ですらほとんどまともに参照できないのだ。これは科学研究のためにデータを抽出するというだけの話よりはるかに問題が大きい。人が獲得した知識を受け継いでそれをどう活用するかというプロセスすべてに関連しているのだ。利用のための主要な行動は選択であり、ここで人はまちがいなく足踏みしている。すばらしい思考は何百万もあり、それらの元になっている経験の記録もたくさんあり、それらすべては受け入れられている建築形態の中に収容されている。だが学者が真面目に探索してそうしたものに週に一つしか遭遇できないのであれば、そうした総合の努力は現在の状況にとっても追いつけるとは思えない。

この意味で選択というのはたんず職人の手に握られた石斧のようなものだ。だが狭い意味で他の分野では、

選択という問題ですでに機械的に対応が行われている。工場の人事部は、何千もの従業員カードの束を選択機械に落とし込んで、確立された慣行にしたがって符号をセットし、ごく短時間でトレントン在住でスペイン語を話せる従業員全員の一覧表を作れる。こうした装置ですら、五〇〇万人の中から一人の指紋を選び出すといった作業になると、あまりに遅すぎる。この種の選択装置は、間もなく現在の速度から、毎分数百のデータを閲覧するまでに加速されることになる。光素子とマイクロフィルムの利用で、これらは毎秒数千を調べられるようになり、選択された者の複製を印刷することになる。

だがこのプロセスは単なる選択だ。それは大量のアイテムを一つ残らず検討し、ある指定の特性を持つものを選び出すことで進む。別の選択方式があり、このもっともよい見本は自動電話交換機だ。電話番号をまわすと、機械は百万もの可能な局の中から一つだけ選び出してそれに接続する。その百万の局すべてを調べたりはしない。最初の桁を見てある一部だけに注目し、二桁目を見て、その中のさらに一部だけに注目し、という具合だ。そしてこのようにして、選んだ局に高速かつほとんどまちがいに進む。選択にはほんの数秒しかかからないし、もし加速することが経済的に見合うのであればこのプロセスを加速することもできる。必要なら、機械スイッチングを熱電管スイッチングに切り替えて、選択のすべてが百分の一秒で行われるようすさまじく高速化することもできる。電話システムでこんな変化を実現するのに必要なお金を出したがる人はいないが、この考え自体は他のところに適用できる。

大百貨店というつまらない例を考えよう。売上げが起るたびに、やるべきことはたくさんある。在庫記録を改訂し、営業人の売上げ成績を改訂し、帳簿には記録が必要で、最も重要なこととして顧客に売掛金の課金をしなくてはならない。こうした作業の多くを便利にこなす中央記録装置が開発されている。営業人はスタンドに顧客の身分証と自分の社員証と売れた商品のカードを並べる。どれもパンチカードだ。レバーを引くと、そのカードの穴を通じて電気的接触が起り、中央にある機械が必要な計算や記録を行い、適切な受取証が印刷されて、それを営業人は顧客に渡す。

だが店と掛けで取引する顧客は何万人もいるだろう。そしてこの操作全体を終えるためには、だれかが正しいカードを選んで、それを中央事務所に挿入しなくてはならない。高速選択があれば、ほんの一瞬かそこらで正しいカードを適切な位置に滑りこませ、終わったらそれを戻せる。だが別の困難が生じる。だれかがカードの総計を読み取らなければならない。そうしないと機械がそこに計算したアイテムを追加できない。そうしたカードは私がすでに述べた乾式写真のようなものになることも考えられる。既存の合計は光素子が読み込み、新しい合計は電子ビームで入力されることになる。

カードをミニチュアにしてあまり場所を取らないようにできる。高速に移動することが必要だ。あまり遠くに動かす必要はない。光素子と記録装置が処理できるような位置に動かすだけでいい。位置に意味を持たせる点でデータを入力できる。月末にそれらを読み取って通常の請求書を印刷する機械は容易に作れる。熱電管による選択で、スイッチに機械部品を使わないですめば、正しいカードを使える状態にするにはほとんど時間がかからない。この操作全体で一秒もあれば十分だ。カード上の全記録は、光学的に読み取る点ではなく、鉄の板に置いた磁気の点で行うこともできる。これはずっと前に、話を磁気ワイヤに記録するというポールセンがずっと前に発明した方式に基づくものだ。この手法は簡単だし消すのも簡単という利点がある。だが写真技術を使えば、その記録を拡大投影し、しかも遠くからテレビ装置と共通のプロセスで見られるよう手配できる。

こうした形の高速選択を使い、遠くで投影するという方式を別の目的で使うことも考えられる。百万件も書かれた一枚のシートを一、二秒でキー一つでオペレータの前に呼び出し、さらにそこにメモを記録もできるというのは、いろいろな点で示唆的だ。これは図書館ですら使えるかもしれないが、それはまた別の話だ。いずれにしても、いまやおもしろい組み合わせが可能となる。たとえば、さっき音声制御のタイプライターとの関連で描いたようにマイクに語りかけ、その選択を行うようにできるかもしれない。まちがいにそこらのファ

イル事務員に勝るものとなるはずだ。

## 6 メメックスの「道筋」：元祖ハイパーテキスト/リンク

選択という問題の真の核心は、図書館における機械の採用の遅れや、そうした用途の装置開発の欠如といったものよりも根深い。人がなかなか記録に到達できないのは、索引体系の不自然さから生じている。どんなデータでも保存されると、アルファベット順や数字順に並べられ、情報を見つけるには（見つかればの話だが）それは分類からどんどん下位の分類に下ることになる。それは（複製を使わない限り）たった一つの場所にしかない。どの経路がそれを見つけられるかについてはルールがなければならず、そのルールは面倒なものだ。さらに、一つのアイテムを見つけたら、システムから出てきて、まともや新しい経路に入り直さねばならない。

人間の心はそういうふうには機能しない。関連性によって機能する。一つのアイテムをつかんだら、思考の関連性から示唆される次のアイテムに即座にパチッと切り替わる。それは脳細胞が運ぶ何やら複雑な道筋の網目に従ったものだ。もちろん他の特性もある。あまりしょっちゅうたどられない道筋はだんだん薄れてしまうし、アイテムは完全に永続的ではなく、記憶は移ろいやすい。だが行動の速度、道筋の入念性、心的な図式の詳細は、自然の他のあらゆるものにも増して畏敬の念を抱かせるものだ。

人は自分の心的プロセスを人工的に完全に複製できるとは期待できないが、そこから学ぶことはできるはずだ。部分的には改善するところもあるだろう。というのもその記録は比較的永続性を持つからだ。だがこのアナロジーから得られる最初のアイデアは選択に関するものだ。索引づけではなく関連性による選択は、まだ機械化されていない。これは人間が関連性の道筋をたどる速度や柔軟性に匹敵するものになるとは期待できないが、保存から呼び起こされたアイテムの永続性と明瞭性という点で人間の心に文句なしに勝てるはずだ。

個人用の未来装置を考えて見よう。これは一種の機械化されたファイル兼図書館だ。名前が必要だから、いい加減に「メメックス」と読んでおけば用が足りる。メメックスは個人が自分の本、記録、通信すべてを保存する装置で、機械化されていて驚くほどの速度と柔軟性で参照できる。それは彼の記憶の拡大した密接な補助物なのだ。

それは机のような形で、たぶん離れたところからも操作できるが、基本的にはそれにむかって作業をする家具となる。てっぺんには傾いた半透明画面がいくつかあり、そこに読みやすいように材料が投影される。鍵盤とボタンがいくつか、そしてレバーが何本かある。それ以外は通常の机と同じだ。

一端には保存された情報がある。その分量という問題は、マイクロフィルムの改善で解決される。メメックスの内部のうち、保存に使われるのはごくわずかで、残りはメカニズムだ。だが利用者が毎日五千ページずつの方法を装填したとしても、その保存部分を満たすには何百年もかかる。だからいくらでも好き勝手に情報は追加できるのだ。

メメックスのほとんどのコンテンツはマイクロフィルムで購入され、すぐに挿入できるようになっている。ありとあらゆる本、画像、最新の雑誌、新聞などが購入され、適切な場所におさめられる。社用の通信なども同じ道をたどる。そして直接入力の手段もある。メメックスのてっぺんには透明な板が置かれている。そこに手書きメモ、写真、覚え書き、各種のものが置かれる。一つがそこに置いて、レバーを押せばその写真が撮られ、それがメメックスのフィルムの次の部分に入る。そこには乾板写真が使われるのだ。

もちろん、通常の索引方式により記録を調べるための手段もある。もし利用者がある本を調べたければ、そのコードをキーボードで打ち出し、すると本のタイトルページが即座に、鑑賞位置の一つに投影される形ですぐにあらわれる。しばしば使われるコードは記憶符号になっているので、符号帳は滅多に参照しないですむ。でも必要な場合には、タププー一回でそれが使えるように投影される。さらに、補助レバーもある。右側にある

そのレバーを曲げると、目の前の本がめくれ、次々に一定速度でページが投影されて、流し読みできる。もしそれをさらに右に曲げると、本は十ページきざみでめくられる。もっと強く曲げれば 100 ページずつだ。左に曲げれば、同じことが逆方向で起きる。

特別なボタンですぐに、索引の最初のページに飛べる。ライブラリのどの本でもそこから呼び出し、調べられる。これは本棚から取り出すよりはるかに便利だ。投影位置は複数あるので、一冊を開いたままにして別の呼び出すこともできる。乾式写真の一種類を活用して余白にメモやコメントを書き付けることもできるし、それをスタイラス方式で、まるで物理的なページがそこにあるかのように行うような仕組みもできる。これはまさに鉄道の待合室で活用されているテレオートグラフ（遠隔署名）で使われているようなものだ。

## 7 索引の関連づけと情報の道筋

こうしたものすべては、今日の仕掛けやガジェットを未来に投影した部分を除けば、目新しいものではない。だがそれは関連づけた索引作成に即座に一步をもたらずものだ。関連づけた索引というのは、どんな項目であれ、好きな時に即座かつ自動的に他の項目を選択するようにできる、という発想だ。これがメメックスの本質的な特徴となる。二つの項目を結びつけるプロセスこそが重要なのだ。

利用者が道筋を作るとき、それに名前をつけて、それを符号帳に挿入し、それをキーボードで叩き出す。すると目の前に関連づけられるべき二つのアイテムがあらわれ、隣接して見られるよう投影される。それぞれの下部には空白の符号用の場所がたくさんあって、そのそれぞれを指し示すポインタがセットされている。利用者は一つキーを押し、するとそのアイテムは永遠に関連づけられる。それぞれの符号欄には、符号語があらわれる。目には見えないがやはりその符号欄に記入されているのは、光素子用の点だ。そしてそれぞれのアイテムについて、こうした点の位置はもう一つのアイテムの索引番号が示されているのだ。

その後はどの時点でも、この項目のどれかが参照されると、他のものは対応する符号欄の下にあるボタンを叩くだけで呼び出せる。さらに、無数の項目がこのようにして結びつけられて道筋を形成すれば、本のページをめくるレバーのようなものをひねるだけで、それを順番に手早くでもじっくりとでもたどることができるのだ。まさに物理的なアイテムがまったくかけ離れた出所から集められて、新しい本として綴じあわされたかのようだ。いやそれ以上のものだ、というもこの無数の道筋にはどんなアイテムでもつなげられるからだ。

メメックス所有者が、かりに弓矢の起源や性質に興味を持ったとしよう。具体的には、なぜ十字軍の戦いの中で、イギリスの長弓に対してトルコ軍の短い弓のほうが優れていたのかを研究していたとする。メメックスの中には、それに関係ありそうな本や論文が何十もある。まずは百科事典を調べ、おもしろいがあまり詳しくない記事を見つけて、それを投射させておく。次に歴史記述で別の関係するアイテムを見つけ、これを百科事典記事とつなげておく。このようにして、多数のアイテムの道筋を作るわけだ。ときどき自分なりのコメントも挿入する。これは主な道筋にリンクさせてもいいし、特定アイテムの脇道筋につなげてもいい。手に入る材料の弾性が弓と大いに関係していたことが明らかになると、彼は脇道筋に分岐して、弾性についての教科書や物理定数の表を逍遙する。独自の分析を手書きで一ページ挿入する。このように彼は、自分の関心の道筋を、手持ちの迷路のような材料の中に作るわけだ。

そしてその道筋は消えたりしない。数年後、彼は友人と話をしているうちに、人々が決定的な利害にもかかわらず技術革新に奇妙な形で抵抗したがるというのが話題になる。彼のほうは、怒ったヨーロッパ人たちが、それでもトルコ式の弓を採用しないという事例を持っている。いや、事例どころか道筋がある。タッチすると符号帳が出てくる。いくつかキーを叩くと、道筋の冒頭が投影される。レバーを引けば好き勝手にその中を移動し、おもしろいアイテムで立ち止まり、脇道にそれたりできる。議論に関係したおもしろい道筋だ。だから

複製機をたちあげて、道筋すべてを写真に撮り、それを友人に渡して、その友人が自分のメモックスに挿入できるようにする。そして友人はそれをもっと一般的な道筋にリンクするのだ。

## 8 情報の関連づけ　そして脳直結の可能性へ

まったく新しい形の百科事典が現れるだろう。その百科事典では、網の目のように関連事項のつながりが縦横に走っており、それがますますメモックスに導入されてそこで拡大投影されるようになっているのだ。弁護士は触れるだけで、関連する意見書や判決を、自分の体験したものすべては言うにおよばず、友人の経験や当局の経験まで含めて見られる。弁理士は指先で何百万もの既存特許を呼び出せ、自分の顧客が関心を持つ点すべてにお馴染みの道筋がつけられている。患者の反応に首を傾げる医師は、以前に類似の症例を研究したときに確立した道筋をたどり、類似の症例を手早く見て、しかもそうした症例には関連した解剖学や症例に関する古典文献も参照できるようになっている。有機化合物の合成に苦勞する化学者は、実験室の目の前にあらゆる化学文献を備え、似たような化合物の類似例をたどる道筋や、それらの物理的、科学的ふるまいについての横道がつけられている。

歴史家はある人間集団について大量の経時的な記録を持っているが、それと並行して重要な項目だけで止まるような流し読みの道筋を用意し、そして現代の道筋がある時代の文明全体につながるような方向へ好きなときにつなげるようにする。すると道筋探究家という新しい職業が生まれるだろう。共通記録のすさまじい大量情報の中から、有益な道筋を確立することに喜びを見出す人々だ。巨匠から受け継ぐものは、その人が世界の記録に追加したものだけでなく、その弟子たちにとってはそうした追加記録を構築するために使われた足場のすべてが残されるのだ。

こうして科学は、人が人類としての記録を生み出し、蓄積し、検討するための方法を実装することができる。将来の道具について、ここでやったように現在わかっていて急激な変化が生じている手法や要素にあまりこだわりのではなく、もっと極端な形で概説すると驚かれるかもしれない。ありとあらゆる技術的な困難は確かに無視されているが、同じく無視されているのは、熱電管の到来のように技術進歩を劇的に加速するような、まだ知られておらず明日にも到来しかねない新しい技術手段なのだ。今日のパターンにこだわらぬあまり、将来像があまりにつまらないものになってしまうまいや、可能性の一つをあげておくのもいいだろう。これは予言ではなく、単なる示唆だ。というのわかっているものの延長に基づく予言は中身があるものだが、未知のものに基づく予言は単に二重の意味での憶測でしかないからだ。

私たちが記録を作ったりその材料を吸収したりするステップはすべて、五感のどれかを經由して行われる  
キーボードに触れるときの触覚、話したり聞いたりするときの咽頭、読むときの視覚。だがこの経路をもっと直接確立することがいつの日か可能にならないだろうか？

目が何かを見たら、それに伴う情報はすべて視神経の経路における電気的な振動という手段で送信されることがわかっている。これはテレビの電線で生じている電気振動とまったく同じように対比できるものだ。テレビも画像を、それを見る光素子からそれが放送される無線送信機へと伝達するのだ。さらに、そのケーブルに適切な装置を持ってアプローチすれば、触れなくていいということもわかっている。そうした振動を電気誘導で拾い上げ、どんな場面が送信されているかをつきとめ再現できる。ちょうど電話のメッセージが盗聴できるようなものだ。

タイピストの腕の神経を流れるパルスは、彼女の指に目や耳に入った情報の翻訳版を伝え、その指が適切なキーを叩くようにする。こうした電流を途中で受け取ることはできないだろうか。その情報が脳に伝えられるもとの形態でもいいし、あるいはそれが手に進むときの驚異的に変形された形でもかまわない。

すでに骨伝導により私たちは音を導入している。耳の聞こえない人の神経チャンネルに信号を送り込んで、音が聞こえるようにしているのだ。電気信号を機械的な振動にまず置き換え、それを人間の身体機構がすぐに電気信号に戻すといういまの手間をかけずに、そうした信号を送り込めるようになるのではないだろうか？ 頭蓋骨にいくつか電極をつければ、いまでも脳波計はペンとインキで、脳自体の中で起こっている電気現象に多少関連した図を描き出せる。確かに、その記録はわけがわからず、脳の仕組みがとんでもない誤動作でも起こしていなければ何もわからない。だがそうしたものがどこまで行けるか、限界をいまの誰が示せようか？

外の世界では、音だろうと視覚だろうと、あらゆる種類の謀報が電気回路における変動する電流の形に還元されて、伝達できるようになっている。人間の身体の枠組み内でも、まったく同じプロセスが起こっている。一つの電気現象を別の電気現象に変えるとき、いつも間に機械的な動きに変換する必要があるのだろうか？ これは示唆的な発想だが、これを予測しようとすれば、現実性と即時の実現性を無視することになりかねない。

おそらく人が自分の怪しい過去をもっときちんとふりかえり、現在の問題をもっと完全かつ客観的に分析できれば、人間精神はもっと高まることだろう。人類が構築した文明はあまりに複雑で、その実験を論理的な到達点にまで推し進め、限られた記憶を過負荷にして途中で挫折しないようにするためには、記録を機械化する必要があるのだ。いまずぐに手元になくてよい多様な事柄を忘れてしまえるという特権を再獲得し、しかもそれが重要になれば再び見つけられるとある程度まで安心できるなら、その文明の道のりもずっと楽しいものとなる。

科学の応用は、人類に設備の整った家を与え、そこに健康に暮らすよう人々に教えてきた。残酷な兵器を持って大量の人々をお互いに戦えるようにしてきた。だが未だに、大いなる記録を真に活用して、人類としての体験の叡智の中で暮らせるようにはしてくれていない。そうした記録を自分にとって真によいもののために活用する前に、紛争の中で亡びてしまうかもしれない。しかし、科学を人間のニーズや欲望に応用するにあたり、そのプロセスをこの段階で終えてしまうのはきわめて残念に思えるし、またその結果について希望を失ってしまうのも残念至極に思えるのである。