

環境にやさしいメディアの選択 Selecting ecologically friendly presentation media

柴田 博仁*¹
Hirohito Shibata

大村 賢悟*¹
Kengo Omura

*¹ 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部
Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

This paper discusses presentation media from the environmental point of view. We present the comparison of the CO₂ emission of the paper with that of electronic media for reading tasks. We also present the results of our experiments conducted to examine the differences in reading performance with paper compared to electronic media. Based on these results, we conclude that paperless work is not necessarily environmental friendly and we need a framework to select appropriate media in each situation.

1. まえがき

紙の原料は木である。そして、木はグリーン、すなわちエコの象徴である。このことが紙のイメージを悪くしている。机の上に高く積まれた紙は、森林伐採の産物であることを連想させ、資源の無駄使いの印象を与える。しかし、2008年時点での古紙利用率は61.9%であり[日本製紙連合会 HP]、紙の原料の大半は紙であるともいえる。また、パルプ材の調達においても、植林された人工林からの調達、間伐材や製材残材などが活用されているのが実情である[日本製紙連合会 HP]。

また、環境への意識の高まりに加えて、リーマンショック以降の世界的な不況のなか、多くの組織でプリントやコピーにおける出力枚数を厳しく制限するレスペーパー化が実施されている。2009年8月にオフィスワーカー2050人を対象にわれわれが独自に実施した調査では、全体の59%の企業や役所において情報用紙の節減施策が施されている。その目的は、第1にコスト削減(44%)、第2に業務の効率化(22%)、第3に環境への配慮(18%)、第4にセキュリティ対策(15%)である。環境問題への対応のみが理由ではないにせよ、多くの組織にとって紙は排除すべき対象と見なされている。

一方で、Sellen & Harper [Sellen 2001] がさまざまな組織の観察にもとづいて指摘するように、電子機器の導入が進んでいる組織においてさえ、オフィスは紙であふれている。そして、猛烈なナレッジワーカーほど紙に依存した働き方をしている。

経営的観点から組織が紙を減らしたいと考える一方で、個人は強く紙を求めている。はたして、組織が考えるように、紙はオフィスにおいて排除すべき存在なのだろうか。それとも個人が考えるように、業務を進めるうえで紙はなくてはならないものなのか。本稿は、この問いに答えることを意図し、環境の側面から見たときの紙の位置づけを明らかにする。

2. CO₂ 排出量の観点から見た紙

最初に、日本の典型的なオフィスでの CO₂ 排出量の内訳として、伊藤ら [伊藤 2008] の分析を紹介する。伊藤らは事務・営業を主体業務とする従業員 50 人規模のオフィスを想定し、そこでの CO₂ 排出量の内訳を明らかにしている。このモデルによれば、

連絡先: 柴田 博仁, 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部, 220-8668 神奈川県横浜市西区みなとみらい 6-1, 045-755-8598, hirohito.shibata@fuji-xerox.co.jp

コピー、プリント、ファックスなどによる PPC 用紙への出力で 1 人 1 日あたり 21 枚消費するものとし、このときの資源としての紙の CO₂ 排出量はオフィス全体での CO₂ 排出量の 1.2% に相当すると算出している。PPC 用紙の出力に伴う複合機、プリンタ等の消費電力による CO₂ 排出量を加えても、オフィス全体での CO₂ 排出量の 2.7% である。これは、空調 (30.2%) の 11 分の 1、照明 (14.8%) の 5 分の 1 に満たない。紙の消費を減らすことで削減できる CO₂ 排出量は、オフィス全体での CO₂ 排出量のわずかな部分にすぎないと言える。

より具体的に紙の環境負荷を検討するため、文書を読む際に紙にプリントして読む場合とディスプレイで読む場合、さらには会議で情報共有をする際に紙で配布する場合とプロジェクタで投影する場合について、CO₂ 排出量を比較する。環境情報科学センターによる CO₂ 排出原単位表 (2007 年版) [環境情報科学センター 2007] によれば、PPC 用紙 (上級印刷用紙) 1kg あたりの CO₂ 排出量は 1kg-CO₂ である。これを PPC 用紙 1 枚あたりに換算すると 4~5g-CO₂ となる。以降では、PPC 用紙 1 枚あたり 5g の CO₂ 排出量に相当するものとして議論する。

文書を読むシーンにおいて、紙にプリントして読む場合とディスプレイで読む場合の CO₂ 排出量を比較する。PC とディスプレイの消費電力はメーカーや性能によって大きく異なるが、デスクトップ PC とディスプレイの組み合わせで 80W の電力を消費するものを想定する¹。この場合、紙 1 枚の CO₂ 排出量は、PC とディスプレイの消費電力 9.1 分間に相当することになる (電力の CO₂ 排出原単位として 0.41g-CO₂/Wh [環境情報科学センター 2007] を利用)。8 ページの電子文書を両面プリントする場合、4 枚の紙出力になり、PC とディスプレイの消費電力に換算すると 36.4 分間になる。8 ページの文書を読む際に 37 分以上の時間を費やすなら紙に出力して読むほうが環境負荷が小さく、これより少ないならディスプレイで読むほうが環境負荷が小さい。大まかに、論文や技術文書などのように読み込む必要のある文書を読む際には紙に出力したほうがよい。しかし、PC とディスプレイの電源を切らずに紙で読むとすれば、CO₂ 排出量は紙と電子機器の両者の和になる。また、読んでいる最中に辞書やインターネットでの検索を行うなどという状況を考えると、PC やディス

¹ 60w のデスクトップ PC と 20w の液晶ディスプレイの組み合わせを想定。2009 年 8 月の段階で、“価格.com”の売れ筋ランキングでトップ 10 の 17 インチディスプレイの消費電力の平均は 20w であった。

プレイの電源を切ることもできないため、電子的な閲覧のほうが望ましいといえる。

一般に、ノート PC はデスクトップ PC よりも消費電力が少ない。消費電力が 17W のノート PC¹の利用を想定すると、紙 1 枚の CO₂ 排出量は、ノート PC での文書表示 43.0 分間の電力消費に相当する。8 ページの文書を読むのに 3 時間弱 (正確には 172 分) 以上かかるのであれば紙で読むほうが CO₂ 排出量が少なく、それより少ないのであればノート PC で読むほうが CO₂ 排出量が少ないということになる。画面の大きさなどの問題を除外すれば、環境の観点からノート PC の環境負荷は小さいといえる。

次に、会議で情報共有をする際に紙で配布する場合とプロジェクタで投影する場合の CO₂ 排出量を比較する。17W のノート PC を用いて 275W のプロジェクタ²に 1 時間投影する状況を想定する。この場合、紙 1 枚の CO₂ 排出量はプロジェクタでの投影 2.5 分間に相当する。プロジェクタ 1 時間の利用は、紙 24 枚に相当し、1 時間の会議でそれより多く紙を配布するならプロジェクタを利用するほうが CO₂ 排出量が少なく、配布資料が 24 枚以下ならプロジェクタを利用するよりも紙で配布するほうが CO₂ 排出量が少ないことになる。配布資料の少ない 2~3 人程度の打合せであれば紙を用いる方が望ましい。この場合、話しながらメモを取ったりという紙の利点も活用できる。逆に大人数に対するプレゼンテーションではプロジェクタを用いるほうが、環境負荷の観点からは望ましいことになる。

紙は出力時のみ CO₂ を排出するため、トータルでの CO₂ 排出量は作業時間には依存しない。これに対して、電子機器では表示そのものに電力が必要なため CO₂ 排出量は作業時間に比例する。よって、概して長時間の閲覧の場合には紙のほうが CO₂ 排出量が少なく、短時間の場合には電子メディアでの表示のほうが CO₂ 排出量が少なくなる傾向にある。

3. 作業効率の観点から見た紙

前節では、1 人で文書を読む、複数人で会議を行うという 2 つのモデルケースにおいて紙と電子機器の CO₂ 排出量を比較した。この比較では、紙と電子機器のどちらを用いても作業効率は同じという前提があった。しかし、実際のところ、利用するツールが異なれば作業効率も異なることが予想される。作業効率が悪くなると労働時間が増え、空調、照明といったオフィスインフラも長時間稼動することになり、CO₂ 排出量が増大する。空調、照明、PC 等の電力消費がオフィスにおける CO₂ 排出量の 68.7% を占めると伊藤ら [伊藤 2008] の分析によれば、労働時間やオフィス使用面積を減らすことこそが、CO₂ 排出量削減の最重要課題であるといえる。

コンピュータがオフィスや教育現場に導入され始めた 80 年代から 90 年代前半にかけて、読みにおける紙とディスプレイの比較研究が数多く行われてきた [Dillon 1992]。メディアの表示サイズ、解像度、色、文書のフォーマットなど、さまざまなメディアの表示特性がパラメータとして制御され、読みのスピードや校正読みでのエラー検出率などのパフォーマンス指標が測定されてきた。概して、紙での読みはディスプレイでの読みよりも高速であるという結果が導かれてきた [Dillon 1992]。さらに、その理由として、上記のようなメディアの表示特性に関する個々の要因が読みに与える影響は大きなものではなく、これら小さな影

響が積み重なった結果として読みのパフォーマンスに違いが生じることが指摘されている [Gould 1987, Dillon 1992]。

ここで、従来のメディア比較研究について、さらに追求すべきこととして 2 点を指摘する。第 1 の指摘は、当時の実験環境からの技術進歩に関するものである。上で述べた実験のほとんどは、ハードウェア、ソフトウェアともに未成熟な 80 年代から 90 年代前半にかけて行われている。80 年代後半に Gould らが行った実験でも高性能ディスプレイ (解像度が 1024×1024, リフレッシュレートが 60Hz) を利用すれば、紙とディスプレイとで、校正のスピードやエラー検出率は同程度になることが報告されている [Gould 1987b]。現在の液晶ディスプレイは、Gould らが利用したものよりも高性能であり、紙の表示品質に近づいている。もはや紙とディスプレイとで読みのパフォーマンスに違いがないことも予想される。しかし、認知負荷が非常に高い読みにおいては、紙とディスプレイの表示品質のわずかな違いが読みのパフォーマンスに影響を与えるのではないかと疑問がある。従来の実験で取り上げられてきた読みの課題は、誤字脱字を見つける表層的なエラー検出を求める校正読みであった。端的に言えば、誤字脱字の検出に文章の前後関係の把握は必要ない。文章の深い理解を求める課題において、紙とディスプレイの表示特性の違いが読みにどのような影響を与えるのかは興味深い。

そこで、われわれは文章の前後関係を把握しないと検出できない意味内容の矛盾点 (たとえば、「おじさん」であるべきところが「おばさん」になっている) の指摘を求める実験を行った [大村 2010]。結果として、紙での校正はディスプレイでの校正よりも 11.9% 速く、エラー検出率に違いは見られなかった。これにより、現在の最新のディスプレイを利用しても、文章の前後関係の把握が求められる認知負荷の高い読みにおいては、メディアの表示品質のわずかな違いが読みのパフォーマンスに影響を与えることがわかる。

第 2 の指摘は、実験での分析の観点に関するものである。従来の実験で調べられてきた要因は、メディアの表示特性に関するものが中心であった。そして、それ以外の要因が混在しないよう、ページをめくったり、文書を移動したりという操作を伴わない (多くの場合は単一ページの単一文書を対象にした) シーケンシャルな読みが課題として取り上げられてきた。しかし、業務での現実の読みでは、文書が最初から最後まで読まれることは稀であり、複数のページを行き来したり、複数の文書を並べての読みが多いことが指摘されている [Sellen 2001, O'Hara 2002]。読んでいる最中のこのような行為において、メディアの操作性が読みのパフォーマンスにどのような影響を与えるのかを調べる必要がある。

そこで、われわれはページめくりのしやすさが読みに与える影響を調べることを目的とし、複数ページの注釈付きテキストを朗読する課題を用いて実験を行った [柴田 2010]。紙条件では両手を用いてページめくりをしてもらい、ディスプレイ条件ではマウスを用いてスクロールまたはページ切り替えボタンによりページめくりをもらった。結果として、紙での読みはディスプレイに比べて 6.8% 速かった。理解度の代替指標として測定した重要語の再認テストの成績には違いはなく、紙は理解度を落とすことなく速く読めるメディアであることがわかる。

また、文書の移動や配置のしやすさが読みに与える影響を調べることを目的とし、複数の文書を相互参照しながら校正を行う課題を用いて実験を行った。グラフが記載された 3 つの文書とこれらをもとに作成したテキスト文書を提示し、4 つの文書を相互に参照しながらグラフから読み取れる情報とテキスト文書での主張内容の矛盾点 (たとえば、グラフでは使用量が 3 万トンのはずだが、テキストでは「使用量は 2 万トン」と記述されている)

¹ 2009 年 8 月の段階で、「価格.com」の売れ筋ランキングでトップ 10 のノート PC の消費電力の平均として算出。

² 2009 年 8 月の段階で、「価格.com」の売れ筋ランキングでトップ 10 のプロジェクタの消費電力の平均として算出。

を指摘してもらった。結果として、紙はディスプレイよりも 25.5% 速く校正を行うことができた。さらに、紙はディスプレイよりも 10.7% エラー検出率が高かった。作業効率だけでなく作業の達成度でもディスプレイよりも紙のほうが優れていることが示された。

4. むすび

2 節で表示メディアとしての紙の CO₂ 排出量を電子メディアと比較した。どちらのメディアでの CO₂ 排出量が少ないかは、状況に依存する。資源としての紙の CO₂ 排出量はプリント出力時の 1 回きりのものであるため、作業時間に依存しない。これに対して電子機器では、作業中に継続して電力が消費されるため、CO₂ 排出量は作業時間に比例して増加する。紙の出力枚数と比較対象の電子機器の消費電力に依存して臨界点は変動するが、作業が長時間にわたる場合には概して紙の CO₂ 排出量のほうが少なくなる傾向がある。

3 節では、紙と電子メディアの読みの作業効率を比較した。次の 3 種類の読みにおいて、紙は電子メディアよりも 6~25% 効率的に作業を行えることを示した。業務の効率が悪化すると、労働時間が増え、オフィスでの CO₂ 排出量の増加につながる。そこで、次のような作業においては、環境の側面からも紙を使うことを検討する必要がある。

- 文書を熟読しながら深く理解する読み
- 複数のページを頻繁に行き来する読み
- 複数文書を参照したり比較するため、文書の移動や配置が頻繁に生じる読み

このような点をふまえると、ペーパーレス化あるいはレスペーパー化が必ずしも環境に配慮した働き方につながるとは限らないことがわかる。特に、上述した点を考慮することなく「何が何でも紙をなくす」というスタンスでの紙の節減は、かえって環境にやさしくない働き方になったり、業務の生産性の低下をもたらしかねない。そのような失敗事例は Sellen & Harper の調査 [Sellen 2001] で多数報告されている。どこで紙を使い、どこで電子メディアを使うべきなのかを明らかにし、必要最小限の紙を効果的に利用するアプローチを検討する必要がある。そのためには、状況に応じて適切なメディアを選択するためのガイドラインが必要である。そして、ガイドラインにもとづいてメディアを使い分けを支援する技術の出現が期待される。

現在、われわれは紙を用いる場合と電子メディアを用いる場合とで作業のパフォーマンスがどのように違うのかを明らかにするための一連の実験を行っている最中である。今後、さまざまな条件で実験を継続し、網羅性と信頼性を高め、メディア選択のガイドラインへと発展させる予定である。

参考文献

- [Dillon 1992] Dillon, A.: Reading from paper versus screens: A critical review of the empirical literature. *Ergonomics*, Vol.35, No.10, pp.1297-1326, 1992.
- [Gould 1987] Gould, J.D., Alfar, L., Barnes, V., Finn, R., Grischkowsk, N. and Minuto, A.: Reading is slower from CRT displays than from paper: Attempts to isolate a single-variable explanation. *Human Factors*, Vol.29, No.3, pp.269-299, 1987.
- [Gould 1987b] Gould, J.D., Alfar, L., Barnes, V., Finn, R., Haupt, B. and Minuto, A.: Reading from CRT displays can be as fast as reading from paper. *Human Factors*, Vol.29, No.5, pp.497-517, 1987.
- [伊藤 2008] 伊藤 裕二, 川本 真司, 青柳 雅明: 日本のオフィスの平均的 CO₂ 排出量試算と削減の可能性検討. エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, 2008.
- [環境情報科学センター 2007] 環境情報科学センター: CO₂ 排出原単位表 (2007 年版), 2007.
- [日本製紙連合会 HP] 日本製紙連合会: <http://www.jpa.gr.jp/>.
- [O'Hara 2002] O'Hara, K.P., Taylor, A., Newman, W., and Sellen, A.J.: Understanding the materiality of writing from multiple sources. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.56, No.4, pp.269-305, 2002.
- [大村 2010] 大村 賢悟, 柴田 博仁: 高解像度ディスプレイでの校正読みが紙より遅くなるとき. 情報処理学会 創立 50 周年記念全国大会, 2010.
- [Sellen 2001] Sellen, A.J. and Harper, R.H.: *The myth of the paperless office*. The MIT Press, 2001. (柴田 博仁, 大村 賢悟 (訳): ペーパーレスオフィスの神話-なぜオフィスは紙であふれているのか?-. 創成社, 2007)
- [柴田 2010] 柴田 博仁, 大村 賢悟: 注釈付き文書の朗読における紙と電子メディアの比較. 情報処理学会 創立 50 周年記念全国大会, 2010.