

図的発想支援システム D-ABDUCTOR の操作性の評価

三 末 和 男[†] 杉 山 公 造[†]

図的発想支援システム D-ABDUCTOR の操作性を客観的かつ定量的に評価するために開発した新しい方法、およびそれによって行った評価実験について述べる。D-ABDUCTOR が対象とする KJ 法的な作業に含まれる「操作」に対する効率を客観的かつ定量的に評価することを目指して、まず評価実験のための厳密な作業を設計した。その作業は、(1) 時や人によって作業内容が変わらない、(2) 実際的な一連の作業全体を基にしている、(3) 作業を中断なく連続的に進められる、(4) 必要な思考の量や質が可変である、といった特徴を持つ。その作業を基に D-ABDUCTOR で使える機能をいろいろと制限した 5 つのモード (計算機を使わない手作業も含む) において実験を行った。被験者 5 名、のべ 245 回の作業時間の分析によって次のような結果が得られた: (i) 手作業に比べると、D-ABDUCTOR (基本的な編集機能だけ使用) を使うと約 1/3 の時間で、さらに自動レイアウト機能を使うと、約 1/6 の時間で作業が行えた。(ii) 使える機能が多いほど作業者ごとの作業時間のばらつきが減少し、手作業における作業時間との相関も減少する傾向にあった。(iii) 他のシステムと比較すると D-ABDUCTOR での作業効率がかなり良いと推測される。

Evaluation of a Thinking Support System D-ABDUCTOR from an Operational Point of View

KAZUO MISUE[†] and KOZO SUGIYAMA[†]

A thinking support system D-ABDUCTOR is evaluated from an operational point of view — that is, its efficiency for “operations” included by thinking processes such as the KJ method is appraised. A novel, well-designed and rigorous method, called “LCR method” is developed to design tasks for evaluation experiments of D-ABDUCTOR. A task described by LCR method has the following features: (1) depending on neither who executes nor when executed, (2) based on a whole thinking process, (3) executable without interruption, and (4) its “information level” is controllable. In the experiment, 245 tasks in total were executed by five subjects in five different modes (including one special mode, in which computer is not available) of D-ABDUCTOR. Results of the experiment show the followings: (i) a task could be executed three times faster with D-ABDUCTOR (with only basic editing facility) and six times faster with D-ABDUCTOR (with automatic layout facility) than without computers, (ii) the more facilities available, the less task time of subjects is vary and correlative to tasks without computers, (iii) D-ABDUCTOR is guessed to be considerably efficient as comparison with other systems.

1. はじめに

近年、発想支援あるいは思考支援に関する研究が盛んになり、思考支援システムと呼ばれるソフトウェアもかなり開発されてきている¹⁾。その中には発想法として広く知られている KJ 法²⁾を支援対象にしたシステムも少なくない³⁾。我々は KJ 法を図的な思考展開技法とみなし、その作業過程での図の扱い方を参考にして、図を用いた思考作業を支援する対話型システム D-ABDUCTOR を開発している^{4)~6)} (特に本稿で

述べている機能や操作に関しては文献 6) を参照されたい)。D-ABDUCTOR が、他の KJ 法支援システムと異なる点は、図の自動レイアウト機能を中核とした高度な図の編集機能を充実させていることである。言い換えると、D-ABDUCTOR は次のような機能をシステムとして統合したものである。

- 図の直接操作による編集機能
- 図の自動レイアウト機能 (中核機能)
- インクリメンタル自動レイアウト機能 (編集操作を自動レイアウトのトリガーとする機能)
- アニメーション機能 (図の変化を動画で見せる機能)
- 図ドレッシング機能 (図の見かけを変える機能)

[†] 株式会社富士通研究所情報社会科学研究所
Institute for Social Information Science, FUJITSU
LABORATORIES LTD.

D-ABDUCTORに限らず、思考支援システムに期待される効果としてまず第一に考えられるのは思考作業のプロダクト（つまり、アイデア）の量の増加や質の向上であろう。しかしながら、その効果の定量的な評価は、現状ではアイデアというものの測度が明確になっていないため、たいへん困難な問題である。そこで我々は、思考支援システムの評価という問題に対して次のような段階的アプローチを考えた。

- (1) 要素技術レベル：システムを構成する各機能ごとに、アルゴリズムの理論的な速さやプログラムの実行速度など、技術的観点から評価を行う。
- (2) 操作レベル：思考作業（たとえばKJ法）に含まれる、カードをさがす、集める、並べる、といった「操作」をどう支援できるかを評価する。
- (3) 思考レベル：思考作業に含まれる操作だけでなく「思考」をもどう支援できるかを評価する。

これまで行われた、D-ABDUCTORの評価としては、要素技術レベルにおいて、中核機能である自動レイアウト機能の基礎をなすアルゴリズムの各処理フェーズにおける計算量⁷⁾や、実現したプログラムの実際の処理時間^{8),9)}が示されている。また、定量的ではないが、ユーザに各機能の使用感や満足度を問うアンケートを実施した結果、思考作業に関して総合的には5段階の4という良い評価が得られている⁶⁾。

本稿では、いままでなされていなかった操作レベルにおける定量的な評価に焦点をあてる。D-ABDUCTORの自動レイアウト機能は人間よりはるかに速く図のレイアウトを求めることができるが、そのような機能がシステムに統合されている状態で、実際の作業に含まれる操作に対してどの程度効果的かは未知であった。

我々は、操作レベルの時間的な観点からの定量的評価を行うために、まず評価実験のための厳密な作業を設計した。その作業は、(1)時や人によって作業内容が変わらない、(2)実際的な一連の作業全体を基にしている、(3)作業を中断なく連続的に進められる、(4)必要な思考の量や質が可変である、といった特徴を持つ。さらに特徴(4)によって、思考をあまり必要としない単純な作業と思考をより多く必要とする作業との時間差を計測することで、評価法を操作レベルから思考レベルへ発展させることも期待できる。我々は、このように設計された作業を基にD-ABDUCTORで使える機能をいろいろと制限した5つのモード（計算機を使わない手作業も含む）において実験を行い作業時間を計測、比較した。

以下、第2章では、まず我々の考案した評価法について説明する。第3章ではD-ABDUCTORに関して

行った評価実験の方法について説明し、第4章でその結果を示す。第5章で評価実験に対する考察を述べ、第6章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 評価法

本章では、KJ法支援システムに関してこれまで行われた評価法を検討するとともに、我々の開発した評価法について説明する。

2.1 これまでの評価法

KJ法支援を目的とした代表的なシステムとしては、KJエディタ¹⁰⁾、郡元¹¹⁾、ISOP¹²⁾などがあり、それぞれ時間的な観点から評価がなされている。小山らは、カードを広げる、カードに文字を書き込むといった、それぞれ小さな単位の基本的な作業においてKJエディタを使う場合と使わない場合とで作業時間を比較している¹⁰⁾。宗森らは、大勢の学生に、郡元を使う場合と使わない場合とで実際のKJ法を行わせて比較をしている¹¹⁾。また、KJエディタとISOPに関して山口らは、完成図を参照しながらそれを基にKJ法の手順をそれぞれのシステムを使う場合と使わない場合とで比較をしている¹³⁾。

それぞれ実験法は異なるが、いずれも同一の被験者が比較すべき条件（つまりシステムを使うか使わないか）を変えて作業する方法を基本にしている。さらに、それぞれにおいて、作業を同一条件にするために、テーマに慣れないようにテーマを変える（宗森ら）、作業を操作的な小単位にする（小山ら）、完成図を参照することで作業から考える部分を除く（山口ら）、といった工夫がなされている。しかしながら、テーマを変えるという方法は、作業ごとに難易度が異なるという問題点があり、作業単位を小さくする方法や、完成図を参照する方法にも、一連の作業全体の評価ができない、作業が中断される、といった問題点がある。

2.2 評価法開発の考え方

我々は評価実験のためにより厳密な作業を設計した。設計にあたっては次に説明する、再現性、全体性、連続性、拡張性を考慮に入れたが、その作業は上で述べた問題点を解決するものでもある。

再現性： いつだれが行っても作業内容が同じであること。KJ法では、同じカードの集合から開始しても、人あるいは時によって異なるグループ編成や関係線付けを行う可能性がある。作業を同一条件に揃えるためには、このようなばらつきをなくす必要がある。

全体性： 一連の思考作業の全体であること。KJ法のような実際的な一連の作業への有効性を判断す

るためには、思考作業を構成する作業断片による評価でなく作業の全体を対象にする必要がある。

連続性： 作業（被験者）が作業を連続的に進められること。実際的な一連の作業への有効性を判断するためには、実験のための指示を見聞きするような動作に作業が中断されることなく、作業を連続的なものにしておくことも重要である。

拡張性： 操作レベルから思考レベルの評価に向けて拡張できること。操作レベルの評価には深い思考を必要としない作業が適している。操作レベルの評価を基礎に置き、作業に必要な思考の量を徐々に増やした実験が行えれば、思考レベルの評価に向けて段階的なアプローチがとれる。

2.3 LCR 法

LCR 法 (Labeled Construction-Rule method; ラベル化作図規則法) は、評価実験に用いる作業を記述するための方法であり、その作業の目的は KJ 法で用いられるようなノード間の包含関係と隣接関係が表される図を作成することである。作業の例を図 1 に示す：(a) はあらかじめ被験者に与えられる図、(b) は被験者が作成すべき図である。

LCR 法では作業を記述するために、ラベル文法（ノードに記されるラベルの文法）、グループ規則（グループの作成に関する規則）、関係線規則（関係線の引き方に関する規則）、ラベル規則（グループのラベル付けに関する規則）、を用いる。

ここで最も基礎となる「単純 LCR 法」を例に LCR 法を具体的に説明する。単純 LCR 法のラベル文法と 3 つの規則は次のように与えられる。

ラベル文法： 各ラベルは、1 行以上からなり、1 つの行は平仮名 1 文字の後ろに角括弧で括られた数字とアルファベットが続いたものか、または # の後ろにアルファベットが続いたものからなる。アルファベットは省略できる。

ラベル文法を形式的に記述すると次のような生成規則で表される。出発記号は *label* であり、CR は改行、KANA は平仮名 1 文字、ALPH はアルファベット 1 文字、DIGIT は数字 1 文字、 ϵ は空文字列を表す終端記号である。

$$\begin{aligned} \text{label} &::= \text{line} \mid \text{label CR line} \\ \text{line} &::= \text{node-label} [\text{member}] \\ &\quad \text{edge-label} \\ &\quad \mid \# \text{edge-label} \\ \text{node-label} &::= \text{KANA} \\ \text{edge-label} &::= \epsilon \mid \text{edge-label ALPH} \\ \text{member} &::= \text{DIGIT} \mid \text{member DIGIT} \end{aligned}$$

グループ規則： ラベルの 1 行目が同じ平仮名で始まるノードを括弧内の数だけ集めて同じグループとする。ラベルが # で始まるノードはどのグループにも含まれない。

関係線規則： ラベルの 1 行目が同じアルファベット（たとえば、A と a）を持つノード間に大文字（A）を持つノードから小文字（a）を持つノードの向きに関係線を引く。

ラベル規則： グループに含まれるノードのラベルの 2 行目以降をグループのラベルとする。

図 1 に示した作業の例は、単純 LCR 法で記述されたものである。図 1(a) ではラベルの先頭行しか表示されていないが、実際は図 2 に示すようなラベルを持っている。

一般的に、LCR 法の特徴は下のようによまとめることができる。

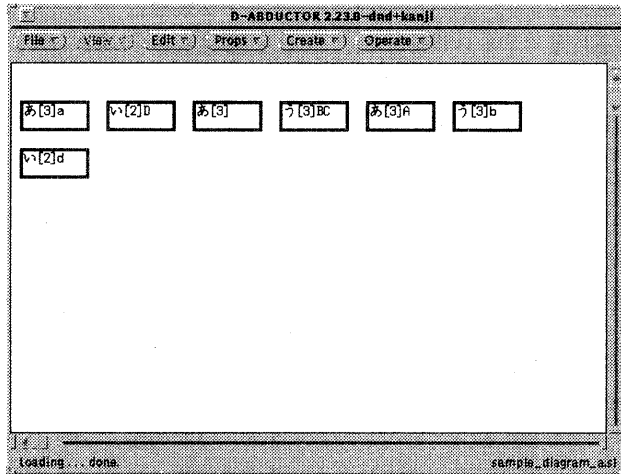
- 作図のための規則を曖昧さなく与えることができる。規則が明確になっていることで、いつだれがどのような手順をとっても完成図は一定の範囲で同じになる（再現性）。
- あらかじめ用意されるラベル付きノードに規則を適用するだけで図を完成させることができる。これにより作業対象（図）以外のものを参照することなく（連続性）、一連の作業全体を通して行うことができる（全体性）。
- ラベル文法と規則を変化させることで、ラベルのパターンマッチングだけで行える作業から、深く考えなければ行えない作業まで、多様なバリエーションを作ることができる。また考える対象を、ラベルの意味のような言語的なものだけでなく、図の構造など図形的なものへも拡張できる（拡張性）。
- 図を作成するための手順を規定しないので、手順の比較実験にも利用できる。たとえば、KJ 法に忠実な手順と、それ以外の手順との効率の比較も可能である。

2.4 LCR 法のバリエーション

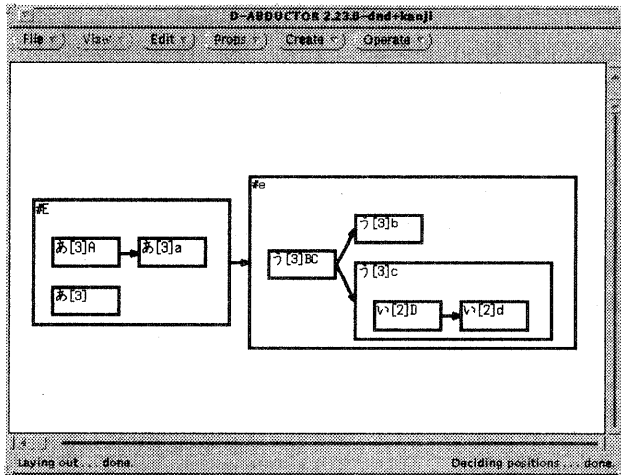
LCR 法は様々なバリエーションを作ることができるため、評価を操作レベルから思考レベルへと進めるために有効であると考えられる。ここでは LCR 法のバリエーションの例とそれを利用することで期待できる評価について述べる。

単純 LCR 法

先に具体例としてあげた単純 LCR 法の特徴を KJ 法と対比させると、作図の過程において、グループを作る、ラベルを付ける、関係線を引く、といった KJ 法では深く考える必要があり、作業者ごとにやり方や作



(a) あらかじめ被験者に与えられる図
(a) an initial diagram



(b) 被験者が作成すべき図
(b) a final diagram

図1 LCR法で記述される作業の例

Fig. 1 An example of a task described by LCR method.

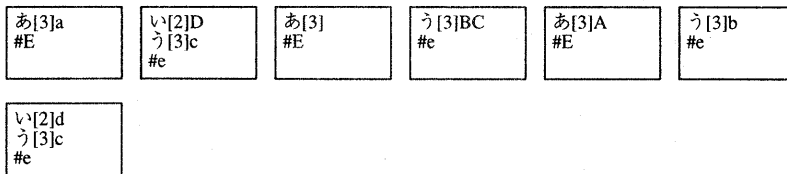


図2 ノードのラベルの例 — 図1(a)の各ラベルの全体を表示したもの

Fig. 2 An example of node labels — whole labels of all nodes shown in Fig. 1.

業時間のばらつきが生じやすい部分が、平仮名とアルファベットのボタンマッチングや文字列の複写といった、形式的で単純な作業に置き換えられている。つまり、深く考える部分がなく、作業の大部分がカードの

移動や線の描画といった操作であるため、操作レベルの評価に適している。

第3章以降で説明する実験では、操作レベルの定量的な評価を目的とし、この単純LCR法を用いた。

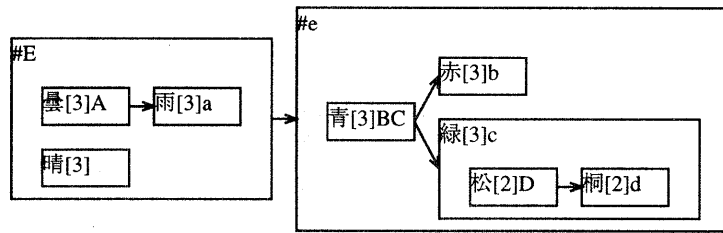


図3 漢字 LCR 法による作業の完成図の例

Fig. 3 A final diagram of a task described by Kanji-LCR method.

漢字 LCR 法

単純 LCR 法ではグループを仮名で表したが、漢字 LCR 法ではグループを漢字で表す。漢字は仮名に比べて形の複雑なものが多く、1文字でも意味を持つことが特徴と言える。そのような特徴を利用して、グループの規則を修正することができる。たとえば、図3の例のように共通する概念（動物、植物など）を持つ漢字をグループにするという規則も可能である。この作業は漢字の意味を考えなければ形を見ただけでは行えない。このように漢字を用いることで、作業を単純なパターンマッチングで行えるものから背景知識と思考を必要とする作業へと拡張できる。

同類のバリエーションとして、漢字の代わりに、単語や熟語さらには文章を利用することも考えられる。その場合、日本語でなく外国語も利用可能である。

構造的 LCR 法

KJ 法的な作業では、図のある部分構造を参照する、全体構造を把握するなど図の構造を考慮することも重要である。ところが、単純 LCR 法は3つの規則がすべてラベル情報だけしか利用していないため、図の構造よりもむしろラベル情報に基づくノード間の二項関係（包含関係と隣接関係）を考慮するだけで作業を進めることができる。それに対して、構造的 LCR 法は規則が図の構造をも利用する。たとえば、単純 LCR 法の関係線規則に下の規則 * が追加されたものが構造的 LCR 法の一例である。

* 同形の構造を持つグループは同じ配置とする。

この場合、作業を行う上で、図の構造に着目する、同じ構造の部分を見比べることなどが必要になる。つまり、構造的 LCR 法を用いることで図の構造を考慮する必要のある作業を対象とした評価が可能になる。

漢字 LCR 法や構造的 LCR 法で記述された作業は、漢字の意味を考えるとか図の構造を考慮するといった思考を余計に必要とするはずである。単純 LCR 法での実験結果を基準にして、そのような思考がどの程度

余分な時間を必要とするか、そしてその余分な時間が思考支援システムを使うか使わないかによって変化するかどうかを調べることが思考レベルの評価につながると期待できる。

ただし、LCR 法のこのような拡張は、思考レベルの評価に少し踏み込めるとしても、思考レベル全体の評価に対応できるものではないことも指摘しておかなければならない。思考レベルの本質に対する評価は最も重要であるが大変難しい問題であり、それに迫るためにはさらに新たな評価法の研究を進めていかねばならない。

3. 実験法

開発した評価法を用いて D-ABDUCTOR に関して行った実験法について説明する。

3.1 作業

単純 LCR 法によって記述された作業を KJ 法に準じた手順で行う。つまり、まずグループ編成 (BU) を行う：グループを作りそれらをコラプスする（束ねて1枚のカードとして扱う）ことを繰り返す。グループをすべて作り終えたなら、次に、図解化 (TD) を行う：関係線を引ながらグループをエキスパンドする（束ねたカードを解く）。グループのラベル付けは、D-ABDUCTOR を使って作業する場合には、自動的にラベル規則に従って行われる。

3.2 モード

D-ABDUCTOR の持つ基本的な直接操作による編集機能と自動レイアウト機能を中心とする特徴的な機能について評価するため、利用できる D-ABDUCTOR の機能を表1に示すように制限した5つのモードで作業を行う。なお、モード 1-3a の計算機環境としては、SPARCstation IPX（メインメモリ 16 Mbyte）を X ウィンドウシステムのターミナルとして利用し D-ABDUCTOR はリモートの SPARCstation 2（メインメモリ 64 Mbyte）で動かした。

3.3 図のクラス

作業対象となる図はその規模によって8クラス用

表1 実験で比較される5つのモード
Table 1 Five modes to be compared in the experiment.

モード0	計算機を使用しないで紙の上でカードを利用して作業する。
モード1	D-ABDUCTORを利用する。自動レイアウト機能は利用できない。
モード2	モード1に加えて、自動レイアウト機能が利用できる。
モード3	モード2に加えて、インクリメンタル自動レイアウト機能が利用できる。
モード3a	モード3に加えて、アニメーション機能が使われる。

表2 各クラスの図の要素数
Table 2 Size of diagrams in each class.

クラス	ノード	リーフ ^a	グループ ^b	関係線
1	21	16	5	13
3	25	18	7	13
5	32	24	8	19

^a 別のノードを包含しないノード、LCR法で記述された作業ではあらかじめ用意される。

^b 別のノードを包含するノード、作業過程で作成される。

意し、時間の都合でクラス1, 3, 5だけを利用した。各クラスの図の要素数(ノード数および関係線数)は表2に示すとおりである。実験では被験者が図に慣れてしまうのを防ぐために、各クラスにつき5つの図を用意し作業ごとにランダムに選んで用いた。

3.4 ユニット

実験は同一クラスの図に対して、次の8回の作業を1ユニットとして行う。

モード3a → 3 → 2 → 1 → 1 → 2 → 3 → 3a

つまり作業をモード3a → 3 → 2 → 1の向きとその逆のモード1 → 2 → 3 → 3aの2通りの向きで交互に繰り返す。これは、作業者が習熟することで徐々に作業が速くなる(一方向だけを繰り返すと、最初のモードよりも最後のモードの方が習熟が進んだ状態でのデータが得られる)ことを想定したものである。この習熟による影響を取り除くために2通りの向きを繰り返し、作業時間を平均することにした。

3.5 実験プログラム

各作業者に対して、表3のようなプログラムで実験を行った(ただし、プログラムのAMとPMは厳密に正午で分けてはいない)。実験は1人につき3日行い、3日を最大8日に収めた。このプログラムに先だって、実験の目的や進め方に関する知識をそろえるために、A4サイズ7ページの実験マニュアルを被験者に配布しておいた。

3.6 被験者

被験者は計5名。全員男性で、日常的に何らかのウィンドウ・システムを使って仕事をしていて、キーボードやマウスの操作には慣れている。ただし、D-ABDUCTORに関する経験度には変化を持たせてあり、開発者1名(KM:32歳;本実験の設計者でもあ

表3 実験のプログラム
Table 3 Program of the experiment.

日	時	クラス	作業
第1日	AM	—	オリエンテーション
		0, 2	作業のデモを見る
	0	前半1/2ユニット(練習)	
	1	1ユニット	
PM	1	1ユニット	
	3	1ユニット	
第2日	AM	3	1ユニット
	PM	3	モード0(手作業)
3		1ユニット	
第3日	AM	5	1ユニット
	PM	5	1ユニット

る)、日常的にD-ABDUCTORを使っている熟練者1名(KN:27歳)、使用経験者2名(KS:48歳, TK:26歳)、使用未経験者1名(TS:27歳)という構成である。

3.7 データの収集と解析の仕方

D-ABDUCTORを利用した作業(モード1, 2, 3, 3a)ではデータの収集はすべてD-ABDUCTORの作業履歴保存機能を利用した。生成された履歴から作業時間を自動抽出し、さらに表形式に出力するいくつかのプログラムにより、第4章で示すデータを自動的に得た。ただし、モード0については作業の様子を記録したビデオの時間情報を利用した。

4. 実験結果

作業開始から図の完成までに要した時間を作業時間とする。ただし、モード0の場合には条件を同一にするために筆記時間を差し引いたものを作業時間とする。また、手作業(モード0)での作業時間を1.0とした時間比を作業効率とする。

モード別の作業時間の平均を表4に示す。表中、c*は全クラスの平均、c1, c3, c5はそれぞれクラス1, 3, 5での平均である。c1/16, c3/18, c5/24は各クラスにおける平均作業時間をリーフ数(それぞれ16, 18, 24)で割ったもの、つまり1リーフあたりの平均作業時間である。BUおよびTDは、作業を前半(グループ編成)と後半(図解化)に分けてそれぞれに要した時間を平均したものである。AMおよびPMは1日の前半と後半に行われた作業を分けて作業時間を平

表4 作業時間のモード別平均(秒)
Table 4 Mean values of task time (sec).

	モード 0	モード 1	モード 2	モード 3	モード 3a
c*	—	468.30	218.60	198.59	206.88
c1	—	428.45	187.92	170.82	184.42
c3	1327.60	447.14	199.40	180.64	181.99
c5	—	529.32	268.49	244.30	254.23
c1/16	—	26.78	11.75	10.68	11.53
c3/18	73.76	24.84	11.08	10.04	10.11
c5/24	—	22.01	11.19	10.18	10.59
c3(BU)	245.80	159.62	101.67	99.16	101.94
c3(TD)	1081.80	287.51	97.72	81.48	80.04
c*(AM)	—	486.64	223.68	200.51	214.13
c*(PM)	—	449.96	213.52	196.67	199.63
c*(FH)	—	472.81	221.30	200.40	225.59
c*(SH)	—	463.79	215.90	196.77	188.16

注) c* : クラス 1,3,5 の平均
BU : グループ編成段階
AM : 1日分の作業の前半
FH : 1ユニット前半 (3a → 1)
cn : クラス n の平均
TD : 図解化段階
PM : 1日分の作業の後半
SH : 1ユニット後半 (1 → 3a)

均したものであり、FH および SH は、1 ユニットの前半と後半に行われた作業を分けて作業時間を平均したものである。

4.1 モード間の比較

表4においてモード別の作業時間を比較する。クラス3において(モード0の作業はクラス3だけで行ったためクラス3において比較する)、モード0の平均1327.60秒に対してモード1は平均447.14秒である。つまりD-ABDUCTORを使うと、使わない場合の0.337(約1/3)倍の時間で作業ができたことになる。また全クラスにおいて、モード1の平均468.30秒に対してモード2は平均218.60秒である。つまり、自動レイアウト機能を使うと、使わない場合の0.467(約1/2)倍の時間で作業ができたことになる。

以上から、D-ABDUCTORで自動レイアウト機能を使うと、手作業の場合の約1/6倍(モード3では0.136倍)の時間で作業ができたことになる。それに対して、モード2, 3, 3a間には顕著な差は認められない。

4.2 クラス間の比較

表4においてクラス別の作業時間(c1, c3, c5の行)を比較すると、モード3aを例外として、どのモードにおいても規模が大きくなるほど作業時間が増加している。この作業時間をリーフ(あらかじめ与えられるノード)数で割って1リーフあたりについて換算した時間がc1/16, c3/18, c5/24の各行に示される。1リーフあたりに要する作業時間は同一モードにおいてほぼ一定といえる。ただし、今回の実験では、クラス1, 3, 5という順で実験を進めたため習熟の影響を受

けている可能性があることから厳密な結論は下せない。

4.3 作業者間の比較

表5はモード別に、作業者(被験者)ごとの平均作業時間と作業効率、作業時間の最大最小の比、各モードにおける作業時間の標準偏差およびモード0の作業時間との相関係数を示している。表中の白丸(o)は各モードにおける最小値を、黒丸(●)は最大値を表している。

作業者によって作業時間に関差がある。その幅(最大/最小)は2.63倍から3.61倍で、平均3.01倍であり、そのばらつき方を標準偏差で見ると、モード0, 1, 2, 3の順で減少している。ただし、モード3aはモード3より少し大きい。

作業は開発者(KM)と熟練者(KN)が圧倒的に速い。しかし、作業効率で比較すると、作業時間とは最高、最低の作業者が同じではない。特にモード2, 3, 3aでは未経験者であるTSが最高効率であるのが特徴的である。D-ABDUCTORの効果は初心者でもすぐに得られることを示唆しているといえよう。

手作業(モード0)の速さと、D-ABDUCTORを利用した際の速さにはモード0との相関係数が示すように多少なりとも相関がある。ただし、モード1, 2, 3, 3aと利用できる機能が増えるにつれて相関係数は減少している。つまり機能が増えるほど手作業とは違ったスタイルの作業になっていると考えられる。

表4(c3の行)ではモード0, 1, 2, 3と順に速くなっているものの、モード3aだけはモード3より遅くなっている。これについて作業者ごとに細かく見ると、モード3よりモード3aが遅いのは5名中2名

表5 作業者ごとの作業時間と作業効率の比較

Table 5 Comparison of task time and efficiency of every subject.

作業時間 (秒)					
	モード 0	モード 1	モード 2	モード 3	モード 3a
KM	949.00	◦219.18	◦107.63	◦102.27	◦96.30
KN	◦814.00	323.24	122.48	122.36	140.19
KS	1181.00	431.87	270.79	253.45	246.33
TK	●2143.00	●790.33	●332.51	●275.69	●290.16
TS	1551.00	471.07	163.57	149.43	136.97
最大/最小	2.63	3.61	3.09	2.70	3.01
標準偏差	478.20	192.82	87.68	70.50	73.43
相関係数	—	0.949	0.784	0.709	0.698
作業効率					
	モード 0	モード 1	モード 2	モード 3	モード 3a
KM	1.0000	◦0.2310	0.1134	0.1078	0.1015
KN	1.0000	●0.3971	0.1505	0.1503	0.1722
KS	1.0000	0.3657	●0.2293	●0.2146	●0.2086
TK	1.0000	0.3688	0.1552	0.1286	0.1354
TS	1.0000	0.3037	◦0.1055	◦0.0963	◦0.0883

◦最小 (最速), ●最大 (最遅)

表6 習熟の程度

Table 6 Degree of improvement.

	モード 1	モード 2	モード 3	モード 3a	平均	標準偏差
PM/AM	0.9246	0.9546	0.9808	0.9323	0.9481	0.02187
SH/FH	0.9809	0.9756	0.9819	0.8341	0.9431	0.06299

表7 D-ABDUCTOR と他のシステムとの比較

Table 7 Comparison of D-ABDUCTOR and some other systems.

	TOTAL	BU	TD	被験者数	作業回数
ISOP	0.392	0.293	0.433	1	1
KJ エディタ	0.627	0.920	0.560	1	1
郡元	—	0.927	—	約 60	21
SuperPaint	0.633	0.722	0.608	1	3
D-ABDUCTOR (モード 1)	0.337	0.649	0.266	5	20
D-ABDUCTOR (モード 2)	0.150	0.414	0.0903	5	20
D-ABDUCTOR (モード 3)	0.136	0.403	0.0753	5	20
D-ABDUCTOR (モード 3a)	0.137	0.415	0.0740	5	20

(KN と TK) だけで、その 2 名がモード 3a の平均作業時間を長くしている。KN は熟練者であることから、モード 3a で使われるアニメーション機能の効果には慣れよりも相性のような別の要因が影響しているのかもしれない。

4.4 ユニット設計の効果

第 3.4 節で述べたように、作業者の習熟による影響を取り除けるように 1 ユニット内の作業の順序を決めた。実際に習熟の影響を取り除けたかどうかを、1 日の前半 (AM) と後半 (PM) に分けたデータと、1 ユニットの前半 (FH) と後半 (SH) に分けたデータをもとに検証する。

表 6 は、表 4 中の AM と PM の比および FH と SH の比をモード別に示したものである。AM の平均と

PM の平均の比は、平均が 0.948、標準偏差が 0.02187 である。同様に FH と SH の比は、平均が 0.943、標準偏差が 0.06299 である。平均がほぼ同じなのに対して標準偏差は大きく異なっている。

つまり 1 日の前半と後半とに分けると習熟の仕方にモード間の差はあまりないが、1 ユニットの前半と後半とに分けるとモード間の差が大きい。よって、1 ユニット内での習熟による影響を軽減できたといえよう。

4.5 他のシステムとの比較

表 7 は、D-ABDUCTOR と、他の代表的な KJ 法支援システムや作図システムとの比較のために、それぞれのシステムにおける作業効率を示したものである。SuperPaint¹⁴⁾は KJ 法支援システムではないが、MacDraw¹⁵⁾に代表される実用的な汎用作図システム

表 8 被験者のコメント
Table 8 Comments of subjects.

モード	肯定的コメント	否定的コメント
0	体感時間はあまり長く感じない。作業としては楽しかった。	間違いやすく、修正が不可能/困難。ノードの位置決めが困難。紐によるグループの境界は不便で分かりにくい。
1	モード 0 と比べてグループ作成、展開が容易。再利用も便利であろう。間違いが少ない。修正が可能/容易で安心感がある。図の構造を計算機が知っているため、普通の作図ツールよりも楽。	展開後の配置を考えてグループをつくる必要がある。1 回やったらたくさん。モード 2 を経験するとつらい。
2	一番気に入った。最も自動レイアウト機能のありがたみを感じた。モード 1 とは劇的に違う。モード 1 が終わってモード 2 に移るとき、安堵感を覚える。細かいことを考えなくてよいので、思考に集中できる。精神的余裕ができたので、ノードをアルファベット順に並べ替えた。	
3	急いでいるとき、ノードが多いときに適している。エキスパンド後のレイアウトが自動化されていることがありがたい。	関係線作成で勝手にレイアウトされるのでメンタル・マップが壊されるため不利だ。同じ作業はまとめてやりたいのに、操作ごとにレイアウトが変わるのがいや。
3a	モード 3 やモード 2 よりよい（特に時間的余裕がある時）。画面がたびたび変わるがイライラは緩和され、楽しいと感じる。モード 3 の欠点が補えている。関係線作成のローカルな方針を崩さずに作業できる。	

の 1 つとして比較対象とした。

表 7 において、TOTAL は KJ 法あるいは KJ 法的な作業全体の作業効率で、BU は作業前半のグループ編成段階だけの作業効率、TD は作業後半の図解化段階だけの作業効率である。被験者数は各システムの作業効率を求めるための実験作業を行った作業者の数で、作業回数はそのときに行われた実験作業ののべ回数である。ただし作業回数には基準となる手作業の回数は含まない。

D-ABDUCTOR の作業効率は表 4 のクラス 3 での作業時間をもとにした。SuperPaint の作業効率は D-ABDUCTOR の被験者のうち 1 名 KM が、D-ABDUCTOR の場合と同様に単純 LCR 法で記述された作業を行って得たもので、図の規模はクラス 3 で統一した。ISOP, KJ エディタ, 郡元のデータは文献 (11), (13) に発表された評価実験の結果に基づいている。ISOP と KJ エディタの評価実験は完成図を参照しながら KJ 法的手順で行う図の作成作業によって、郡元の評価実験は実際の様々なテーマでの KJ 法の作業によって行われたものである。本実験では文字入力（筆記、タイプ）時間を考慮に入れなため、発表されたデータからもそれらは差し引いた。ただし、郡元のデータについては文字入力時間が不明のため含まれたままである。また、手作業と郡元で作成された図の規模が異なっている（手作業の場合リーフ数平均 63.8, グループ数平均 10.3；郡元の場合リーフ数平均 36.4, グループ数平均 7.0）。ISOP と KJ エディタに関しては実験に用いた図の規模が不明である。

それぞれ実験法や図の規模などが異なるため厳密な

比較はできないが、表 7 から D-ABDUCTOR での作業効率がかなり良いと推測される。特に図解化段階 (TD) で自動レイアウト機能を利用した場合 (モード 2, 3, 3a) の効率が良い。グループ編成段階 (BU) では D-ABDUCTOR よりも ISOP の効率の方が良いが、ISOP でのグループ編成作業は他と違って図的な手法ではない。

4.6 被験者の感想

表 8 は作業後のインタビューによって集めた被験者のコメントの一部を整理したものである。モード別に肯定的コメントと否定的コメントとに分けてある。モード 2 と 3a に関しては特に否定的コメントはなかった。被験者のコメントは本実験の目的である定量的な評価には直接関係ないが、システムの改良には有益な興味深いものが多かった。

5. 考 察

本稿の主目的は、D-ABDUCTOR というひとつの思考支援システムに関して操作レベルにおいてできるだけ客観的な評価を行うことであり、その結果は前章で述べた。ここではさらに、(1) LCR 法は操作レベルの評価法として有効であったか、(2) 評価実験に基づく知見から同種の思考支援システム一般に対してどのような示唆が得られるか、という 2 点に関して考察を加える。

5.1 評価法としての LCR 法の有効性

本稿で目的とした操作レベルの評価とは『思考作業（たとえば KJ 法）に含まれる、カードをさがす、集める、並べる、といった「操作」をどう支援できるか

を評価する』ことであった。その意図する評価が正しく行えるためには、実験に用いる作業に評価の対象がすべて含まれていること、および評価の対象でないものの影響を受けないことが必要である。LCR法で記述された作業は連続して行える一連の作業において、KJ法に含まれる上記の操作をすべて含んでいる。さらに単純LCR法では、KJ法では深く考える必要がある部分を、形式的で単純な作業に置き換えることで思考対象であるテーマへの慣れやテーマごとの難易度の違いによる影響を取り除いている。それに加えて、実験においては作業の繰り返しによる習熟の影響もユニットを適切に設計したことで軽減することができ、結果として操作レベルにおける評価が目的通りに行えたと考える。

5.2 同種システム一般に対する示唆

先に述べた評価実験の結果や経験をふまえて、D-ABDUCTORおよび同種の思考支援システム一般に対して、次のような示唆を得た。

- 計算機を利用すると手作業に比べて顕著な作業時間の短縮が見られる。また自動レイアウトなどの機能が増えるとさらに作業時間の短縮が見られた。これらから思考作業の計算機による支援が有効であり、機能を充実させることで作業効率を向上させることができるといえる。
- 利用できる機能が多くなるほど、作業者の作業時間のばらつきが減少し、手作業における作業時間との相関も減少した。このことから経験の程度に関係なく計算機による支援が有効であるといえる。
- アニメーション機能の効果は時間的には顕著でなかったが「楽しい」という被験者のコメントがあったことは重要である。思考支援では時間では計れないこのような精神的な効果も重視し活用すべきである。

本稿で示した実験は1システムに限定して行ったものであり、その結果だけに基づくこのような一般的主張は信頼性という点では不十分である。しかしながら、今後このような示唆が蓄積されることで同種のシステムを開発する際の指針として有益な情報となると考える。

6. まとめ

思考支援システムを定量的に評価する方法として、再現性、全体性、連続性、拡張性といった特徴を持つLCR法を開発した。それによって、D-ABDUCTORに関して時間的な観点から評価実験を行った。被験者5名がモードを変えてのべ245回作業を行った結果、

次のような結論が得られた。

- (1) 手作業（計算機を使わない作業）に比べると、D-ABDUCTOR（自動レイアウト機能なし）を使うと約1/3の時間で、さらに自動レイアウト機能を使うと、約1/6の時間で作業が行えた。
- (2) 使える機能が増えるほど作業者ごとの作業時間のばらつきが減少し、手作業における作業時間との相関も減少する傾向にあった。
- (3) D-ABDUCTORと他のシステムを作業効率で比較すると、ISOPの0.392、KJエディタの0.627、SuperPaintの0.633に対してD-ABDUCTORは0.136であった（数が小さいほど高効率）。

今回の実験では、操作レベルの定量的な評価を目的として、できるだけ作業が思考（特に深い思考）を含まないように単純LCR法を利用した。今後の課題としては、漢字LCR法や構造的LCR法を利用してさらに実験することで操作レベルから思考レベルの評価へと進めることが重要である。

謝辞 実験に協力していただいた（株）富士通研究所情報社会科学研究所下山武司さん、神戸隆行さん、新田清さんに、また漢字LCR法の例題作成に協力していただいた同研究所大井のり子さん、野中綾子さんに感謝いたします。

参考文献

- 1) 特集「発想支援システム」、人工知能学会誌、Vol.8, No.5 (1993)。
- 2) 川喜田二郎：KJ法、中央公論社(1986)。
- 3) 杉山公造：収束的思考支援ツールの研究開発動向—KJ法を参考とした支援を中心に—、人工知能学会誌、Vol.8, No.5, pp.568-574 (1993)。
- 4) Misue, K.: D-ABDUCTOR 2.0 User Manual, Research Report IAS-RR-93-9E, FUJITSU LABORATORIES, IAS (1993)。
- 5) 三末和男：図的発想支援システムD-ABDUCTORのグループウェア化手法、情報処理学会グループウェア研究会資料、No.93-GW-2-3 (1993)。
- 6) 三末和男、杉山公造：図的発想支援システムD-ABDUCTORの開発について、情報処理学会論文誌、Vol.35, No.9, pp.1739-1749 (1994)。
- 7) 三末和男、杉山公造：図的思考支援を目的とした複合グラフの階層的描画法について、情報処理学会論文誌、Vol.30, No.10, pp.1324-1334 (1989)。
- 8) Sugiyama, K. and Misue, K.: Visualization of Structural Information: Automatic Drawing of Compound Digraphs, *IEEE Trans. SMC*, Vol.21, No.4, pp.876-892 (1991)。
- 9) 三末和男、杉山公造：図を対話メディアとする

発想支援システム D-ABDUCTOR, 1994 年情報学シンポジウム講演論文集, pp.143-152 (1994).

- 10) 小山雅庸, 河合和久, 大岩 元: カード操作ツール KJ エディタの実現と評価, コンピュータソフトウェア, Vol.9, No.5, pp.38-53 (1992).
- 11) 宗森 純, 堀切一郎, 長澤庸二: 発想支援システム郡元の分散協調型 KJ 法実験への適用と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.1, pp.143-153 (1994).
- 12) Craft, Inc.: ISOP for Windows 操作マニュアル (1993).
- 13) 山口ふみ, 國藤 進, 林 義樹: 智的問題解決技法イソップの試用評価実験, 第 2 回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集 (1993).
- 14) Silicon Beach Software, Inc.: Aldus Super-Paint (3.0) User Manual, 9770 Carroll Center Road, Suite J, San Diego, CA 92126-4551 USA (1991).
- 15) Claris Corporation: マックドロー Pro ユーザズガイド, 5201 Patric Henry Drive, Box 58168, Santa Clara, CA 95052-8168 USA (1991).

(平成 7 年 3 月 15 日受付)

(平成 7 年 11 月 2 日採録)



三末 和男 (正会員)

1984 年東京理科大学理工学部情報科学科卒業。1986 年同大学院理工学研究科修士課程 (情報科学) 修了。同年より富士通 (株) 国際情報社会科学研究所 (現在, (株) 富士通研究所情報社会科学研究所) に勤務。思考支援あるいは図的ユーザインタフェースのためのダイアグラム描画に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会会員。



杉山 公造 (正会員)

1974 年名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。同年, 富士通 (株) 国際情報社会科学研究所 (現在, (株) 富士通研究所情報社会科学研究所) 入所。現在, 同所主席研究員。この間, 1982 年オーストリア国際応用システム解析研究所 (IIASA) 研究員。環境科学, システム科学, ヒューマンインタフェース, 発想系情報学などの研究に従事。計測自動制御学会創立 30 周年記念著述賞受賞。理学博士。計測自動制御学会等各会員。