

図の概略化と発想支援への応用

三末 和男

富士通(株) 国際情報社会科学研究所

多くのビジュアルなシステムにおいて、その処理対象は大規模かつ複雑になってきている。それに対し、ヒューマン・インタフェースの側面からは、対象を人間に分かりやすく効果的に、限られた画面上で能率よく表示することが要求される。本稿では、この要求への一対応である概略化について議論する。図を対象とした概略化の一般的な分析を行ない、概略化の応用として発想支援をとりあげる。分析は、概略化の目的、対象、基準、操作、の四つの観点から行ない、自動化の可能性についても議論する。応用では発想支援で用いる複合グラフを対象に、より具体的な議論を行ない、概略化の複合グラフへの適用例を示す。

On Abridgment of Figures and its Application to Abduction Support

Kazuo MISUE

International Institute for Advanced Study of Social Information Science,

FUJITSU LIMITED

140 Miyamoto, Numazu, Shizuoka, 410-03 Japan

Visual systems deal with large and complicated figures. From the viewpoint of human interfaces, it is required to display such figures effectively and efficiently on a limited screen for human understanding. In this paper, we consider the abridgment of figures to meet the requirement in terms of its purposes, objects, criteria and operations. First, a general framework or variations of the abridgment are discussed and then applications of the abridgment to the field of abduction support are shown. The possibility of automatic abridgment also is discussed.

1 はじめに

グラフィック・インタフェースをもつビジュアルなシステムが取り扱う、図解、図面、テキストなどの処理対象が大規模かつ複雑になってきている。ヒューマン・インタフェースの側面からは、そのような対象を人間に分かりやすく効果的に表示することが望まれるが、そのためには次のことが要求される。

1. 重要な要素の明確化を行ない対象の認知性向上を図る。
2. 限られたサイズの画面上で対象を能率よく表示する。

本稿では、上記の要求への対応として図の変形操作の一つ「概略化」を考える。まず、図を対象とした概略化の一般的な分析を目的、対象、基準、操作、の四つの観点から行ない、あわせて、人間が定義または指定する事項をより少なくするための自動化の可能性についても議論する。つぎに概略化の応用として、図的発想支援における概略化の利用をとりあげ、概略化の、目的、対象、基準、操作を複合グラフ [1, 2] に対して、より具体的に与える。最後に、実現した複合グラフの概略化の例を示す。

関連した研究としては概略化の基準を数値的に与える関数の一つとして、Furnas による DOI 関数の提案 [3] がある。DOI 関数との関連については本文で述べる。図的思考展開に関する考え方や用語については文献 [4] を参照されたい。

2 概略化の分析

概略化とは概略を得るための処理である。概略とは、対象の基本的な内容を保存しながら、規模を小さく単純にしたものとする。

2.1 概略化の目的

概略化の目的を大きく二つに分類する。認知性の向上と資源の節約である。

認知性の向上

複雑な対象の表示はしばしば認知性が低く図の表現する情報の把握が困難である。認知性の向上を図り効果

的な表示を行なうことが概略化の一つの目的である。認知性の向上には以下のものがある。

構造の明確化：構造的に重要な要素を強調し、骨格や輪廓など図の構造を明確にする。

要点の明確化：意味的に重要な要素を強調し、図の表現する要点を明確にする。

視点の明確化：視点要素とそれらの近傍を強調し、視点要素やそれらの近傍との関係を明確にする。

資源の節約

大規模な対象を表示するためには相応の資源が必要である。必要な資源の節約を行ない能率的な表示を行なうことが概略化のもう一つの目的である。資源の節約には以下のものがある。

表示領域の節約：小さい領域において能率的な表示を、または、同じ領域においてより詳細な表示を行なう。

計算量の節約：対象の規模を縮小して処理のための計算量を減少させる。それにより処理時間の短縮、速い応答を行なう。

2.2 概略化の対象

ここで議論する概略化の対象は構造をもつ図である。図の構造は次のような表現形式に従って表現される [5, 6]。

行列系：行と列から構成される図で、統計表、相関表、一覧表、分類表、対応表など。

網図系：数学的なグラフの構造をもつ図で、論理図、行程図、関連樹木図、組織図など。

領域系：領域の包含、交差、分離などの関係で表現した図で、概念間の包含関係図やベン図など。

座標系：座標系を基準としてもつ図で、棒グラフ、折線グラフ、あるいは地図、等高線図など。

ただし、これらの表現形式はごく基本的なもので、複雑な構造をもち複合した表現形式で表現される図も多くある。

2.3 概略化の基準

構造を構成する図の最小単位を図の要素とする。概略化を行なう際には、概略化の基準となる要素の重要度を決定する必要がある。重要度は、削除される要素の決定や、拡大縮小率の決定に用いられる。自動化のためには、この重要度の決定を図の構造などを利用してより少ない指定で行なうことが望まれる。

2.3.1 基本重要度

図の要素に異なる観点から重要度を与え、それぞれを基本重要度とする。

構造的な重要度

構造の構成要素としての図の要素に与えられる基本重要度で、図の構造から形式的に定義される。構造の変化に伴って各要素の重要度も変化する。構造的な重要度を用いて概略化された図は構造的に重要な要素が強調される。要素 x の構造的な重要度を $I_s(x)$ で表す。

意味的な重要度

情報の表現物としての図の要素に与えられる基本重要度で、各要素の表現する意味内容などから定義される。構造の変化や視点の移動には影響されない。意味的な重要度を用いて概略化された図は意味的に重要な要素が強調される。要素 x の意味的な重要度を $I_m(x)$ で表す。

視点重要度

視点との位置関係によって与えられる基本重要度で、視点要素からの構造上の距離によって定義される。視点は各時点において人間が指定しなければならない。視点重要度を用いて概略化された図は視点およびその構造的な近傍が強調される。視点要素 y_i ($1 \leq i \leq n$) に対する要素 x の視点重要度を $I_v(x; y_1, \dots, y_n)$ で表す。

2.3.2 重要度関数 I

図の各要素 x の一般的な重要度を与える関数 I を、基本重要度を用いて次のように定義する。

$$I(x) = w_s I_s(x) + w_m I_m(x) + w_v I_v(x; y_1, \dots, y_n) \quad (1)$$

ここで、 w_s, w_m, w_v は重み係数である。

重要度関数 I によって、たとえば、削除される要素の集合は適当な閾値 t を用いて $\{x | I(x) < t\}$ のように、また要素 x の拡大縮小率は適当な単調関数 f を用いて $f(I(x))$ のように定めることができる。

2.3.3 関心度関数 DOI と重要度関数 I

Furnas によって提案された DOI 関数 [3] はユーザがある要素を見ることにどの程度関心を持っているかを与える関数で、一般的に次のように表される。

$$DOI_{fisher}(x | y) = API(x) - D(x, y) \quad (2)$$

$DOI_{fisher}(x | y)$ は、視点要素が y であるときの要素 x の関心度である。ここで、 $API(x)$ は x の大局的な先験的重要度、 $D(x, y)$ は x と y の距離である。

重要度関数 I において、視点要素を唯一 y として、

$$API(x) = w_s I_s(x) + w_m I_m(x) \quad (3)$$

$$D(x, y) = -w_v I_v(x; y) \quad (4)$$

とすると、関心度関数 DOI と重要度関数 I は等しくなる。その違いは、重要度関数 I において、複数の視点と同時に存在する場合にも定義可能な点と、先験的重要度を構造的な重要度と意味的な重要度に分解してそれぞれに項を与えた点である。先験的重要度を異なる観点から得られた二つの基本重要度に分けることで、重要度の、図の変化との関係や、形式的に定義可能な部分などを明確にした。

2.4 概略化の操作

概略化の操作には削除と拡大縮小がある。ただし、拡大縮小に関しては概略化前の図に、大きく詳細な図を仮定し、縮小だけを考えることにする。削除は幾何的削除と構造的削除に、縮小は幾何的縮小と構造的縮小に、分類できる。操作によっては削除後や縮小後に空いたスペースを詰めるなど、全体の再配置を必要とする場合もある。

自動化に関しては、不要要素と、縮小の場合の縮小率を与えれば、削除やサイズの縮小は自動化可能である。むしろ削除や縮小後の再配置が自動化の可能性に大きく関わる。ここでは、特定の表現形式に従った図の自動描画(または自動再配置)機能が用意されていると仮定する。

幾何的削除

図の各要素またはその一部を構造に関係なく削除する操作である。幾何的削除の適用された図はもとの表現形式に矛盾する可能性がある。幾何的削除後の再配置で表示に必要な領域を小さくすることが可能であるが、幾何的削除後の図が表現形式に矛盾する場合、計算機による自動再配置は難しい。

構造的削除

図の各要素を構造に依存した形式的規則に従って削除する操作である。高次元の対象の低次元化なども含まれる。構造的削除後の再配置で表示に必要な領域を小さくすることが可能である。構造的削除後の図は元の表現形式に整合するので、自動描画機能により操作の自動化が可能である。

幾何的縮小

図の各要素のサイズを幾何的に縮小する操作である。幾何的縮小は図の構造には変化を与えない。幾何的縮小後の再配置で表示に必要な領域を小さくすることが可能である。幾何的縮小は図の構造に変化を与えないので、自動描画機能により操作の自動化が可能である。

構造的縮小

図の構造を縮小する操作で、図の表現する情報の抽象化に相当する。複数要素の上位概念をもつ単一要素での置換で代表される操作である。構造的縮小は表示に必要な領域の縮小には貢献しない場合もある。構造的縮小後の図は元の表現形式に整合するので、再配置が必要な場合も自動描画機能により操作の自動化が可能である。

図1に行列系の図の一つ、カレンダーに対する概略化操作の例を示す。

3 発想支援への応用

図表現を多用する創造技法、発想法などを基に計算機で発想支援を行なう場合、図を自在に扱える機能を用意して非本質的な作業から人間を解放することが重要である。我々はKJ法[7]で用いられる図解を数学的に抽象化した複合グラフを対象に、図を扱う機能として階層的自動描画法[1, 2]や遠近画法[8, 9]などをすでに開発

1990 MAY

SUN	MON	TUE	WED	THU	FRI	SAT
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

概略化対象(カレンダー)

1990 MAY

MON	THU	FRI
	3	
7	10	
14	17	18
21	24	
28	31	

幾何的削除

1990 MAY

MON	THU	FRI
	3	4
7	10	11
14	17	18
21	24	25
28	31	

構造的削除

1990 MAY

S	MON	T	W	THU	FRI	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

幾何的縮小

1990 MAY

MON	TW	THU	FRI	S
	1	2	3	4
7	8	9	10	11
14	15	16	17	18
21	22	23	24	25
28	29	30	31	

構造的縮小

図1: 行列系における概略化操作の例

してきた。ここでは、そのような図を自在に扱う機能の一つとして概略化を考える。

3.1 発想支援における概略化の目的

発想支援における概略化の目的には、先に挙げたそれぞれ単独の目的に加えて、複数を同時に目指す、「全体と部分の同時視[10]」がある。これは、

- 全体を大まかに(構造の明確化)、
- 視点部分を詳細に(視点の明確化)、
- 限られた領域に(表示領域の節約)、

同時に表示するもので、常に図全体を見ながら部分の操作を行なうことで作業を進めるKJ法に基づいて計算機で発想支援を行なう場合に望まれる機能である。

3.2 概略化対象: 複合グラフ

複合グラフとは、KJ法など発想法で用いられているカードや領域とそれらの間の包含関係、隣接関係を表

現した図解を抽象化したもので、数学的には複数種類の枝をもつグラフ G として次のように定義される。

$$\begin{aligned} G &= (V, E, \partial^+, \partial^-, t) \\ V &: \text{節点集合} \\ E &: \text{枝集合} \\ \partial^+, \partial^- &: E \rightarrow V \text{ (} E \text{ の結合関数)} \\ t &: E \rightarrow \text{Type} \text{ (} E \text{ の型関数)}. \end{aligned}$$

$\partial^+(e), \partial^-(e)$ はそれぞれ枝 e の始点と終点である。関数 t は枝に型を与える。ここでは Type は整数とする。 $t(e) = 0$ のとき e を包含枝と呼び、 $t(e) \neq 0$ のとき隣接枝と呼ぶ。包含枝と隣接枝の集合をそれぞれ E_I と E_A で表す。このとき、二つの有向グラフ G_I と G_A をそれぞれ

$$G_I = (V, E_I, \partial^+|_{E_I}, \partial^-|_{E_I}) \quad (5)$$

$$G_A = (V, E_A, \partial^+|_{E_A}, \partial^-|_{E_A}) \quad (6)$$

のように定義すると複合グラフ G は G_I と G_A の複合した構造であると見なせる。ここで対象とする複合グラフでは、グラフ G_I を木に制限して包含木と呼んでいる。複合グラフを図に表現する際、 G_I を領域系で、 G_A を網図系で表現すると、複合グラフの表現形式は領域網図複合系に分類される。

我々は複合グラフを領域網図複合系の表現形式に従って描く自動描画法を開発した [1, 2]。その描画方法は、節点を長方形の領域として描き、包含関係を表す包含枝を長方形の領域の包含関係で表現し、隣接関係を表す隣接枝が一定の向き（たとえば右向き）になるように階層的にその長方形を配置するものである。開発した自動描画法で描いた複合グラフの例を図 2 に示す。（後で参照するためにラベル 24, 26 の節点を太線で表した。左がラベル 24, 右が 26 の節点である。）

長方形内に描かれたテキストは複合グラフとは別に扱い、概略化の対象とはしない。テキストの文字サイズは一定で、長方形のサイズに応じて文字数が変化する。

3.3 複合グラフに対する概略化基準

複合グラフ上の重要度関数 I を定義する。ここでは、要素のうち節点にだけ重要度を与えることにする。つまり、 I は節点全体から実数への関数 ($I: V \rightarrow \mathbf{R}$) とする。

複合グラフ上での距離

構造上での距離はグラフ上の距離を用いる。つまり、枝の向きを無視した 2 節点間のパスの長さである。次の 3 種類の距離を定義しておく。

$$D_I(x, y) = G_I \text{ 上での } x \text{ と } y \text{ の距離} \quad (7)$$

$$D_A(x, y) = G_A \text{ 上での } x \text{ と } y \text{ の距離} \quad (8)$$

$$D(x, y) = G \text{ 上での } x \text{ と } y \text{ の距離} \quad (9)$$

G 上での距離は複合グラフの型関数を無視し、有向グラフと見なしたときの距離である。

構造的重要度

KJ 法の図解を抽象化した複合グラフでは、包含枝が概念の包含関係を表現し、包含木において深い節点はほど詳細な概念を表し、全体に対する個々の重要度は低いと考えられる。そこで、複合グラフの構造的重要度を包含木 G_I における節点の深さをを用いて次のように定義する。

$$I_s(x) = -D_I(R, x) \quad (10)$$

ここで、 R は包含木 G_I の根とする。

意味的重要度

意味的重要度は複合グラフの構造に依存せず節点の表す意味内容から適宜定義されるとする。

視点重要度

視点重要度は複合グラフ上の距離を用いて定義する。距離は上で定義した 3 種類のいずれを利用することも可能であるが、ここでは、視点に対して関係の種類に依らない近傍を全て強調するために D を利用する。視点 x が唯一 y の場合の視点重要度は次のように定義される。

$$I_v(x; y) = -D(x, y) \quad (11)$$

さらにこれを合成して視点が複数の場合の視点重要度が定義できる。たとえば、次のような定義が行なえる。

$$I_v(x; y_1, \dots, y_n) = \max_{1 \leq j \leq n} I_v(x; y_j) \quad (12)$$

3.4 複合グラフに対する概略化操作

複合グラフに対する 4 種類の概略化操作を次のように定める。

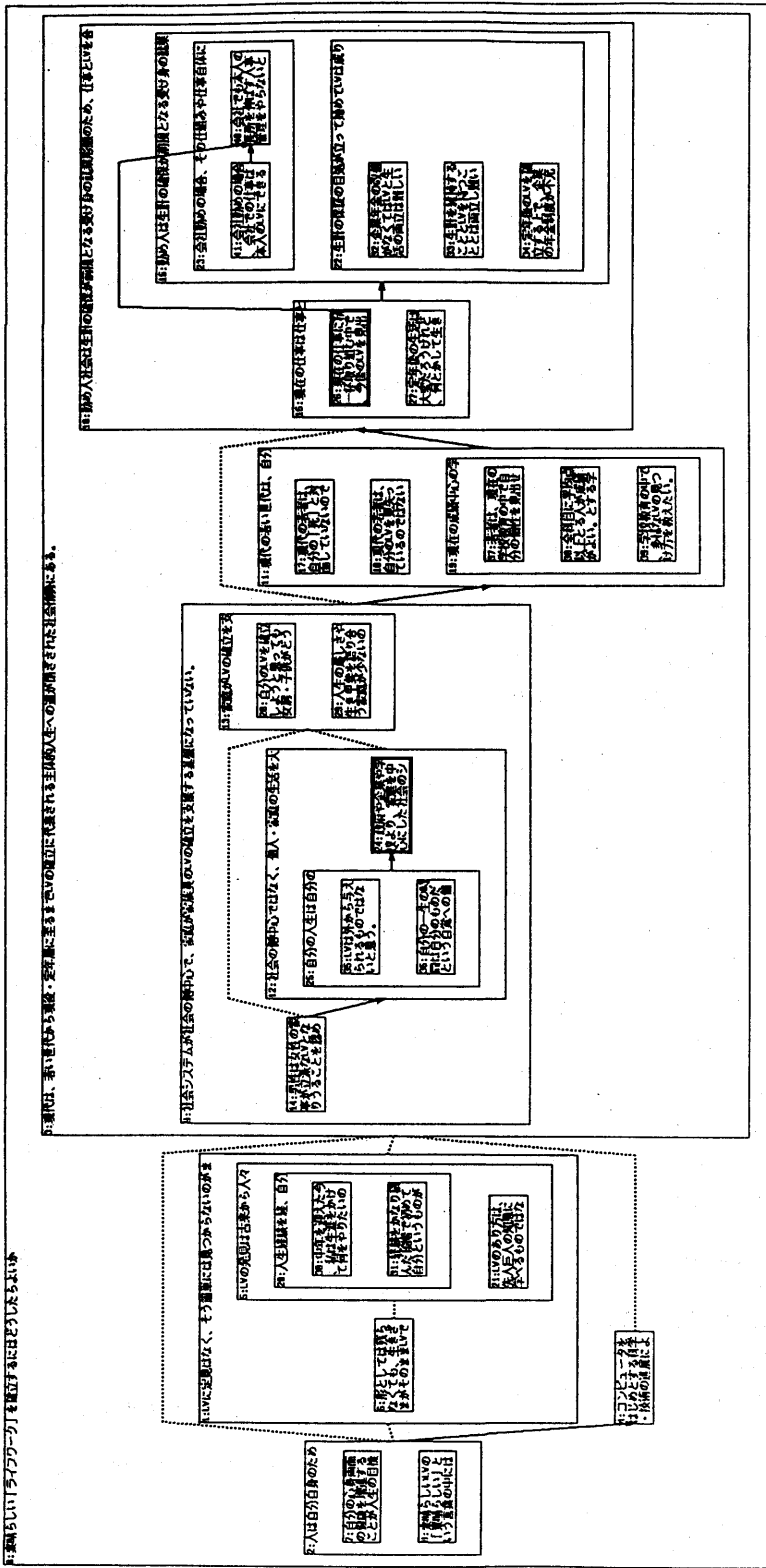


図 2. 複合グラフの例

幾何的削除

不要節点(領域)の削除を行なう。その際、端点の存在しない枝が出現する可能性がある。包含枝の場合には図には直接表現されないのが問題ないが、隣接枝の場合には端に節点が存在しない矢線となり表現形式に矛盾することがある。

構造的削除

不要節点(領域)の削除を行なう。それに伴い、端点の削除された枝の削除または端点の変更を行なう。自動描画機能を利用して不要節点削除後の複合グラフで再配置を行なう。

幾何的縮小

不要節点(領域)の縮小およびそれに関連する枝の縮小を行なう。自動描画機能による再配置時には節点のサイズを考慮して節点間の間隔なども変更する。

構造的縮小

複数節点の上位概念を表す1節点での置換を行なう。領域系の図において要素の包含関係が概念の上下関係を表す場合、包含される要素の削除がすなわち上位概念での置換に相当するため、構造的縮小は構造的削除と等価になる。

3.5 複合グラフの概略化例

図2に示した複合グラフを概略化した例を図3と図4に示す。

重要度関数によるバリエーション

図3は操作に幾何的縮小を用いて、重要度関数の重み係数を変化させて異なる概略化を行なった例である。視点は唯一ラベル26の節点とし、意味的重要度はラベル24の節点だけが1で、他は全て0とする。重要度関数は次のように定義される。

$$I(x) = w_s I_s(x) + w_m I_m(x) + w_v I_v(x; 26) \quad (13)$$

$$I_m(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = 24 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

(a) 大まかな構造を明確にするために、構造的 중요度だけをを用いた例である。重み係数は次のように定めた。

$$w_s = 1, w_v = w_m = 0 \quad (15)$$

詳細部分を省略した図解が得られ、全体を概観する作業、たとえば要約文の作成などに向く。

(b) 視点とその近傍を明確にするために、視点重要度だけをを用いた例である。重み係数は次のように定めた。

$$w_s = 0, w_v = 1, w_m = 0 \quad (16)$$

視点の近傍だけを強調した図解が得られ、局所的な作業、たとえばカードの空間配置作業[7]などに向く。

(c) 大まかな構造と共に視点付近を強調するために、構造的 중요度と視点重要度をを用いた例である。重み係数は次のように定めた。

$$w_s = w_v = 1, w_m = 0 \quad (17)$$

構造的 중요度を先験的重要度と見なすと、DOI関数による基準と同じである。(a)と(b)の性質を合わせ持つため、全体を考慮しながら詳細部分を参照する文章化などに向く。

(d) (c)の例に加えて意味的に重要な要素も強調するために、構造的 중요度、視点重要度、意味的重要度を全てを用いた例である。重み係数は次のように定めた。

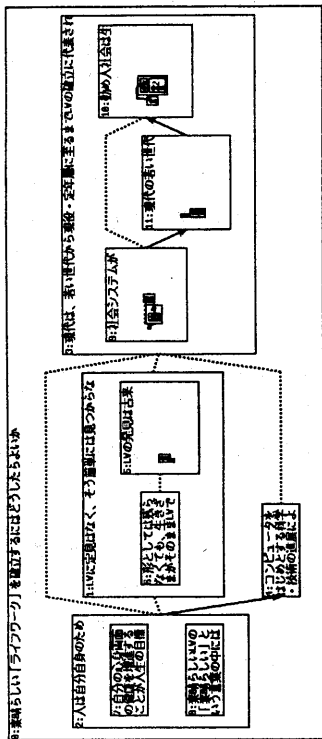
$$w_s = w_v = 1, w_m = 5 \quad (18)$$

(c)とはほぼ同じ用途に利用できる。意味的に重要な要素を常に強調できるので、特定要素を特別に扱うことが可能となる。

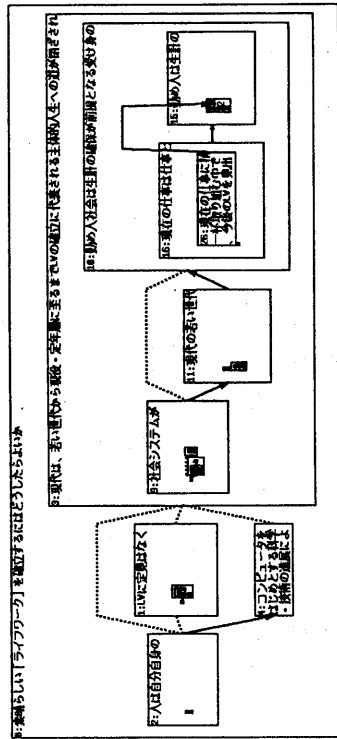
概略化操作によるバリエーション

図4(a)-(c)は図3(a)と同じ重要度関数を用いて、概略化操作だけを変えて異なる概略化を行なった例である。また(d)は異なる表現形式と見なして概略化を行なった例である。

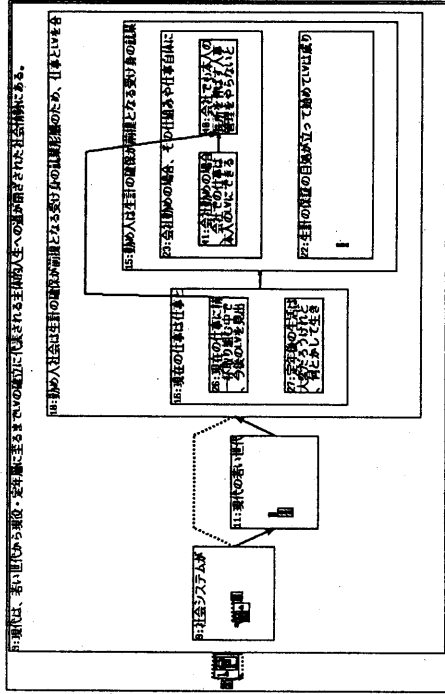
(a) 幾何的削除を行なった例である。端点のない隣接枝が存在している。再配置を行っていないので、領域の節約は果たしていない。図は全体を一様に縮小したものである。図解の疎密の程度から元の情報の詳細さが推測できる。



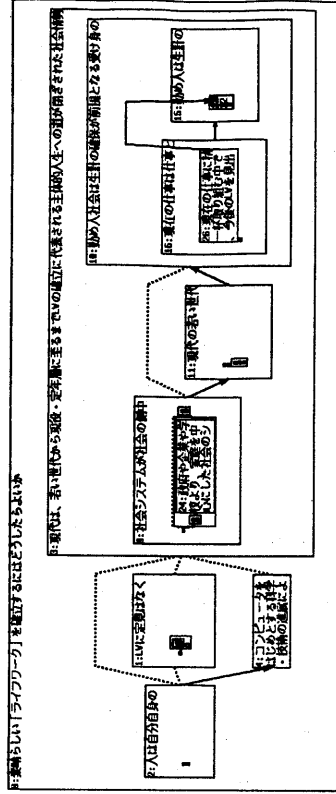
(a) $\{x \in VI(x) < -2\}$ の要素を縮小
ただし、 $I(x) = -D_I(R, x)$



(b) $\{x \in VI(x) < -3\}$ の要素を縮小
ただし、 $I(x) = -D(x, 26)$

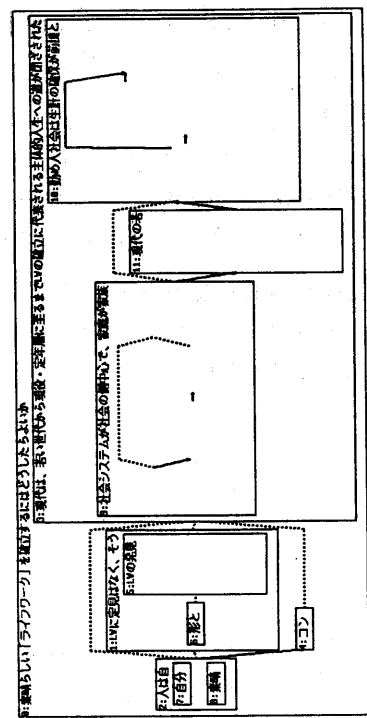


(c) $\{x \in VI(x) < -5\}$ の要素を縮小
ただし、 $I(x) = -D_I(R, x) - D(x, 26)$

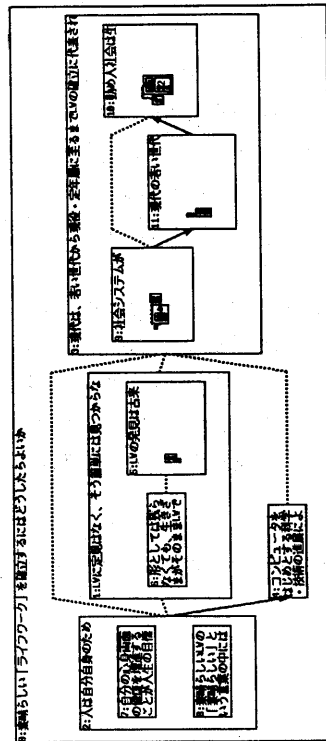


(d) $\{x \in VI(x) < -5\}$ の要素を縮小
ただし、 $I(x) = -D_I(R, x) - D(x, 26) + I_m(x)$

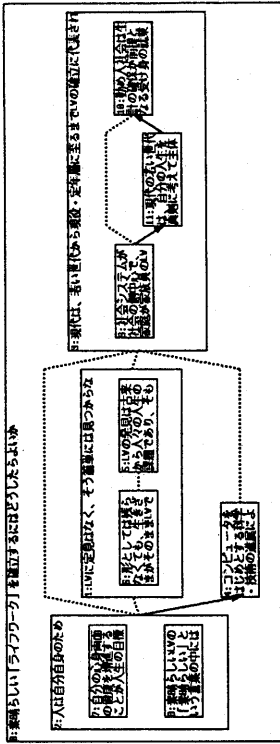
図 3: 4 種類の重要度関数による複合グラフの概略化例



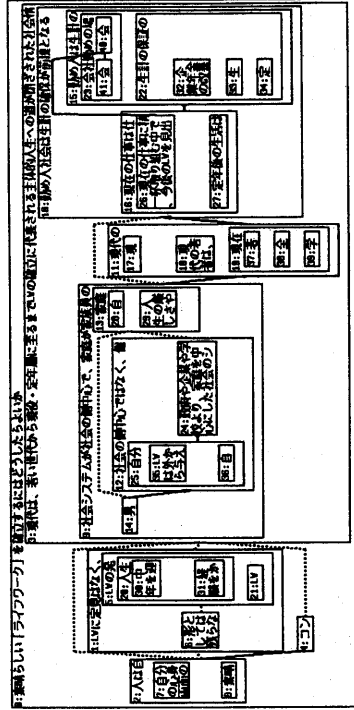
(a) 幾何的削除



(c) 幾何的縮小



(b) 構造的削除 (構造的縮小)



(d) 座標系の幾何的縮小

図 4: 4 種類の概略化操作による複合グラフの概略化例

(b) 構造的削除を行なった例である。要素数が大幅に減少し、おおまかな構造が明確になっている。この例では包含関係が概念の上下関係を表すため、構造的縮小と見なすこともできる。概略化された様子が分かり難い反面、この図解を基にした別の詳細化で、発想を膨らませることも期待できる。

(c) 幾何的縮小を行なった例である。(b)で示した構造的削除において削除された要素が縮小されながらも表されているため、概略化の様子が把握できる。概略図であることが明らかであるので、全体の構造を意識した局所的な作業に向いている。

(d) 図2に表された複合グラフを座標系の図と見なして、遠近画法の一つ2重焦点表示方式[9]を用いて幾何的縮小を行なった例である。ラベル24, 26の節点を重要要素とし、それ以外の領域は縦方向と横方向にそれぞれ一様に縮小されている。全体の形状を保存しつつ、全体の構造と部分の詳細(この場合はテキスト)を同時に見ることができる。縮小部分もキーワードが表示されるため、解説用の図解などにも適している。

4 まとめ

図の概略化について、目的、対象、基準、操作、の四つの観点から分析を行ない、自動化の可能性についても合わせて考察した。さらに、図を用いた発想支援における概略化の応用として、領域網図複合系に属する複合グラフを対象とした概略化についてより詳しく述べた。本文で示した複合グラフに対する概略化は全てSun-4上で実現され、現在我々が開発中の図的発想支援システムD-ABDUCTORに組み込まれている。

今後の課題としては、表現形式の数学的な定式化を初め、各表現形式に対する基準や操作の定式化を行なうことが挙げられる。それにより、特定の目的に適した概略化のための基準や操作の構成を、現在のように経験や試行錯誤に頼るのでなく、形式的に行なえると期待される。

最後に、有益な助言を頂いた同研究所 杉山公造博士に感謝します。

参考文献

- [1] Sugiyama, K. and Misue, K.: *Visualizing Structural Information: Hierarchical Drawing of a Compound Digraph*, Research Report 86, IIAS-SIS, FUJITSU LIMITED (1989).
- [2] 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).
- [3] Furnas, G. W.: *Generalized Fisheye Views*, Proceedings of Human Factors in Computing Systems, pp.16-23 (1986).
- [4] 杉山: 図的思考展開支援に関する基礎的研究—発想系情報学の構築にむけて—, 国際情報社会科学研究所報告第24号, 第25号, 富士通株式会社(1988).
- [5] 出原 栄一, 吉田 武夫, 渥美 浩章: 図の体系 日科技連, p.252 (1986).
- [6] 杉山 公造: 図形言語とスケッチ・エキスパート 情報処理学会情報学基礎研究会, 86-FI-3-2 (1986).
- [7] 川喜田二郎: *KJ法*, 中央公論社, p.581 (1986).
- [8] 三末 和男, 杉山 公造: グラフィック・インタフェースのための全体と詳細を同時に見せる遠近画法, 第5回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.463-468 (1989).
- [9] 三末 和男, 杉山 公造: 複合グラフ描画における全体と詳細を同時に見せる遠近画法 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会, 90-HI-29-5 (1990).
- [10] 杉山 公造: 図的思考展開支援からみたKJ法の分析, 第5回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.325-330 (1989).