

自然語による図形解釈および記述システム

岡田 直之 (大分大学)

1. まえかき

最近、自然語や図形を知的処理することの必要性が増大しているが、それには人間の行っている知的活動を参考とすることか特に重要と考えられる。人間の知的活動は

- (1) 意味理解・知的認識
- (2) 思考・推論
- (3) 意図表現・知的行動

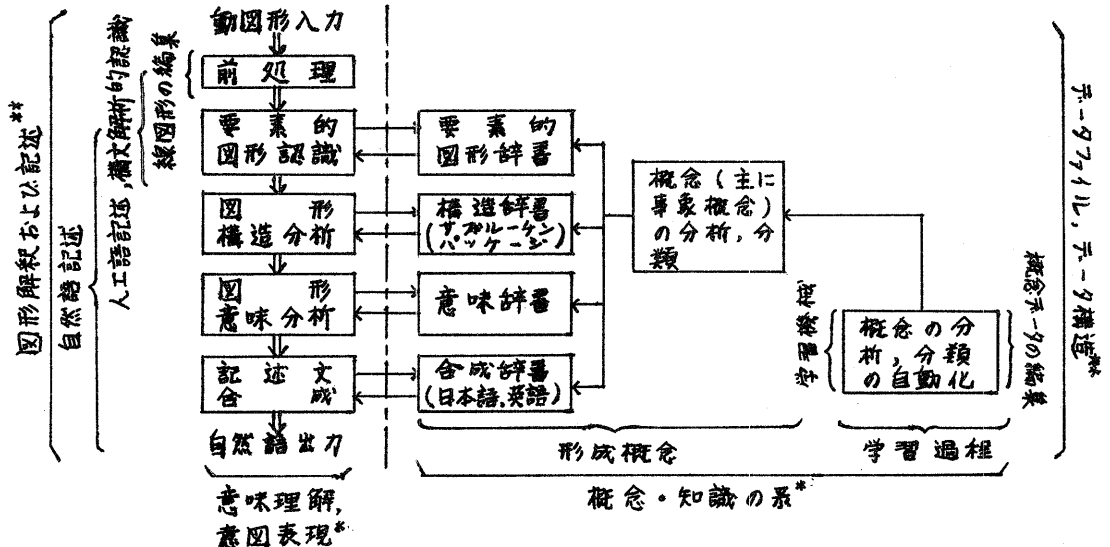
という3つの側面をもつが、それらにおいては概念あるいは知識の系が本質的に重要な役割を果たしている。概念は外界情報との結びつきによって形成される部分が基礎をなすと思われるが、その形成概念の構造は自然語の構文的・意味的構造とも密接に結びついている。

本システムは、外界情報と自然語を対応づけて両者に共通な概念を把握し、主として(1)に関する問題の解決を図ろうとしたものである。具体的には視

覚情報としての動図形の意味内容を解釈し、その結果を日本語および英語で記述するものである。しかし図形データを機械か内部に蓄積したイメージとしての知識と見るなら、それを参照して自然語文を生成しているとも考えられ、(3)にも関連している。

システムの構成を図1に示す。このシステムは、従来の概念分析、例えば R.C.Schank⁽¹⁾ のそれと比べ、外界情報との対応のもとで「事象概念」の世界を組織的、ほぼ網羅的に把握しているのか大きな特徴である。また R.A.Kirsch の自然語による図形記述⁽²⁾ と比べると、自然語を用いた場合変化のある事柄に豊富な意味内容があるという認識のもとに、静止図形を動図形へと発展させているのか特徴と言えよう。

以下本システムの概略を述べるが、詳細は文献(3)～(9)を参照されたい。



*印は人間の知能の解明、**印はそれに基づく工学的手法の開発、
という立場からそれぞれシステムを眺めたもの

図1 システムの構成

2. 概念の分析および分類

2.1 予備的考察

図形および自然語の意味について述べる。ある図形(外界そのものと見てもよい)が与えられた場合、一般にその中には無数の事柄が存在しそれらの意味内容もまた、無数と言えよう。いま仮にそれらの意味内容を自然語文、特に単文の集りで記述できるとするなら、図形の意味内容は各単文とそれらの結合関係のもつ意味として握握される。単文を構文的、意味的に支配しているのは述語としての動詞で、単文の意味はほぼ動詞の意味でその骨組が決まる。その動詞は有限であるなら図形および自然語のもつ意味の世界は言語的立場に立つと、ほぼ動詞の数に相当するクラスに粗く分類できると言える。

動詞で表現される外界の指示対象を「事象」と呼ぶことにする。日常の言語生活ではほぼ十分とされる動詞⁽¹⁰⁾のもつ意味、即ち事象概念について詳細な分類を行った。それによると事象概念はそれ以上要素的事象概念に分解できない「単純事象概念」と、分解できる「非単純事象概念」に大別される。

2.2 単純事象概念⁽³⁾

事象は物と違ってそれ自身独立しては存在し得ず、他の物、事、属性に付随して生じる。それらを「構成要素」と呼ぶなら、事象概念ひは構成要素間の動的あるいは静的な関係の概念として、一般に次のように表現される。

$$U(S, O, O_f, O_t, O_m, O_s, O_w, O_c, O_p, O_e, \dots) \quad (1)$$

ただし、S:主体概念、O:客体概念、 O_f :作用が及んでくる場合の起点または変化の初期状態、 O_t :作用が及んでゆく場合の終点(目標点)または変化の最終状態、 O_m :相互作用の相手、 O_s :基準あるいはより所、 O_w :方法あるいは手段(道具を含む)、 O_c :属性的な面を補足する概念、 O_p :場所、 O_e :時間、---

構成要素は図形内のある事象を解釈する際最少限度注目しなければならぬ

いもの、という立場なら必須要素と任意要素に分けられる(自然語の側からは区別が困難)。そのうち必須要素(Sから O_c までの8種類)は事象の機的存在であるか、それらの組合せを調べることにより表1に示す概念構造の形を得た。また事象そのものの概念内容についても分類を行い、表2を得た。その際事象概念の世界を最少限度網羅する概念として約1,200の基本事象概念を選び出した。表2の分布は動きと変化を合せると80%を超え、図形解釈において変化する事柄、とりわけ変位

表1 単純事象概念の構造

番号	形	例
I	$U(S)$	(水滴が)落ちる
II	$U(S, O_f)$	(煙が煙突から)出る
III	$U(S, O_t)$	(太郎が郵便局に)行く
IV	$U(S, O_m)$	(トラックがバスと)ぶつかる
V	$U(S, O_s)$	(手を親に)似る
VI	$U(S, O)$	(通行人が板を)折る
VII	$U(S, O, O_f)$	(運搬車が荷台から積荷を)降ろす
VIII	$U(S, O, O_c)$	(児童が算箱に鉛筆を)入れる
IX	$U(S, O, O_m)$	(飛行士が管制塔と信号を)かわす
X	$U(S, O, O_w)$	(人がさじで砂糖を)すくう
XI	$U(S, O, O_e)$	(人がさよ風を涼しく)感じる
XII	その他	

表2 単純事象概念の内容

番号	特徴	例	分布
0.0	変位	移す	319
0.1	向きの変化	あむく	54
0.2	(1.00以外の)変形	曲がる	183
0.3	精神(主に感情)の変化	怒る	128
0.4	感覚の変化	感じる	50
1.00	(長時間を要する)変形	やせる	22
1.01	変質	腐る	61
1.02	変量	減らす	35
1.03	光に関する変化	光る	30
1.04	色の変化	赤らむ	29
1.05	熱に関する変化	冷やす	34
1.06	力・勢に関する変化	やわらぐ	53
1.07	音声に関する変化	歌う	52
1.08	発生・出現・消滅	現れる	54
1.09	開始・終了・停止	止める	21
1.10	時間に関する変化	早める	28
2.0	(一定の状態の)継続	続く	24
2.1	(ある時刻の)有様	そばえる	29
3.0	抽象(具象の上位概念)	基づく	98
3.1	その他	食べる	129
	合計		1,433

1. 大分類の0.1, 2はそれぞれ動き、変化、状態にほぼ対応。
2. 分布は基本事象概念に対するもので、合計数のうち相異なるものの数は1,209。

事象を取り扱うことの重要性が理解される。

2.3 非単純事象概念⁽⁴⁾

非単純事象概念は抽象的で、図形との対応が必ずしも明確でないものが多い。そこで単純事象概念ならどのようにして構成されるか、に重点を置いて分析、分類を行った。

(1) 複合概念A

2つの事象概念を表3に示す規則に基づいて結合しているもので、言語的にはそれぞれを表す動詞の複合語として表現される。

(2) 複合概念B

この概念(通常単純語で表現)にはAにおけるような一般的結合規則は見当らないので、幾つもの分析例を表4に示す。また個々の要素的概念が結合することによって得られる、全体的な概念内容についての分類結果を表5に示す。

(3) 派生概念

派生概念はある事象概念から派生してできたもので、派生の作用素は助動詞のもつ「様相」と呼ばれる情報に近い、表6のような意味をもつ。言語的には接辞、接辞的動詞およびその他(「する」に対して「なせる」など)の形態を取る。

以上2.2, 2.3の分類において、多義の問題、複合サ変動詞の概念についても検討を加えた。また分類は1つのアルゴリズムに従って行った⁽⁴⁾。

2.4 分析、分類の自動化⁽⁵⁾

概念分類のアルゴリズム化を一步押し進め、人間が on-line で機械と対話的に概念を分析、分類する方法を考案した。これは機械の側から見ると1つの学習過程と考えることもできる。即ち外部の教師が1語ずつ機械に教えてゆくと、機械はその語の概念の成分的特徴を抽出するための質問を答える。それに対し教師が所定の形式で意味情報を手取ると、機械は今得た知識を蓄積

表3 複合概念Aの結合規則

番号	結合規則	例
XXI	因果的結合	押し倒す
XXII	論理構的結合	伏し拜む
XXIII	構文的結合	言い誤る*

*「言う」ことを「誤る」。

表4 複合概念Bの分析例

概念	結合関係	時間的推移
譲る	①∩②∩③	} ①②③ → t } ①②③ → t } ⑦⑧⑨ → t } ①②③ (④⑤⑥⑦⑧⑨...)->t (②∩③)
与える	" ∩ ㊦	
飛ぶ	" ∩ ㊦	
知る	(④⑤⑥⑦⑧⑨...)->t (②∩③)	
い:	①∩②∩⑩	} ①②⑩ → t } ①②⑩⑩ → t } ①②⑩⑩ → t
貸す	" ∩ ⑪	
預ける	" ∩ ⑬	

①:(SかOを)持つ, ②:(SかOにOを)渡す, ③:(OかOを)持つ, ④:(SかOを)持つ, ⑤:(SかOに)感謝する, ⑥:(SかOを)教へ, ⑦:(OかOを)持つ, ⑧:(OかSにOを)渡す, ⑨:(SかOを)持つ, ⑩:(OかSにOを)返す, ⑪:(OかOを利用する), ⑫:(OかOを)保管する, ㊦:SかOより目上, ㊨:S=閉着なつO=小売商

表5 複合概念Bの概念内容

番号	概念内容	例	分布
10	精神的行為	察する	98
11	学術・芸術的行為	教える	44
12	宗教的行為	さうでる	32
13	言語的行為	ほめる	24
14	社会的行為	暮す	130
15	所作・ふるまい	すます	25
16	労働・生産	商う	84
17	所有	与える	85
18	調査・計量	調べる	43
19	支配・人事	雇う	46
20	攻防・勝敗	攻める	45
21	退避・逃亡	逃す	22
22	興亡・盛衰	栄える	30
23	その他	僅す	333
	合計		1041

表6 派生情報

番号	派生情報	例	分布
50	強意	「取り」-散らみす	217
51	尊敬・丁寧・謙譲	おっしゃる	51
52	卑俗	ずらみす	31
53	不完行・失敗	書き-「もらす」	32
54	反復・習慣	食べ-「付ける」	41
55	開始	降り-「出す」	18
56	完了	刷り-「上かる」	31
57	極限	登り-「話める」	35
58	その他	面白-「かる」	209
	合計		665

表7 要素的図形辞書

番号	名称		指標 種類	結合関係		位置情報 x, y	意味 情報	---
	日本語	英語		節点	隣接節点			
6	CHOKKAKU SAN KAKKEI	RIGHT - TRIANGLE	λ_a λ_b λ_c	2 3 1	3, 1 1, 2 2, 3	-274, -80 227, -80 47, 160	e, e_{22} e_{2-1}, \dots e_{S1}	---

ラベル: 節点に結合している線分の結合状態に対する名称
 結合情報: 各節点に対する他の節点の隣接関係を示す
 位置情報: 各節点の重心に対する相対座標
 意味情報: 表8参照

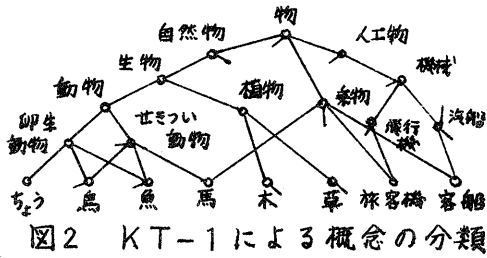


図2 KT-1による概念の分類

すると共に既に得た知識を修正し、更に概念間の階層性に注目した分類を行う。自動翻訳実験装置KT-1の学習結果の一部を図2に示す。

3. 機械辞書

機械辞書には図形内の「物」に関する要素的図形辞書, 「事」に関する構造辞書と意味辞書, ならびに言語表現のための合成辞書がある。

3.1 要素的図形辞書⁽⁸⁾

この辞書は物としてのモデルを格納しておくもので、現在抽象的幾何図形および具象的自然図形を50個格納している。(記憶容量は約50K語)。図形としては線図形を取り扱っており、図3を例に取り表7にそのデータ構造を示そう。線図形を対象としているのは、図形の意味解釈には輪郭線図形が重要な役割を果たす場合が多い、というのが主な理由である。

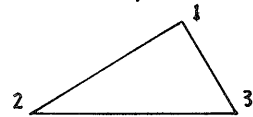


図3 直角三角形

3.2 構造辞書⁽⁹⁾

構造辞書は動図形内の事を構造分析するためのもので、表9にそれを示している。表9の各動的構造規則は複数の要素的図形から構成される図形か、時刻 t_0 と t_1 ($t_0 < t_1$) に入力されるものとしている。それらの規則は事象概念の成分的特徴(一般に概念の成分的特徴を「意味成分」と呼ぶ)に対応している。表9は各特徴を抽出するためのサンプルテンプレート(現在46個)として格納して

表8 構成要素の意味成分

意味成分	特徴	意味成分	特徴
e	物	$e_{22-2-2-3}$	足をちつ
e_{22}	移動可能	e_{S1}	内部にある
e_{22-2}	自力で移動可能	e_{S2}	向きをちつ
e_{22-2-1}	動力をちつ	e_{S2-2}	前後の向き
$e_{22-2-1-3}$	翼をちつ	e_{m1}	粘性性がある
e_{22-2-2}	運動・知覚機能をちつ	---	---

表9 構造辞書

意味成分	動的構造規則	分析法	備考
$C_{01}^t(S)$	EXST ^t (S)	辞書	存在
C_{21}	$t_1 - t_0 > 0$	数値	時間経過
C_{21-1}	$0 < t_1 - t_0 < \Delta t$	"	"
$C_{p1}(S)$	$ R(S) \neq 0$	"	変位
$C_{p1-1}(S)$	$U^0(S) \cdot R(S) > 0$	"	前進
$C_{p1-3}(S)$	$ L_y(S) \neq 0$	"	垂直方向
$C_{p1-2-2}(S)$	$L_y(S) < 0$	"	"
$C_{p2-1}(S, \theta_a)$	$\{ R(S) < R^0(S, \theta_a) \} \cap \{\theta(R(S), R^0(S, \theta_a)) < \Delta\theta\}$	"	Sの θ_a 方向への接近
$C_{d1}(S)$	$\theta(U^0(S), U^1(S)) < \Delta\theta$	"	前後方向に變化なし
$C_{f1}(S)$	FIG ^t (S) = FIG ^t (S)	辞書	同じ姿勢を継続
$C_{f2}^t(S)$	FIG ^t (S) = WALK	"	歩く姿勢
$C_{f2}^t(S, \theta_a)$	TUCH ^t (S, θ_a)	分解	接触
$C_{f3}^t(S, \theta_a)$	IN ^t (S, θ_a)	量子化	内
$C_{f4}^t(S, \theta_a)$	OUT ^t (S, θ_a)	"	外

1. 右肩の添字tは値0,1を取りそれぞれ時刻 t_0, t_1 を表す。空の場合は t_0 と t_1 の両方に關係することを意味する。
2. $R(S)$ はSの変位を示すベクトル。
3. $U^t(S)$ はSの前方向を示す単位ベクトル。
4. $R^t(S, \theta_a)$ はSから θ_a 方向へ向けて引いたベクトル。
5. $\theta(a, b)$ はベクトルa, bのなす角。
6. $\Delta t, \Delta\theta$ はそれぞれ時間, 角度のしきい値。
7. 分析法については4.2.1参照。

表10 意味辞書

番号	事象			構成要素		階層構造			表層		備考
	C	C(S)	C(C)	d _s	d _e	A	B	C	英語	日本語	
1	BT	OE1, IE1, BP1		B	I	2	0	1	1	1	移る
3		BPI-3				4	7	1			ひ
5		BPI-3			I	6	0	3	4	4	下がる
7						8	18	1			ひ
8				L2-2		9	12	7			ひ
11				L2-2-1	I	0	0	8	8	8	飛ぶ(2)
12		BF1		L2-2-1		13	0	7			ひ
17		OF2		L2-2-2	I	0	0	12	13	13	歩く
25			OE1, IE1	B		26	0	1			ひ
36			OR3, IR4	S1	II	37	38	25	27	27	出る(1)
37				L2-2-2	II	0	0	36	28	28	降りる(1)
46			IR2	II	IV	47	57	25	36	36	融れる
50	BT			III	V	51	54	46	39	39	ぶつかる
57	BT	BPI-1, BD1	BP3-1	L2-2, S2-2	III	58	60	25	44	44	行く(1)

1. 事象欄と構成要素欄の記号の意味

例えは「移る」における OE1, IE1, BP1 は表9における C₀₁, C₀₁, C₁₁ にそれぞれ対応している。ただし構成要素の記号には事象の記号の第1番目に相当する数字(文字)が存在しない。

2. 形欄については表1参照のこと。

3. 階層構造欄の A, B, C はその事象概念のそれぞれ「長男」, 「次男」, 「父」に相当する概念の番号を示し, 0 はそれらが存在しないことを示す。

4. 表層欄にはその事象概念の構造, 即ち構文の意味構造に対応する構文構造の番号が格納されている(表11, 14参照)。

5. 各事象概念を構成する意味成分は, その概念の事象欄と構成要素欄に記入されている意味成分に, それより上位の概念の意味成分を付加すれば得られる。例えは「出る(1)」については36番の意味成分に25番と1番のそれを付加すれば, 本文の(2)に示した string を得る。

表15 英語合成辞書-時制情報部

	基本		完了		進行		動詞の活用										
	人	取動詞	SI	S1	数	人	取動詞	S2	S2	数	人	取動詞	S3	S3	数	人	活用形
現在		φ	i	i	単	1	have	iv	i	単	1	am	v	i	単	1,2	原形
過去		φ	ii	i	単	2	has	iv	i	単	2	are	v	i	単	3	3-準理
未来	1	shall	iii	i	単	3	has	iv	i	単	3	is	v	ii			原形
未来	2,3	will	iii	i	複		have	iv	i	複		are	v	ii			過去形
				ii			have	iv	ii	単	1,3	was	v	iv			原形
				iii			have	iv	ii	複	2	were	v	iv			過去分詞
									iii			were	v	v			現在分詞
									iv			be	v	v			
												been	v	v			

1. SI(I=1,2,3): 総制情報, 人: 主語の人数, 数: 主語の単・複, 2. 未来時制としては単純未来のみを考慮, 3. 表全体の見方は 4.3.2 参照

表11 日本語合成辞書-構文情報部

番号	構文構造	格情報		V	備考
		N ₁	N ₂		
1	N ₁ +V	1	-	10	N ₁ が移る
27	N ₁ +N ₂ +V	1	3	31	N ₁ , N ₂ が移る

構文構造欄: 記号の1頁序は語順を示す。

N₁, N₂欄: 格情報としての助詞など(の格納番地)を格納

V欄: 述語としての動詞(の格納番地)を格納(表12参照)。

表12 日本語合成辞書-動詞部

番号	語幹	活用情報			備考
		活用	音便	濁音	
10	UTSUR	1	2	0	移る
31	DE	2	-	0	出る

語幹欄: 語尾を一部含む語幹のあることに注意。

[各数値の示す意味は次の通り]

活用欄: 1=四段, 2=上-段・下-段, ---

音便欄: 1=イ音便, 2=促音便, 3=撥音便

濁音欄: 後に続く語が「ている」などの場合, その語の濁りは1, 濁らなければ0。

表13 日本語合成辞書-活用語尾部

四段 上-段 下-段	未然	連用	終止	連体	仮定	命令
	A	I	U	U	E	E
			RU	RU	RE	R0/Y0

表14 英語合成辞書-構文情報部

番号	構文構造	V	PrP	備考	
1	NP+V	36	-	shift	
27	NP+V+PrP	21	20	15	go out of

V欄: 左側は動詞, 右側は副詞(の格納番地)を格納

PrP欄: 格情報としての前置詞など(の格納番地)を格納

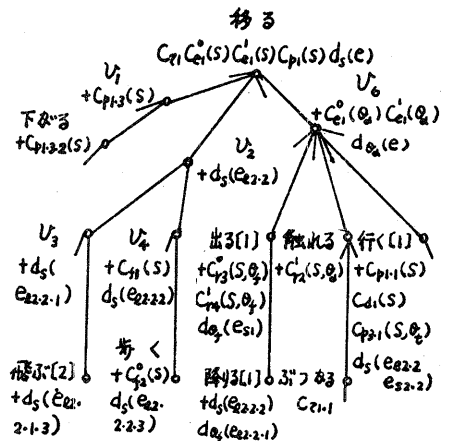


図4 事象概念の階層構造

ある。

3.3 意味辞書⁽⁹⁾

意味辞書は図形だけでなく自然語文を意味分析するのにも用いることのできる辞書で、N.Chomsky の "lexicon"⁽¹¹⁾ と比較される。表9を用いて、例えば「(物か物の内部から)出る」という概念を、次のような意味成分の string で表現しよう。

$$\begin{aligned}
 & [\text{出る} ; C_{e_1}(S_1) C_{e_1}(S_2) C_{e_1}(S_3) C_{e_1}(S_4) C_{e_1}(S_5) \\
 & C_{p_1}(S_1) C_{p_2}(S_2) C_{p_3}(S_3) C_{p_4}(S_4) \cdot d_5(e) \\
 & d_{e_2}(e e_{S_1})] \quad (2)
 \end{aligned}$$

ただし $d_i(e_j)$ は構成要素 i ($= S, O, (\alpha = f, t, \dots)$) の意味成分 e_j (表8参照) をもつことを規定しており、そのような意味成分をもつ構成要素の概念のみが $d_i(e)$ を通じて (2) に結合可能とする。なお「出る」という概念には (2) に示されている以外にも多くの情報が含まれているが、ここでは基本的な意味だけに注目している。

(2) において C に関する部分は事象そのものの意味成分で、lexicon にはこれに相当する情報を見当らない。しなし図形を対象とする場合はこの情報を欠いての解釈は不可能である。また自然語解釈においても文のもつ意味の大半はこの情報が占める、といっても過言ではないことから、この情報は特に重要と考える。

各変位事象概念を (2) のように分析し、その結果を階層構造を考慮しつつ意味辞書に格納した (静的位置関係に関するものも含めて約 100 の変位事象概念から成る。容量は約 3K 語)。表 10 にそれを示しているが、表 10 を図式化したものを図 4 である。

3.4 合成辞書

この辞書は意味解釈の結果を日本語および英語の単文で表現するためのものである。表 11 ~ 15 にその一部分を示しているが、その他日本語としては助動詞・補助動詞部、助詞部、英語としては動詞部、不規則変化部、副詞。

前置詞部などがある (容量は合せて約 3K 語)。時間的に変化する図形を扱っていることから、時制処理を考慮に入れている。なお、日本語はローマ字で出力するものとしている。

4. 動図形の解釈および記述方法

系列的に入力される図形 (一応線図形としており守書きも可) の中の変化している事柄を解釈し、その結果を自然語で記述する方法を示そう。この方法は、換言すると図形を言語へ「翻訳」する方法と言えるが、図形処理の部分に言語的手法を導入している点と、処理過程を一貫して依存構造論の立場に立っている点が特徴である。図 1 と一部重複するが、処理過程を翻訳過程と比較しながら図 5 に示す。

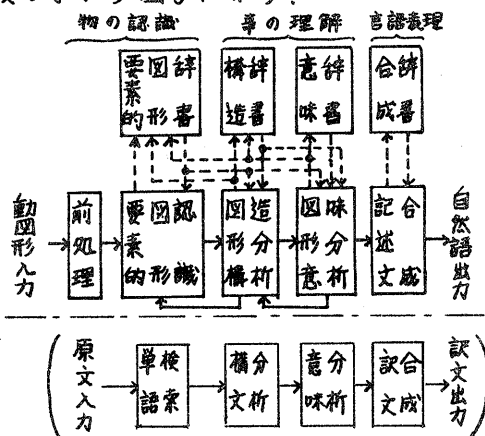


図5 図形解釈および記述過程

4.1 物の認識

4.1.1 前処理⁽⁶⁾

図形認識を困難にしている大きな原因の1つは雑音である。守書き線図形の場合は図6のような、守書きに基づく雑音が多数発生する。

これらを統計的に調査することにより、しきい値以下で屈折しているもの (R) は引き延し、延長しているもの (E)

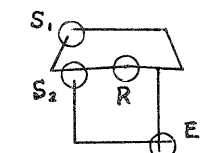


図6 守書き線図形の雑音

)は切断し、かつ分離しているもの(S_1, S_2)は結合させる, という処理を context-free に行う。

4.1.2 要素的図形認識^{(7),(8)}

図7のような入力図形とモデルが与えられた場合, もし $[p_1: e_1]$ が対応するなら $[p_{11}: e_2], [p_{12}: e_3]$ が対応し, またもし $[p_{11}: e_2]$ が対応するなら更に $[p_{111}: e_4], [p_{112}(=p_{12}): e_3]$ が対応する, --- というように, 出発点から節点の隣接関係をたどって波及的に対応関係を求めるという方法がある⁽¹²⁾。しかしこの方法は図6のような雑音に弱いという欠点がある。

本システムでは上記方法を多段式に拡張した。即ち第1の出発点から上記方法で可能な限り対応関係を発展させ, どの方向にも行詰ったら未対応の部分に対して第2の出発点を仮定し, 再び可能な限りの対応づけを試みる, --- ということをして未対応の部分かほほ存在しなくなるまで繰り返す。多段式処理を行うと, 節点数が数十程度の場合でもチェックすべき組合せの数が天文学的數字になるので, この点に特に注意を払っている。

なお上記パターンマッチングは, 節点の隣接関係を依存関係と見なすことにより依存文法で形式化⁽¹³⁾でき, その

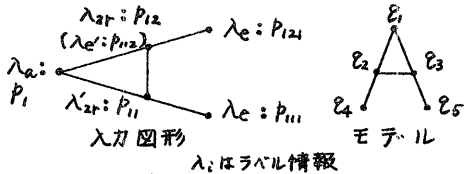


図7 要素的図形のパターンマッチング

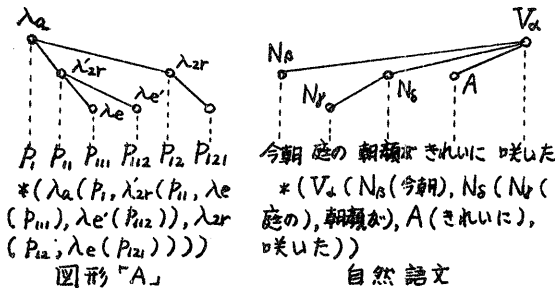


図8 図形および自然語文の依存構造

意味において syntax-directed pattern recognition になっていることを図8に示す。

4.2 事理的理解

4.2.1 図形構造分析⁽⁸⁾

表9の各構造的特徴を分析するための3種類の方法を示す。

(1) 数値計算処理

4.1までに得られた数値情報(時刻 t_0, t_1 や要素的図形の位置座標など)に数値演算を施す。

(2) 量子化処理

画面を量子化してマースール代数的に分析するものである。例えば図9において $IN^2(P_s, P_{0s})$ (表9参照)なる関係が成立しているなどならば, 量子化された領域 R_s, \bar{R}_{0s} の論理積が空などかによって

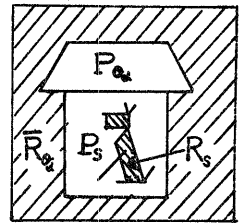


図9 量子化処理

判断する。図9において線図形としての E_s の内部を「塗りつぶす」処理は, フロケラミングにかなり工夫を要する。

(3) 分解処理

この処理は言語処理における“セグメンテーション”に対応する。複数の要素的図形が交差, 接触した複合図形は, 4.1.2で未知図形として残される。これを分解, 認識しなければならないが, そのためのゲシュタルト心理学的手法を用いる。例えば図10のような複合図形とモデルが与えられた場合, 複合図形の取り囲まれた領域に注目し(ゲシュタルト心理学の“取り囲みの法則”参照), それと相似な閉領域を含むモデルを要素的図形辞書から探す。そしてモデルを図形変換(平行

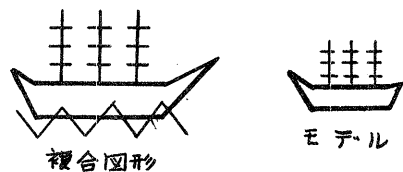


図10 複合図形のパターンマッチング

移動, 拡大・縮小, 回転, 反転) し, 閉領域が一致するように複合同形の上に重ね, 一致した部分を複合同形から取り去る。

実際の処理においては 1) 閉領域の抽出, 2) 図形のひずみ, 3) 分解のあいまいさ, 4) 交差, 接触の判定などに困難を伴う。3) について言うなら, 例えば図6を「家」と見るか台形と長方形の接触と見るか, という問題である。これに対しては言語処理における最大一致法を2次元に拡張した, 「最大一致法」とも呼べる方法で処理することにより, 「家」の方を採用している。

4.2.2 図形意味分析⁽⁹⁾

連続する2枚の図形を1組と見なし, その中の各要素的図形 P_i に構成要素 (dependent) としての役を仮定した上で, それらの間に成立している事象 (governor) を分析する方法を示す。順序を後先するが, 図形構造分析としては複合同形の分解だけが終了しているものとする。

1) P_s, P_{α} の指定

変化に注目していることから変位している要素的図形の1つに S , それ以外の要素的図形の1つに α ($\alpha = f, t, \dots$) の役を割り当て, それぞれを P_s, P_{α} とする。

2) $V_i(S, \alpha)$ のチェック

意味辞書の中から3)で述べる順序に従って1つの事象概念 ($V_i(S, \alpha)$ とする) を選出し, 次の処理を行う。

2.1) $V_i(S, \alpha)$ が $d_s(e_g), d_{\alpha}(e_h)$ に規定している e_g, e_h を, それぞれ P_s, P_{α} が満たすかを要素的図形辞書の意味情報欄を参照してチェックする。 P_s または P_{α} が未知図形の場合は意味情報として“e”(表8参照)を手えられているものとする。

2.2) 2.1) が満たされれば, その $V_i(S, \alpha)$ の各 C_k に対応する特徴を P_s, P_{α} 自身あるいはそれらの間に見い出せるかを, 構造辞書の各サブルー

ーンを呼び出して分析する。

以上において $V_i(S, \alpha)$ が $V(S)$ 形の場合は P_{α} に関する処理を欠く。

3) $V_i(S, \alpha)$ の指定

2.1), 2.2) が共に満たされればその事象は $V_i(S, \alpha)$ の意味を満足する。もし満足しない場合は図4においてそれより下位の概念に関するチェックはもはや不要である。そこで最上位の概念からいわゆる“depth first”と呼ばれる順序で指定して行く。即ちある $V_i(S, \alpha)$ の意味分析に成功すればすぐ下位の「長男」を, 失敗するか長男が存在しなければ $V_i(S, \alpha)$ の「次の弟」を指定し, もし次の弟が存在しなければそれが存在する所まで“back tracking”する。

ここで, 自然語の構文論としての依存構造論が図形の意味解釈にも適用できるのは, 自然語と図形の間で意味構造が共通しており(2.2の(1)参照), その構造が依存構造をもっている, という事実に基づくものであることを強調しておきたい。

4.3 記述文合成

意味分析に成功した各 $V_i(S, \alpha)$ に対し以下の処理を行う。日本語, 英語それぞれで参照する辞書は異なるが, 処理過程の大筋はほぼ同じである。

4.3.1 核文合成

意味辞書の表層欄に手えられている情報を用いて, その $V_i(S, \alpha)$ に対応する構文情報を, 合成辞書-構文情報部から取り出す。そして構文構造の指示する語順に従って, 各構文要素を合成する。即ち構文要素が物を表す名詞の場合は, その単語が要素的図形辞書に手えられているのでそれを取り出し, 助詞(日本語の場合)もしくは冠詞, 前置詞(英語の場合)などを付加する。動詞の場合は合成辞書-動詞部から単語を取り出す。

4.3.2 変形処理

時制処理が中心になっている。英語

を例に取り、表15を参照しながら説明しよう。

主語が三人称、単数で、時制が現在完了とする。まず基本欄において時制が現在であることから助動詞φを取り出し、継続情報S1=iをもって完了欄へ行く。完了欄ではS1=iかつ主語が三人称、単数であることからhasを取り出し、S2=ivをもって進行欄へ行く。進行欄ではこの時制が無指定であることからφを取り出し、S3=S2(=iv)をもって動詞の活用欄へ行く。同欄ではS3=ivから過去分詞形の情報を得る。以上により「φ+has+φ+過去分詞形」なる情報が得られ、これに基づいて4.3.1で得た動詞を変形する。

以上の処理において基本時制は図形の入力された時刻 t_0 、 t_1 と、現在の時刻 t から定まる。しかしそれ以外の完了、進行時制などは更に詳細な時間関係を知る必要があるので、現段階では外部から指定している。

5. 実験

FACOM 230-60を中心に、FACOM 230-45Sを併用して実験を行った。プログラムはフォートランで組んでいるが、ステートメント数は構造辞書のサブルーチンを含めて、約6,000である。図11~16に実験結果の一部を示す。

図11, 12はそれぞれ前処理、要素的図形認識の例である。後者に関しては約150のデータについて実験を行った。認識率は88%で、この割合はプログラムのわずかな修正で95%程度まで改善できる見通しを得ている。

図13~15は動図形の解釈および記述例である。図13において下方への移動に関し、descend(下る)とfall(落ちる)の両方が出力されている。これを識別するには重刀による移動の方向など、かなりきめ細かな

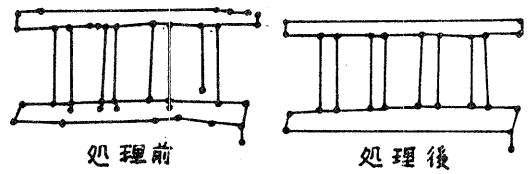
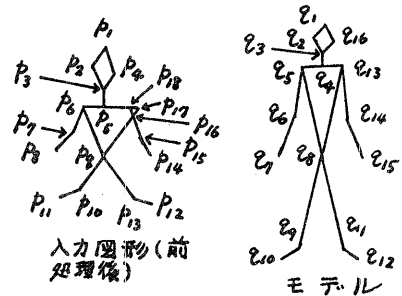
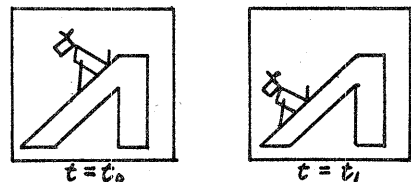


図11 「はしご」の前処理



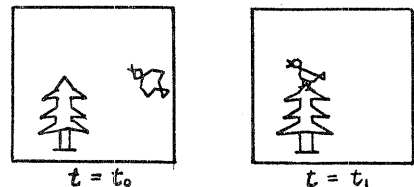
1. 節点の対応
 $(P_2: E_3), (P_2: E_4), (P_5: E_4), (P_4: E_{10}), (P_1: E_1), (P_6: E_5), (P_8: E_{13}), (P_7: E_6), (P_9: E_8), (P_8: E_7) / (P_{10}: E_9), (P_{11}: E_{10}) / (P_{13}: E_{11}), (P_{12}: E_{12}) / (P_{14}: E_{15}), (P_{12}: E_0)$
 画記列の4員等は対応の取れた4員序、"/は段階の区切りを示す。
2. 図形変換情報および類似度
 重心の座標: (253.5, 237.2), 拡大率: 0.738, 回転角: 0.029ラジアン, 反転: なし, 類似度: 0.824 (≧1)

図12 「男(1)」の認識



- 1) THE DOG(1) HAS BEEN SHIFTING.
- 2) THE DOG(1) HAS BEEN DESCENDING.
- 3) THE DOG(1) HAS BEEN FALLING.
- 4) THE DOG(1) HAS BEEN MOVING ON.
- 5) THE DOG(1) HAS BEEN SLIDING.
- 6) THE DOG(1) HAS BEEN SLIPPING DOWN.

図13 動図形の英語記述

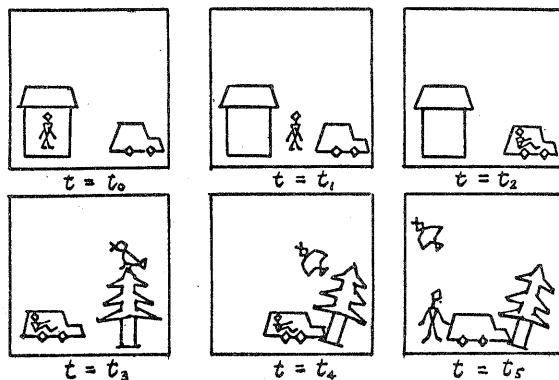


- 1) TORI(1) GA KI NI FURERU
- 2) TORI(1) GA KI NI TSUKU
- 3) TORI(1) GA KI NI KASANARU
- 4) TORI(1) GA KI NI NOSHAKARU(2)
- 5) TORI(1) GA KI NI NORU(2)

図14 動図形の日本語記述

図形分析を必要とする。図14は言換えの実験例で、意味辞番には「(木に)とまる」という概念が格納されていない。しかし各記述文はそれを分析的に言換えたものになっている。記述文4)は意味的にヤ>変則であるが、これは図13のfallのように事象そのものの意味成分に基づくものではなく、要素的図形自身、即ち構成要素の意味成分(大きさ)の不足によるものである。

図15はdiscourseをもった図形系列の記述例である。t=t₀の記述においてgoとcomeの両方が出力されているが、これはどの要素的図形の立場で記述するかを指示すれば、比較的簡



- t=t₀ * THE MAN(4) WAS IN THE HOUSE.

- t=t₁ THE MAN(4) SHIFTED.
THE MAN(4) WALKED.
THE MAN(4) MOVED ON.

* THE MAN(4) WENT OUT OF THE HOUSE.

THE MAN(4) WENT TO THE CAR.
THE MAN(4) CAME TO THE CAR.
THE MAN(4) DREW TOWARDS THE CAR.
THE MAN(4) CLOSED IN ON THE CAR.

- t=t₂ * THE MAN(4) RODE INTO THE CAR.

- t=t₃ * THE CAR RAN.

- t=t₄ * THE CAR COLLIDED AGAINST THE TREE.

- t=t₅ * THE BIRD(1) LEFT THE TREE.
* THE MAN(3) ALIGHTED FROM THE CAR.

1. t=t₀の記述はt=t₀の静止図形に対する記述。
2. t=t₁(i=1)の記述はt=t₀, t₁の図形を1組と見なした記述。
3. *印(かつて)の文を編集すると一つのdiscourseを見い出せる。

図15 Discourseをもった図形の記述

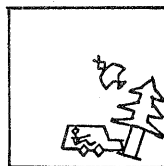
単に識別できる。*印の単文は大体においてdiscourseを把握しているが、機械自身はそれらの単文に注目することはかなり難しく、今後の課題の一つと言える。

図16は静止図形の記述例で、要素的図形間の基本的な位置関係はほぼ記述できている。簡単な句なしは単文程度で表現される静的な位置関係のうち基本的なものについては、現在のプログラムではほぼ処理できることか、言語データの分析によって明らかとなっている。

6. 検討

6.1 知識の系と解釈

知識の系の階層構造と図形および自然語の解釈について考察する。本稿で意図する知識の系を直観的に図示すると、図17のようになる。即ち知識の系は「概念化」も



- 1) OTOKO(3) GA IRU
- 2) OTOKO(3) GA KURUMA NO UCHI NI IRU
- 3) OTOKO(3) GA KURUMA NO ATARI NI IRU
- 4) OTOKO(3) GA KI NO HIDARI NI IRU
- 5) OTOKO(3) GA KI NO YOKO NI IRU
- 6) OTOKO(3) GA KI NO SOBA NI IRU
- 7) OTOKO(3) GA KI NO ATARI NI IRU
- 8) OTOKO(3) GA TORI(1) NO SHITA NI IRU
- 9) KURUMA GA ARU
- 10) KURUMA GA KI NO SOBA NI ARU
- 11) KURUMA GA KI NO ATARI NI ARU
- 12) KURUMA GA KI TO SESSHOKU SHITE IRU
- 13) KURUMA GA TORI(1) NO SHITA NI ARU
- 14) KI GA ARU
- 15) KI GA OTOKO(3) NO MIGI NI ARU
- 16) KI GA KURUMA NO SOTO NI ARU
- 17) KI GA KURUMA TO SESSHOKU SHITE IRU
- 18) TORI(1) GA IRU
- 19) TORI(1) GA OTOKO(3) NO UE NI IRU
- 20) TORI(1) GA KI NO SOBA NI IRU
- 21) TORI(1) GA KI NO ATARI NI IRU
- 22) TORI(1) GA KURUMA NO UE NI IRU
- 23) TORI(1) GA KURUMA NO SOTO NI IRU

図16 静止図形の記述

しくは「抽象化」という線に沿って、以下のような階層構造をもつ。

生データ：外界の事物をそのまま写し取ったようなデータ。イメージ的。

特徴化データ：ある程度特徴抽出が行われたデータ。イメージ的。

成分的概念データ：特徴化データが編集されてできた、概念の成分的特徴記号的データ。

概念データ：成分的概念データから形成された、単純事象概念レベルの概念。語として名称をもつものが多い。

連結概念データ：概念データがある関係をもって連結した、非単純事象概念レベルのデータ。語として名称をもつものもある。

なお、外界情報の認識のための機能する感覚器という立場から表2を検討すると、生データないしは特徴化データとしては視覚に関するものが際立って多いのではないかと考えられる。

このような知識の系に対し、図形も

しくは自然語の解釈とは入力データを上記いずれかのレベルのデータに対応づける操作と考える。その際あるレベルに到達するまでには、2, 3のレベルを経由しなければならないことも起る。途中あるレベルのデータから他のレベルのデータへの対応づけがあった場合は、その段階での「解釈」が行われたものと考えられる。図形(外界的)の場合は通常下から上へ解釈が進んで行くと思われるが、自然語の場合は上下いずれの方向もあり得る。言語分析された結果は、変換されてまず概念データないしは連結概念データと対応づけられよう(例えばR.C. Schank⁽⁴⁾の“conceptual dependency”参照)。しかし、仮に入力文が特定の生データに関するものであるなら、その文をより「深く」解釈するには生データレベルまで下って行くことが必要であろう。

解釈においてもう一つ重要なことは解釈の「場」で、入力データはどのよ

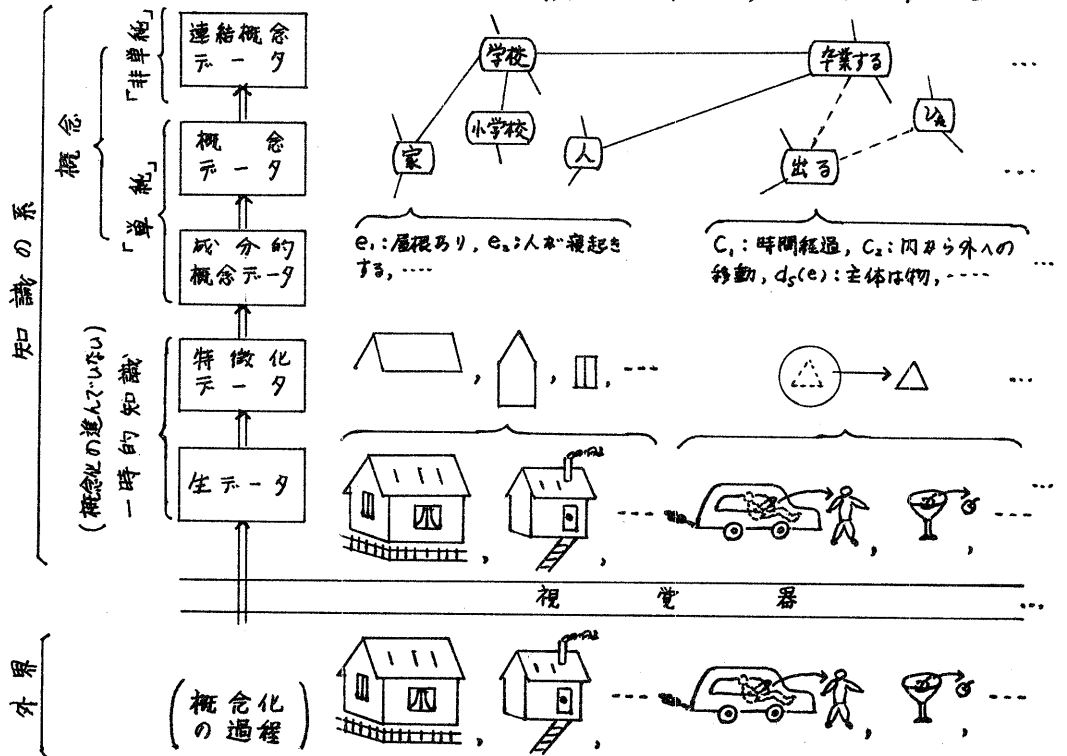


図17 知識の系の階層構造

うな場へ対応つけるかを考慮しておく必要がある。表2, 表5はそれぞれ単純事象概念, 非単純事象概念の場を与えているとも考えられる。

6.2 システムの拡張

知識の系に階層性をもたせることは解釈システムの複雑化を招くという懸念がある。そこで現在のシステムが約1,200の基本事象すべてを処理できるように拡張できた(幾つか困難はある)とすると, その規模はどれほどになるであろうか? 構造分析から意味分析にひけては次のように予測される。

構造辞書: 1,000項目程度

意味辞書: 1,400項目(100K語)程度

table look up 方式を取っているため辞書の拡張が中心となるが, この程度の規模なら格別問題はないであろう。ただ, 要素的図形認識については不定形の物(煙と水)や3次元の物体認識などの問題もあり, その規模を予測することは難しい。

7. むすび

動図形の意味内容を自然語のもつ概念の場で解釈し, その結果を日本語および英語で記述するシステムについて述べた。システムの作成に当っては, 図形や自然語のより高級な解釈には人間の解釈過程に習うことが所要, という認識に立った。本システムは見方を変えれば, 自然語の解釈を知識の系に階層性をもたせ生成論的な立場で議論しているとも考えられ, これからの自然語の意味論もしくは意味処理に, 1つの考え方を示唆しているものと言えよう。

謝辞 日頃御指導賜る九州大学田野常次教授に深じんの謝意を表す。

文献

- (1) R.C. Schank: "Conceptual dependency: A theory of natural language understanding", *Cognitive Psychology*, 3, 4, p.552 (1972).
- (2) R.A. Kirsch: "Computer interpretation of English text and picture patterns", *IEEE Trans.*, EC-13, p.363 (1964).
- (3) 岡田, 田町: "自然語および図形解釈のための単純事象概念の分析および分類", *電子通信学会論文誌(D)*, 56-D, 9, p.523 (昭48-09)
- (4) 岡田, 田町: "自然語および図形解釈のための非単純事象概念の分析および分類", *電子通信学会論文誌(D)*, 56-D, 10, p.591 (昭48-10)
- (5) 岡田, 田町: "自然語の意味情報とその抽出および分類", *電子通信学会論文誌(C)*, 52-C, 10, p.633 (昭44-10).
- (6) 岡田, 田町: "図形記述のための粗雑な線図形の自動編集", *電子通信学会論文誌(A)*, 57-A, 3, p.216 (昭49-03)
- (7) 岡田, 田町: "依存文法による線図形の構文的認識", *九大工学集報*, 49, 2, p.147 (昭51-03).
- (8) 岡田, 田町: "図形の意味解釈とその自然語記述—要素的図形認識と構造分析", *電子通信学会論文誌(D)*, J59-D, 5, p.323 (昭51-05).
- (9) 岡田, 田町: "動図形の意味解釈とその自然語記述—意味分析", *電子通信学会論文誌(D)*, J59-D, 5, p.331 (昭51-05).
- (10) 国立国語研究所(編): "分類語い表", p.362, 秀英出版(昭39).
- (11) N.Chomsky: "Aspects of the theory of syntax", MIT Press, Cambridge (1965).
- (12) T.G. Evans: "A program for the solution of a class of geometric analogy intelligence-test questions", in M.Minsky (ed): "Semantic information processing", p.438, MIT Press (1968).
- (13) D.G. Hays: "Dependency theory: A formalism and some observations", *Language*, 40, 4, p.511 (1964).