



Title	文献情報における階層的な意味構造の分析
Author(s)	桃内, 佳雄; 前田, 隆; 沢村, 一
Citation	北海道大學工學部研究報告, 84, 113-120
Issue Date	1977-07-11
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41414
Type	bulletin (article)
File Information	84_113-120.pdf



[Instructions for use](#)

文献情報における階層的な意味構造の分析

桃内 佳雄* 前田 隆** 沢村 一*

(昭和51年12月27日受理)

An Analysis of Hierarchical Semantic Structures in the Documents

Yoshio MOMOUCHI, Takashi MAEDA and Hajime SAWAMURA

(Received December 27, 1976)

Abstract

This paper describes a method for analyzing the semantic structures of data and applications of it to documents. It is assumed that a datum has several components. The semantic structure is represented by an ordered n-tuple of semantic elements. The semantic element is constructed from a semantic feature of the component and a role which the component plays in the datum.

The method is extended to the data with hierarchical structures.

The following analyses which are important in the Document Retrieval System are considered by means of this method: key word analysis, title analysis, abstract analysis, subject analysis, reference analysis.

1. ま え が き

文献検索において、文献情報の意味構造分析は重要な問題である。文献情報は、形式的には、語、文、文章、内容的には、重要語、標題、抄録、本文、などにより構成される階層的な構造をもつ。従来、主題分析、標題分析などにおいて、重要語とその役割との対のいくつかの組によって文献の主題あるいは標題の意味構造を表現する方法が提案されているが^{1,2)}、これらは階層構造のある特定のレベルでの意味構造分析に限られていて、階層構造を考慮にいれたものではない。

本考察においては、最初に、データの意味構造分析の方法を定式化する。データはいくつかの構成要素から構成されるものとし、データの意味構造は、構成要素の意味特徴と構成要素がデータの中で果たす役割との対の組として表現される。意味特徴は単なる重要語ではなく、構成要素の意味を表現する構造として構成される。次に、この方法を、階層構造をもつデータに対して拡張し、それを文献情報のいくつかのレベルにおけるデータの意味構造分析に適用する。語の意味構造の意味要素による分析、標題分析、文機能分析、主題分析、引用文献分析などについて考察を進める。各レベルで基本的な役割を抽出する。

文献情報は、ほとんど自然言語により記述されている。本考察の方法は、自然言語の意味構造分析の一方法とも考えられ、自然言語理解システムの研究における文の格構造分析³⁾とも深い関

* 情報システム工学講座

** 工業数学講座

連がある。

2. 意味構造分析の方法

n 個の構成要素から構成されるデータ D の意味構造を S により表現する。

$$D = (M_1W_1, M_2W_2, \dots, M_nW_n) \quad (1) \quad \left. \vphantom{D} \right\} \quad \text{[I]}$$

$$S = (C_1F_1, C_2F_2, \dots, C_nF_n) \quad (2)$$

M_iW_i : D の構成要素 ($i=1, 2, \dots, n$)

M_i : 構成要素の識別部

W_i : 構成要素の主部

C_iF_i : S の構成要素 ($i=1, 2, \dots, n$)

C_i : D の構成要素の主部 W_i の役割

F_i : D の構成要素の主部 W_i の意味特徴

C_i はデータ D 中における W_i の役割を表現する記号である。 C_i は M_i から抽出される。 F_i は W_i の固有の意味を表現する構造である。この構造およびそれを構成する要素は与えられているものとする。 F_i は W_i から抽出される。いいかえると、 C_i は D における W_i の文脈の意味を表わし、 F_i は W_i の論理の意味を表わす。

データの集合 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ 、意味構造の集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ とする。 D 上の関係 R_d およびそれと一対一に対応する S 上の関係 R_s を構成することにより、データ間の関連を意味構造にもとづいて考察することができる。役割の集合 \mathcal{C} と、意味特徴を構成する要素の集合 \mathcal{F} について、それらの有限性を仮定すれば、 R_s にもとづくデータ間の関連の処理が容易になる。

[I] を階層的な構造をもつデータに対して拡張する。 D と W の対応、 F と S の対応に着目している。

$$D_j^i = (M_{j1}^i W_{j1}^i, M_{j2}^i W_{j2}^i, \dots, M_{jn_j}^i F_{jn_j}^i) \quad (3) \quad \left. \vphantom{D_j^i} \right\} \quad \text{[II]}$$

$$S_j^i = (C_{j1}^i F_{j1}^i, C_{j2}^i F_{j2}^i, \dots, C_{jn_j}^i F_{jn_j}^i) \quad (4)$$

D_j^i : レベル i の j 番目のデータ

S_j^i : D_j^i の意味構造 $i \geq 1$

$$W_{jk}^i = D_{jk}^{i-1} \quad (5)$$

$$F_{jk}^i = S_{jk}^{i-1} \quad (6)$$

データの階層構造が (5) によって、それに対する意味構造の階層構造が (6) によって導入される。レベル i のデータの意味構造は、そのデータを構成するレベル $i-1$ 以下のデータの意味構造の分析結果を総合した形で構成される。もっとも低いデータのレベルは 1 とする。

$$\begin{aligned} \text{(例)} \quad D_1^3 &= (M_{11}^3(M_{11}^2(M_{11}^1W_{11}^1, M_{12}^1W_{12}^1), M_{12}^2(M_{21}^1W_{21}^1)), \\ &\quad M_{12}^3(M_{21}^2(M_{31}^1W_{31}^1), M_{22}^2(M_{41}^1W_{41}^1, M_{42}^1W_{42}^1, M_{43}^1W_{43}^1))) \\ S_1^3 &= (C_{11}^3(C_{11}^2(C_{11}^1F_{11}^1, C_{12}^1F_{12}^1), C_{12}^2(C_{21}^1F_{21}^1)), \\ &\quad C_{12}^3(C_{21}^2(C_{31}^1F_{31}^1), C_{22}^2(C_{41}^1F_{41}^1, C_{42}^1F_{42}^1, C_{43}^1F_{43}^1))) \end{aligned}$$

[I] においては、 D の意味構造 S は D 内の情報のみから抽出されるものと考えている。しかし、 S に D 外の情報もとりいれなければならない場合もある。[I] を D 外の情報もとりいれる場合に対して拡張する。

$$D = (M_1W_1, M_2W_2, \dots, M_nW_n) \quad (7) \quad \left. \vphantom{D} \right\} \quad \text{[III]}$$

$$S = (C_1F_1, C_2F_2, \dots, C_nF_n, \bar{C}_1\bar{F}_1, \dots, \bar{C}_m\bar{F}_m) \quad (8)$$

$\bar{C}_i\bar{F}_i$ は D 外の情報から抽出される S の構成要素である。いいかえると、 $\bar{C}_i\bar{F}_i$ は状況、知識

などに依存するデータ外文脈からの意味を表わす。[II]についても同様の拡張が可能である。

実際には、データの構造が(1)のように M と W が明らかに分離された形で与えられることは少く、 M が存在しない場合も多い。3. においてそのような場合の具体例について考察する。この方法の計算機による自動化を考えると、 M の抽出は重要な問題である。これは、 C の抽出とも関連しているので、あわせて考察する必要がある。

このデータの意味構造は、リレーショナル・モデルによって表現することができる。 S, C_1, C_2, \dots, C_n を属性とし、その値は S, F_1, F_2, \dots, F_n とする。データによっては値をとらない属性もあるので、それに対しては特定の記号を付値する。リレーシヨンの名前は \bar{D} とする。 \bar{D} は、この場合、意味構造として $S=(C_1F_1, C_2F_2, \dots, C_nF_n)$ をもつデータ D の集合に対する名前である。

(注) 記号の表記で、添字のとりうる値の範囲については、文脈から明らかなきは、示さない。以下同様である。添字を省略した記法も簡略化のため用いる。

3. 文献情報の意味構造分析

2. で構成した方法を実際の文献情報に適用する。文献情報はほとんど自然言語により記述されている。したがって、ここでの意味構造分析は自然言語の意味構造分析の一つの具体例でもある。文献情報は、レベルの異なるいくつかのデータが階層構造を構成しており、[II] がよく適合する。データとしては、低い方のレベルから、語(句)、文、文章[抄録、文献* (引用文献を含まない)、文献(引用文献も含む)]、などがある。各レベルでの意味構造分析の方法として、従来提案されている方法も含めて、下表に示す方法を取りあげ、2. での考え方がどのように適用されるか、それぞれについて考察を進める。考察の対象は英語による文献のみである。

[レベル]	[意味構造分析法]
語(句)	: 語の意味構造の意味要素による分析
文	: 標題分析
文章[抄録]	: 文機能分析
文章[文献*]	: 主題分析
文章[文献]	: 引用文献分析

① 語の意味構造の意味要素による分析

語を W とする。 $D=W, S=F$ で、 M と C は存在しない。語の意味特徴は語の意味要素と、意味要素間の関係を記述する修飾子によって表現する⁹⁾。

$$F=S(W)=[E_1, E_2, \dots, E_n]$$

$$E_i=e_{is}(m_i : e_{i0})$$

e_{is} と e_{i0} は意味要素で、 m_i は修飾子である。 E_i を意味成分とよぶ。 E_i の右辺は、 e_{i0} が m_i の型で e_{is} を修飾していることを表わす。 E_i で修飾部分 ($m_i : e_{i0}$) の存在しないものもある。

意味要素はメタ的な語である基礎語により表現し、修飾子は次のような記号により表現する。

ON: ~に関する, ~上の, (関連)	FOR: ~のため, (目的)
INST: ~で, ~を用いて, (手段, 道具)	IN: ~の中に, (内含)
SOUR: ~から, ~にもとづく, (起点, 基礎)	OBJ: ~を対象として, (対象)
OF: ~の, (属性)	NAME: ~という名の, (名称属性)

各記号の右側の意味は各記号に対応する英単語の意味に、だいたい対応している。

(例) $S(\text{LINGUISTICS}) = [\text{THEORY}(\text{FOR} : \text{LANGUAGE})]$
 $S(\text{PROCEDURE}) = [\text{METHOD}, \text{ORDER}]$
 (THEORY, LANGUAGE, METHOD, ORDER は基礎語)

語の意味は一つとは限らない。文脈によって異なるいくつかの意味をもつ語が存在する。そのような語の意味構造は [III] を用いて次のように表現できるであろう。

$$S(W) = (F, \bar{C}\bar{F})$$

\bar{C} は \bar{F} が文脈に関する記述であることを示す記号で、 \bar{F} は文脈に関する意味特徴である。

上の分析で得られる語の意味構造を用いて、語の間の関係、意味的な関連を分類、整理することができる。次のような R_d と R_s が設定される。 $F(W_1) = [E_1, E_2, \dots, E_n]$, $F(W_2) = [E'_1, E'_2, \dots, E'_m]$ とする。

[R_d] [R_s]

- (1) 同義関係: $\{E_1, E_2, \dots, E_n\} = \{E'_1, E'_2, \dots, E'_m\}$ 。
- (2) 包摂関係: $\{E_1, E_2, \dots, E_n\} \supset \{E'_1, E'_2, \dots, E'_m\}$ ($n > m$)。
 $\forall i(1 \leq i \leq n)(E_i = E'_i, \text{ または } E_i = e_{is}, E'_i = e'_{is}(m_i : e_{i0}))$ ($n = m$)。
- (3) 類義関係: (1), (2) 以外で, $\{E_1, E_2, \dots, E_n\} \cap \{E'_1, E'_2, \dots, E'_m\} \neq \phi$ 。
- (4) 近接関係: $\{E_1, E_2, \dots, E_n\} \cap \{E'_1, E'_2, \dots, E'_m\} = \phi$ であるが, $E_i = e_{is}, E'_j = e'_{is}(m_j : e_{j0})$ となるような E_i, E'_j , または, $E_i = e_{is}(m_i : e_{i0}), E'_j = e'_{is}(m_j : e_{j0})$ となるような E_i, E'_j , または, $E_i = e_{is}(m_i : e_{i0}), E'_j = e_{is}$ となるような E_i, E'_j がすくなくとも一組存在する。

([]: 順序集合, { }: 集合)

このような関係の形式化により語の間の関連ネットワークが構成され、それは文献検索システムにおけるシソーラスとして充分役だつものとなる。また、文レベルでの推論処理のための基礎ともなる⁹⁾。

② 標 題 分 析

文レベルの分析として標題分析について考察する。文献の標題は完全な文ではない。完全な文の分析は、標題分析の考え方を基礎として行うことができるが、多くのより複雑な分析が必要である。

標題は一般に次のような形で与えられる。

$$D' = W_1 P_2 W_2 P_3 W_3 \dots P_n W_n$$

W_i は語 (句) で、 P_i は前置詞である。 D の構成は次のようになる。

$$D = (M_1 W_1, M_2 W_2, \dots, M_n W_n)$$

$$M_1 = \varepsilon, M_2 = P_2, \dots, M_n = P_n$$

この場合、 M_i は前置詞 P_i として抽出することができる。ただし、 M_1 は存在しない。(ε: 空語)

(例) $D' = \text{PROPERTIES OF A NEURON WITH MANY INPUTS}$
 $D = (\text{PROPERTIES, OF A NEURON, WITH MANY INPUTS})$
 $M_1 = \varepsilon, M_2 = \text{OF}, M_3 = \text{WITH}$
 $W_1 = \text{PROPERTIES}, W_2 = \text{A NEURON}, W_3 = \text{MANY INPUTS}$

意味構造における各役割は前置詞の基本的機能にもとづいて抽出される⁹⁾。上の例に対しては次のようになる。

$$S = (C_1 F_1, C_2 F_2, C_3 F_3)$$

$C_1 = M$: 論文の中心事項, $C_2 = P$: 中心事項の属性

$C_3=D$: 中心事項を限定する属性事項

この場合, C_1 に対する M_1 は存在しないので, 標題全体の情報から M を抽出する。ほとんどの場合は, W_1 はその役割として M をもつ。 F_1, F_2, F_3 については, ①で分析された構造を用いるか ([II]), このレベルで分析された固有の構造を用いる ([I])。また, 上記以外の役割として次のようなものが設定されている²⁾。

R: 中心事項の関連, 包括事項, O: 中心事項の対象となる目的事項

C: 論文の考察域に関する条件, 使用機器などの表示事項

前置詞の基本的な機能として以下のような仮定をしている²⁾。

OF: 主要事項とその属性および関連事項を結合する。

FOR: 中心事項とその目的事項を結合する。

ON: 中心事項とその属性事項または条件事項を結合する。

BY: 中心事項とその条件事項を結合する。

IN: 中心事項とその条件事項を結合する。

TO: 中心事項と目的事項または属性事項を結合する。

WITH: 中心事項と限定条件事項を結合する。

完全な文の分析においては, 自然言語そのものの処理として, 名詞の意味構造, 動詞の意味構造, 助動詞, 代名詞, 関係節構文, 従属節構文などについての分析が行われなければならない。格構造分析として, いくつかの研究が自然言語理解システムと関連して進められている³⁾。

③ 文機能分析

抄録は通常その研究の目的, 理由, 行った事柄, 手法, 結論などを要約して述べている文から構成されている。これらの各文は, それぞれ, 抄録を構成する機能的役割をもっており, その機能に応じて分類することができる。実際の抄録について検討した結果, 次のような機能が抽出された。ただし, 一つの抄録がこれらの機能をもった文をすべて含むとは限らない。

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| (1) 背景 (動機, 目的を含む) | (5) 適用例 (実際の例) |
| (2) 主題 (具体的に行った事柄) | (6) 応用分野 (明示されているとき) |
| (3) 手法 (アイデア, 手段を含む) | (7) 考察 (評価, 問題点の指摘など) |
| (4) 結果 (評価は含まない) | (8) 関連 (他の手法, 結果などとの関連) |

抄録は一般に次のような形で与えられる。

$$D' = B_1 B_2 \dots B_n$$

B_i は文である。 B_i で M_i と W_i は明らかに分離していないことが多い。したがって, この場合, D の構成は次のようになる。

$$D = (W_1(M_1), W_2(M_2), \dots, W_n(M_n))$$

$W_i = B_i$ で, M_i はかならずしも存在するとは限らない。

$W_i(B_i)$ から M_i を抽出する一つの方法として, B_i 中の特定の語に着目する方法が考えられる。120編の文献について, 主文に現われる動詞と文の役割と関連すると考えられる名詞について次のような調査結果が得られている。

[文献数: 120] [文数: 550] [延動詞数: 590] [異なり動詞数: 167]

[主な動詞 (出現度数): be (83), describe (64), discuss (46), present (35),
use (19), give (14)]

(ただし, 過去形, 未来形, 進行形, 原形はすべて区別していない。)

<p>各機能に対する文の数, その機能をもつ文を含む文献数:</p> <p>背景: 56, 31. 主題: 305, 120. 手法: 39, 30. 結果: 26, 22. 適用例: 17, 15.</p> <p>応用: 14, 14. 考察: 80, 49. 関連: 13, 9.</p> <p>主題という機能をもつ文に出現した主な動詞 (出現した文献数):</p> <p>describe (64), present (35), discuss (26)</p> <p>主題という機能をもつ文に出現した主な名詞 (出現した文献数):</p> <p>paper (47), we (7), program (6)</p>	}
--	---

上の調査から, 主題という機能のみについてはあるが, describe と paper という語に注目することによって, ある程度の文の機能の抽出が可能となることが判る。現在は, 人間が各文の機能の抽出を行っている。機能が抽出されると, 抄録の意味構造 S は次のように与えられる。

$$S = (C_1F_1, C_2F_2, \dots, C_nF_n)$$

C_i は上記 (1)~(8) のどれかの機能 (役割) を表わす記号である。 F_i は B_i の意味特徴である。文レベルで分析された構造を用いるか ([II]), このレベルで分析される固有の構造を用いる ([I])。

(例) $S = (\text{“背景”} \cdot \{\text{Breadth-First Search, Problem-Solvers, Heuristic Search}\},$
 $\text{“主題”} \cdot \{\text{Breadth-First Search}\},$
 $\text{“関連”} \cdot \{S \ \& \ R, \text{“PRINCIPIA”}, \text{Logic Theorist}\},$
 $\text{“結果”} \cdot \{\text{Search Space}\}, \text{“結果”} \cdot \{\text{“PRINCIPIA”}\},$
 $\text{“主題”} \cdot \{S \ \& \ M, \text{Breadth-First Search, Search Spaces}\},$
 $\text{“関連”} \cdot \{S \ \& \ M, \text{Heuristic Theorem Prover}\})$

抄録の文数 7, 各文の意味特徴はその文に含まれている重要語の集合である。

文機能分析として, 研究者の研究の発展過程と関連させた分析も行われている^{3,4)}。

④ 主 題 分 析

文献は一般に次のような構成要素をもつ。

標題 (W_1), 著者名 (W_2), 書誌的事項 (W_3), 抄録 (W_4), 本文 (W_5), 引用文献 (W_6)
 D の構成は次のようになる。

$$D = (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6)$$

それぞれの要素の名前を役割として次のような意味構造を構成することができる。

$$S = (C_1F_1, C_2F_2, C_3F_3, C_4F_4, C_5F_5, C_6F_6)$$

F_i は W_i の意味特徴である。標題, 抄録の意味特徴については ②, ③ で考察した。本文の意味特徴は, 本文の構成としていろいろな型のものが考えられるが, 基本的には, 文レベルの分析を行わなければならないであろう。著者名, 書誌的事項については, そのままの形で意味特徴を構成する。引用文献の意味構造分析は ⑤ で行う。

上のような分析がもっとも基本的な文献の意味構造分析である。主題分析は, これとは異なり, 標題と抄録と本文とを合わせたものから, それら全体の意味構造を抽出しようとするものである¹⁾。この場合, 明らかに, M と W の分離は不可能で, 全体の構成から直接意味構造を抽出しなければならない。たとえば, 役割として次のようなものが設定される。

K: 関連, T: 主題, S: 原因, R: 結果, C: 条件, 状況

(例) いま, ある文献の標題, 抄録, 本文の内容が次のようであったとする。(簡単のため, 要約して示す)

1) スイッチの信頼度向上の競争が激しい。

- 2) 信頼度の測定条件についての考察。
 3) アメリカの主要メーカーの製品であるスイッチとその信頼度の記述。
 次のような意味構造が構成される。

$$S=(TF_1, KF_2, KF_3, CF_4)$$

$$F_1=\text{SWITCHES}, F_2=\text{RELIABILITY}, F_3=\text{PERFORMANCE}, F_4=\text{USA}$$

F_1, F_2, F_3, F_4 に対しては語そのものを与えている。

この方法による場合、この主題分析による意味構造に、著者名、書誌的事項、引用文献に関する意味構造を加えることにより文献の意味構造が構成される。

$$S=(C_1F_1, C_2F_2, C_3F_3, C_4F_4)$$

$$C_1=\text{“主題”}, C_2=\text{“著者名”}, C_3=\text{“書誌的事項”}, C_4=\text{“引用文献”}$$

F_1 =主題分析による意味構造, F_2 =著者名, F_3 =書誌的事項, F_4 =引用文献分析による意味構造

⑤ 引用文献分析

引用文献からなるデータの構成は次のようになる。

$$D=(W_1, W_2, \dots, W_n)$$

W_i は引用文献である。 M_i は明らかには示されない。意味構造は次のように構成される。

$$S=(C_1F_1, C_2F_2, \dots, C_nF_n)$$

C_i は各文献の役割, F_i は各文献の意味特徴である。 F_i は標題, 著者名, 書誌的事項にもとづいて分析されることが多い。役割として次のようなものが抽出される。

- K: 基礎 (主文献の基礎となる文献の役割)
- C: 関連 (主文献と同じ主題について考察している文献の役割)
- D: 道具 (主文献にとって道具となっている文献の役割)
- A: 応用 (主文献の結果などを応用している文献の役割)

(例) 標題: Inference and Paraphrase by Computer

著者名: R. C. Schank, N. M. Goldman, C. J. Rieger III, C. K. Riesbeck

書誌的事項: JACM, 22, 3, 1975

引用文献数: 8 (各引用文献は標題, 著者名, 書誌的事項から構成されている)

$$S=(KF_1, KF_2, KF_3, KF_4, KF_5, KF_6, CF_7, CF_8)$$

F_i は各文献の意味特徴で、たとえば、 F_1 と F_8 については次のように分析される。

$$F_1=(H(M(\text{COMPUTER GENERATION}), O(\text{NATURAL LANGUAGE}),$$

$$D(\text{A DEEP CONCEPTUAL BASE}), A(\text{N. GOLDMAN}),$$

$$B(\text{PH. D. THESIS-STANFORD UNIV.-1974}))。$$

$$F_8=(H(M(\text{TRANSITION NETWORK GRAMMARS}),$$

$$D(\text{NATURAL LANGUAGE ANALYSIS}),$$

$$A(\text{W. A. WOODS}), B(\text{CACM-13-10-1970}))。$$

H=“標題”, A=“著者名”, B=“書誌的事項”。

引用文献 1, 8 の原情報は次のようである。

1. GOLDMAN, N. Computer generation of natural language from a deep conceptual base. Ph. D. thesis, Stanford U., Stanford, Calif., 1974.
2. WOODS, W. A. Transition network grammars for natural language analysis. Comm. ACM 13, 10 (Oct. 1970), 591-606.

4. あとがき

データの意味構造をデータの構成要素の意味特徴と役割にもとづいて構成する方法を提案し、それを階層的な構造をもつデータの分析に対して拡張した。この方法によって、階層構造をもつ文献情報の意味構造分析を行い、いくつかの異なるレベルのデータにおいてそれぞれ特有の役割が抽出されることを明らかにした。データの意味構造のより良い表現を得るためには、適切な役割を設定するための努力が続けられなければならない。

意味構造分析を実際の文献検索システムに応用するときには、分析の具体的な実行は現在のところほとんど人間が行っている。計算機による自動化の可能性についてのより多くの考察も必要である。

本考察における考え方の一部をとりいれた文献検索システムの具体的構成については、文献10)において考察される。

謝 辞

御助言いただいた精密工学科自動制御工学講座三浦良一先生に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 中村幸雄: 情報処理 I, 共立出版 (1972).
- 2) 安部・豊田・田中: 情報処理, 11, 12 (1972).
- 3) 北川・島内 (編): 巨大学術情報システム, 東大出版会 (1975).
- 4) 田中 一: 数理科学, 162 (1976).
- 5) B. Bruce: Artificial Intelligence, 9, 4 (1975).
- 6) E. F. Codd: CACM, 13, 6 (1970).
- 7) 前田・桃内・沢村: 電気四学連道大会講演論文集 (1975).
- 8) 桃内・前田・沢村: 電気四学連道大会講演論文集 (1975).
- 9) 前田・桃内・沢村: 情報処理学会全国大会講演論文集 (1975).
- 10) 前田・桃内・沢村: 北大工学部研究報告, 84 (1977).