

トポロジカル情報の処理アルゴリズムに関する研究のための環境の開発

河嶋一郎, 鈴木結子, 西本克典, 沖田昌也,
桑原潤子, 富樫正明, 萩原洋一, 中森眞理雄

東京農工大学 工学部 数理情報工学科

グラフを表現する標準的なデータ構造, グラフの変形や探索など基本的処理をするコマンド, グラフ理論の代表的な問題のプログラム, などを提供し, グラフを扱うプログラムの開発を支援してくれる環境を構築することを目標として, プロトタイプを試作した. これは, グラフエディタを中心に, グラフ操作のためのコマンド群, グラフ・ネットワーク問題解決ツール群, 広範囲のアプリケーションツール群の殻を, この順にかぶせた構成となっている. 本研究は約10年のプロジェクトの第一歩である.

Development of Research Environment for Topological Algorithms

Ichiro Kawashima, Yuko Suzuki, Katsunori Nishimoto, Masaya Okita,
Junko Kuwabara, Masaaki Togashi, Yoichi Hagiwara, and Mario Nakamori

Department of Information Science,
Faculty of Technology
Tokyo University of Agriculture and Technology

2-24-16 Nakawachi, Koganei, Tokyo 184, Japan

A tool set has been developed which provides standard data structure for graphs, basic commands of modifying and searching graphs, algorithms of typical problems in graph theory and thus supports us coding programs that treat graphs. This set consists of several shells such as the graph editor shell, the basic command shell, the graph-problem solving tool shell, and application shells. This is a prototype of the total system of graph processing in our ten years' project.

1. はじめに

理工学の分野には、グラフの形で記述すると見通しが良くなる問題が多く、グラフ理論は理工学の分野で有用な手法である。

グラフ問題のアルゴリズムに関する研究の近年の進歩は著しく、現実の問題を解くプログラムを作製するときに、それらの進歩を反映させることは、能率のよいプログラムを作る上で重要である。

しかし、グラフ理論の初心者にとって、最近のグラフアルゴリズムをコーディングすることはかなりの困難を伴う。

グラフを計算機の記憶装置の中に効率よく表現するには、複雑なデータ構造を使わなければならない。そのようなデータ構造を使いこなすには相当のプログラミングテクニックが必要である。

また、グラフアルゴリズムは、ある意味で限定された形のグラフ（例えば連結グラフ）に関して述べられている場合が多いので、まず前処理によってグラフをそのような形に帰着させなければならない。したがって、前処理のためにグラフに関する基本的処理技法のプログラムの蓄積がないとグラフを扱うプログラムを開発することは難しい。

グラフの処理に専用のプログラム言語を開発し、グラフ理論の問題のアルゴリズムの記述に利用しようとする試みは、これまでもいくつかあった⁽¹⁻⁷⁾。しかし、純然たる言語理論的興味から出発したものが多く、実用的動機から出発したものやアルゴリズムの手間を重視したものは少ない。グラフ理論の問題を解くのに必要な機能が十分には備わっておらず、アルゴリズムの記述すら満足にはできないもの^(1,2)、アルゴリズムの直観的な記述を追求するあまり、記憶場所の管理について処理系に著しい負担を強いるもの⁽³⁾、などもある。

筆者の一人は、近年のアルゴリズム論の進歩に追従でき、実用に耐える言語としてMAGNET 2⁽⁴⁾を開発したが、それは対話型処理に適していない。そこで、筆者らのProject Gグループは、今日の計算機環境のもとでグラフを扱

うプログラムの作製を支援するシステムを開発することにした。

グラフを表現するデータ構造、グラフの変形や探索など基本的処理をするコマンド、グラフ理論の代表的な問題のプログラム、などを提供し、グラフを扱うプログラムの開発を支援してくれる環境を構築することが、本研究の目的である。以下に、本システムの主な機能を述べる。

2. システムの全体構成

本システムは、グラフエディタを中心に、グラフ操作のためのコマンド群、グラフ・ネットワーク問題解決ツール群、広範囲のアプリケーションツール群の殻を、この順にかぶせた構成となっている（図1）。データ構造はすべてのモジュール（コマンド、ツール、等）に共通とし、どのモジュールから出力されるグラフも他のモジュールの入力となり得る。モジュール間の関係を図2に示す。

3. データ構造

グラフの基本的構成要素である点、枝、それら間の接続関係、それらの描画に関する情報を記述するデータ構造は図3、4の通りである。各枝に始点と終点を、各点に接続する枝のリストを対応づける。枝は向きをもつことができる（図5）。描画のために、点に座標を、枝に屈曲点のリストを、点/枝に色を、点に図形データのリスト（点の“形状”については6参照）を対応づける。ネットワークフロー問題等への応用のために、点/枝に数値や文字列の付加情報を対応づけ

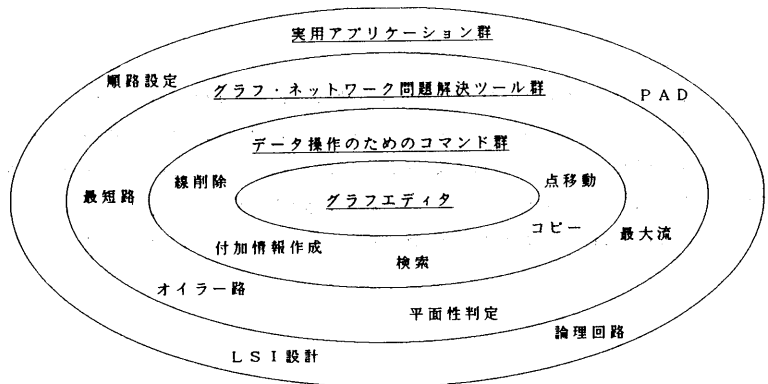


図1 システム全体の構成

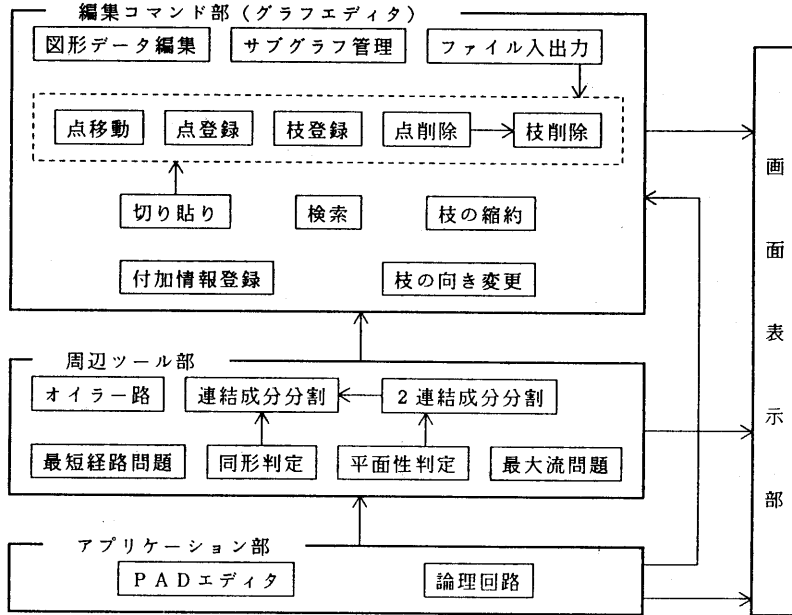


図2 モジュール関連図 (図中の矢印は関数呼出しを表す。)

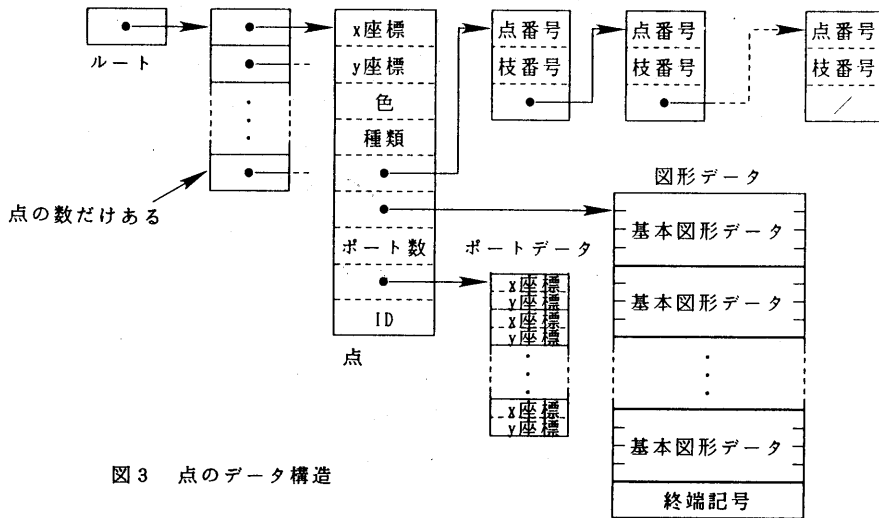


図3 点のデータ構造

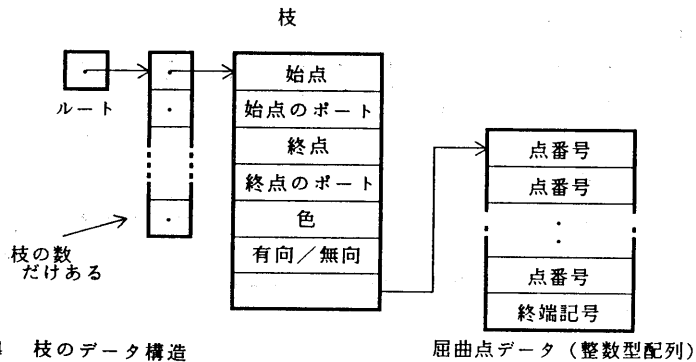


図4 枝のデータ構造

屈曲点データ (整数型配列)

ることができる。これらのデータは、個々のグラフごとに作られる。

部分グラフの扱いのために、各グラフに複数のサブグラフを作ることができる(図6)。

4. 入出力, 描画, 編集機能

グラフの入力は、マウスの移動により一筆書きの要

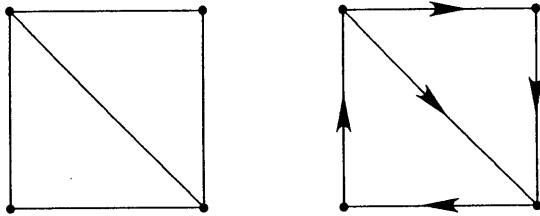


図5 無向グラフと有向グラフ

領でできる。入力には、連続入力モード(図7)、屈曲枝入力モード(図8)、孤立点入力モードがある。

グラフの描画のために想定されている平面は、理論上はx, y座標がともに $-2^{31}+1 \sim 2^{31}-1$ の範囲であるが、現実にはOSの制約から0~2500となっている(画面に一度に表示できる領域はもっと狭い。図9参照)。

グラフの編集のために、最低レベルの基本コマンドとして、点の移動、点の削除、枝の削除(開放, 縮約)、枝の向きの変更がある。より高度な拡張コマンドとして、切り貼り(図10)、複製(図11)検索(グラフの検索は、それ自体困難な問題であるが、小さなグラフを念頭に、乱暴的な方法で実現した)がある。また、サブグラフ、図形データ、付加情報の登録や、データをファイルに格納したりファイルから読みだしたりする機能もある。

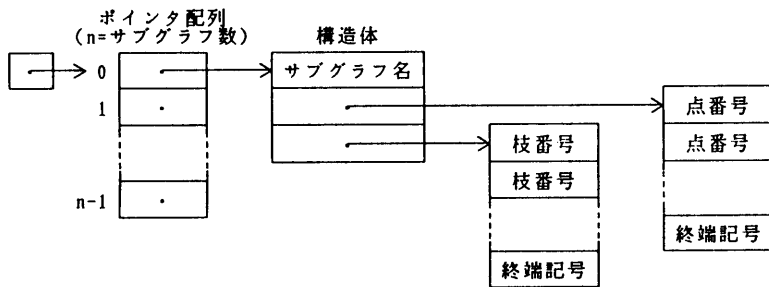


図6 サブグラフのデータ構造

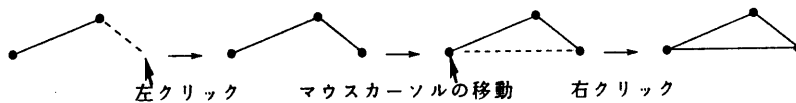


図7 連続入力モード

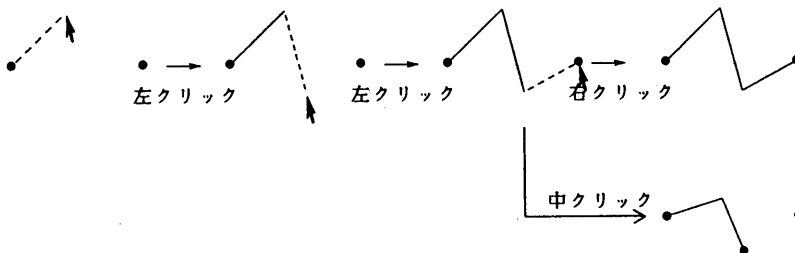


図8 屈曲枝入力モード

5. 周辺ツール群

グラフ理論やネットワークフロー理論における代表的問題を解くツールを用意した。これらのツールを組み合わせてグラフ理論の種々のアルゴリズムが作られるわけではないが、前処理として有用と思われる。

連結成分への分解

2 連結成分への分解

オイラー路を求めること

最短路の計算

最大流の計算

平面性の判定

同型性の判定

なお、同型性の判定も困難な問題であるが、小さなグラフを念頭に、風漬し的な方法で実現した。

6. 図形情報の扱い

本システムの特徴のひとつに、グラフの点が“形状”をもつことができることがある。このことを利用して、PADや論理回路を描く機能を本システムに組み入れた。

6.1 PAD

PADはアルゴリズムやデータ構造を記述する図である。構造的に記述することができる点で流れ図より優れている。PADの基本要素と描き方の規則を図12, 13に示す。PADを木として捉え、点に箱を対応づけることにより、本システムで取り扱うことができる。PADの木を深さ優先探索するとプログラムのソースリストが自然に導かれる(図14)。

6.2 論理回路

論理回路も、PADと同様の方法で、本システムで取り扱うことができる(図15, 16)。

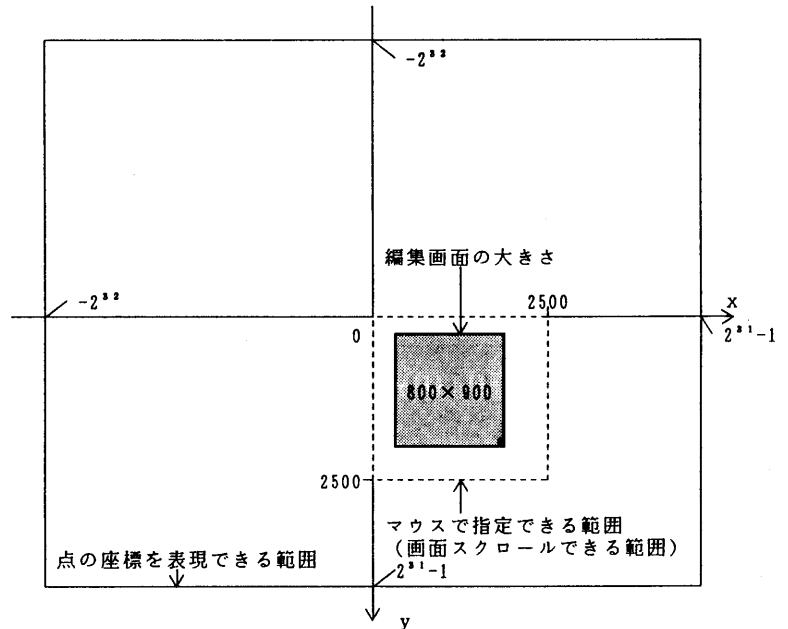


図9 編集画面の座標系(ただし、図は図中の数値の縮尺通りではない)

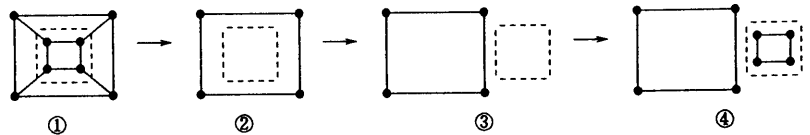


図10 グラフの一部の切り貼り

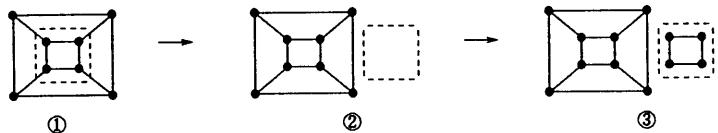


図11 グラフの一部の複写

7. ユーザインタフェース

入力は(数値や文字の入力を除いて)マウスによることにする。ディスプレイの画面は、あるゆるコマンド、ツールを通じて、図17の形式とする。

周辺ツールは解の表示方法を複数通り用意しており、ユーザは一つを選択することができる(例えば、最短路を求めるツールでは、単に2点間の最短距離を表示するモード、2点間の最短経路を表示するモード、最短経路を探索する過程を表示するモードがある)。

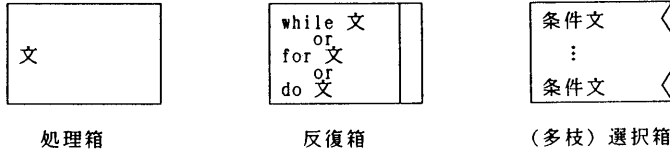


図12 各箱の図式

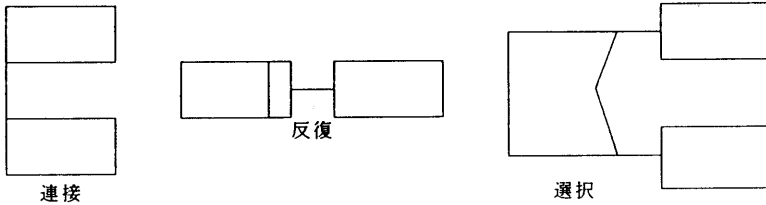


図13 プログラムの3基本型

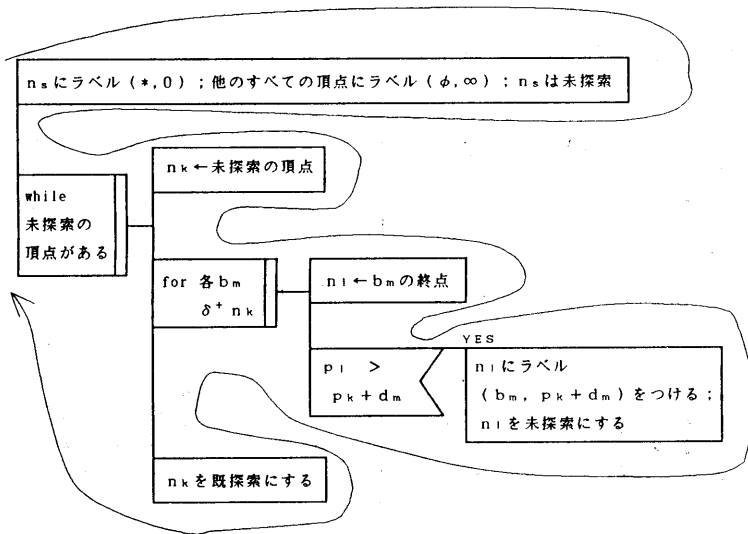


図14 ツリーウォークの例

8. インプリメントの経験

本システムをワークステーション sun3/60 (sun OS R 4.0) 上に作製した。ウィンドーマネージャとグラフィックライブラリは SUNVIEW を用いた。

インプリメント作業には、大学院生(修士課程)1名、4年生4名があつた。設計には5か月、コーディングには2か月を要した。プログラムはCで書かれ約24000行、ロードモジュールの大きさは約570キロバイトである。

おわりに

ワークステーション上に、グラフエディタ、グラフ操作のためのコマンド群、周辺ツール群、広範囲のアプリケーションツール群から成るシステムを試作した。基本的なツール群の周りに幾重にもツール群の殻をかぶせてシステムを成長させていく方法の有効さが確認された。本研究は約10年を予定しており、端緒を開いたばかりである。作製さ

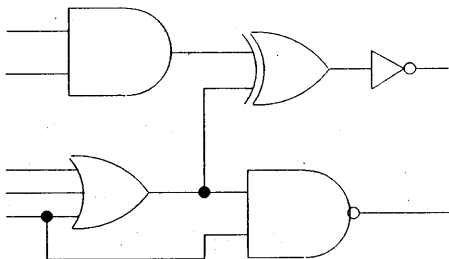


図15 論理回路の例

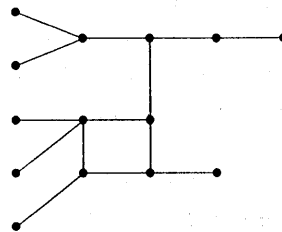


図16 論理回路に対応するグラフ

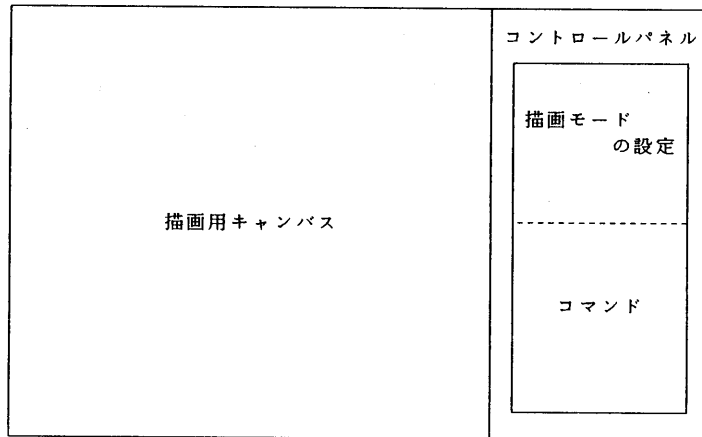


図 1 7 画面の仕様

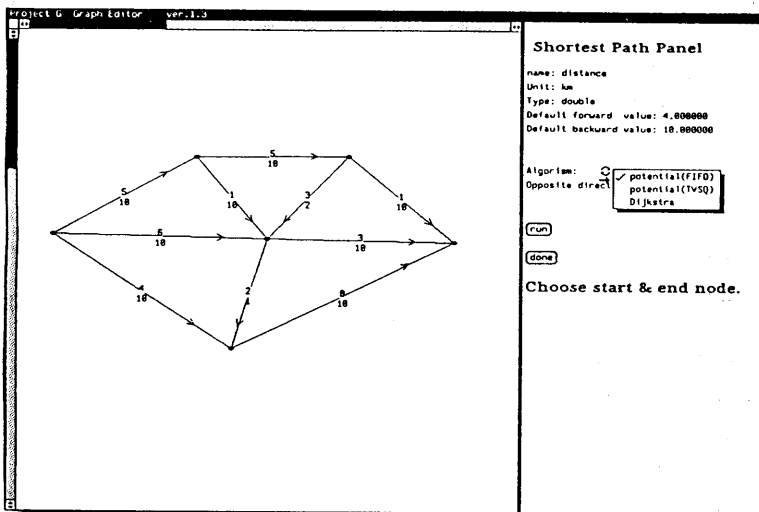
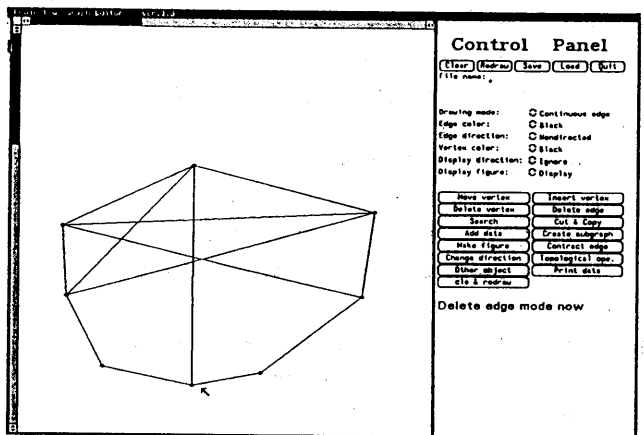


図 1 8 画面例



れたモジュール群は、(グラフエディタを除くと) グラフ理論の問題を解くアルゴリズムをコーディングするのに直接の役に立つとは言えない。むしろ、本システムを開発・充実・拡張するためのシステム作製用という性格が強い。今後は、グラフ処理向けプログラム言語を開発すること、複数のデータ構造を導入すること、代表的なアルゴリズムをデータベースに蓄積し検索要求に応じられるようにすること、などにより、グラフ理論やグラフアルゴリズムの研究の助けとなる環境を作ることを計画している。

謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な助言を賜った東京農工大学植村俊亮教授、および同大学学生(研究生)吉田勝人、工藤礼子、久保田和己、菅原紅美、宮尾公崇、荒井誠一郎、薛潤生、陳思悦、エリオット・テンダイ・マシュンバ、小坂部好司の諸氏に深謝申し上げます。本研究は平成元年度文部省科学研究費補助金一般研究(C)01550280の援助を受けた。

参考文献

- (1) S. Crespi-Reghezzi and R. Morpurgo, "A language for treating graphs," CACM 13, 319-323 (1970).
- (2) T. W. Pratt and D. P. Friedman, "A language extension for graph processing and its formal semantics," CACM 14, 460-467 (1971).
- (3) W. C. Rheinboldt, V. R. Basili, and C. K. Mesztesyi, "On a programming language for graph algorithms," BIT 12, 220-241 (1972).
- (4) C. A. King, "A graph-theoretic programming language," in (5), 63-75.
- (5) R. C. Read, Graph Theory and Computing, Academic Press, 1970.
- (6) 滝内, 高見沢, 西関, 斉藤, "グラフ処理言語 GRAMP", 信学技報, CST76-117 (1976).
- (7) 杉藤, 真野, 鳥居, "グラフ処理用2次元言語 GMLとその機能", 信学論(D), 59-D, 597-604 (1976).
- (8) 中森, 伊理, "グラフおよびネットワーク処理用言語 MAGNET 2", 信学技報, CST77-5 (1977).
- (9) 河嶋, "トポロジカル情報のための研究環境の開発", 東京農工大学大学院工学研究科修士論文

(1990-3).

- (10) 西本, "トポロジカル情報のための研究環境における概念の工学的諸問題への応用", 東京農工大学工学部数理情報工学科卒業論文(1990-3).
- (11) 沖田, "トポロジカル情報のための研究環境の開発におけるツール群の整備", 同上(1990-3).
- (12) 桑原, "トポロジカル情報のための研究環境の開発における平面性判定ツールの実現", 同上(1990-3).
- (13) 富樫, "トポロジカル情報のための研究環境の開発におけるグラフエディタの整備", 同上(1990-3).

