

日情協 48-7

# オンライン最適ネットワーク・モデル

( 概要計画編 )

昭和49年9月

財団法人 日本情報開発協会

オンライン利用促進委員会



この資料は昭和48年度における、日本小型自動車振興会から小型自動車競走法に基づく小型自動車等、機械工業振興資金の交付を受けて作成したものであります。

財団法人 日本情報開発協会

本報告書は、国際電信電話株式会社・研究所・情報処理研究室  
長・井上誠一氏に委嘱して作成したものである。

また、本報告書作成にあたり、日本電信電話公社・施設局・審  
査課長・近藤光洋氏、近畿日本ツーリスト株式会社・コンピュー  
タ部長・野垣内章氏、慶応大学・工学部・講師、日本IBMデー  
タ通信企画担当マネージャー・小笠原謙蔵氏、その他の方々から  
貴重なお助言とご協力を頂いた。

記して、感謝の意を表する。

1948

1949

1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

1962

1963

1964

# 目 次

	P
1. 緒 言 .....	1
2. 回線網最適設計問題の概要 .....	3
2.1 問題の所在 .....	3
2.2 対象となるオンラインシステム .....	5
2.3 回線網の経済性設計 .....	10
2.3.1 設計に必要なデータの立案 .....	10
2.3.2 設計の問題の概要 .....	16
3. 回線網経済性設計の手法 .....	21
3.1 公衆通信回線利用の場合 .....	21
3.2 特定通信回線（専用線）利用の場合 .....	27
3.2.1 概 要 .....	27
3.2.2 設計データ .....	29
3.2.3 設計手順 .....	33
3.2.4 直通回線網の設計 .....	35
3.2.5 集線方式における最適設計手法 .....	38
3.2.6 マルチプレクサ利用における最適設計手法 .....	42
3.2.7 分岐方式における最適設計手法 .....	44
4. 設計上の具体的問題 .....	51
5. 結 言 .....	57



# オンラインシステムにおける通信回線 網の経済的構成のための手法について

## 1. 緒 言

わが国におけるデータ通信システムは、電子計算機の普及、データ処理、データ伝送の技術の進歩、社会的ニーズの増大に伴なって急激に進展しつつある。また昭和46年、公衆電気通信法の一部改正により、特定通信回線および公衆通信回線の使用に関する制度が新たに設けられ、通信回線利用に対する便宜が大幅に増大したことから、民間企業等におけるデータ通信の導入は今後急速に増大することが期待されるようになった。

このように急速に発展しつつあるデータ通信システムの利用価値を高め、今後の進展に資するためには、通信回線利用制度、および技術の周知、理解を深める努力を払うことは勿論、効率的なシステムの構成を目標とした設計手法を可能な限り開発しておくことが重要な課題である。特に経済的な回線網の設計ならびに、データ処理センターの最適位置の設定等の設計問題が重要である。これらの問題は、システム導入時に設定される、業務上、運用上、ならびに技術的な諸条件の拘束のもとで、与えられたデータ・トラフィックを捌く最も経済的な（システムコスト、特に通信コストを最小にする）ネットワークを設計する問題であるが、これを人手で解くよりも、計算機シミュレーションにより行う方が能率的であり、特に大規模ネットワークの設計には、計算機の利用は不可欠である。

このような回線網最適設計プログラムを、一般的なデータ通信システムの設計に利用できる形で開発するならば、システム導入計画を持つ企業等に対する有用なコンサルティングの手段として活用することができる。

本報告は、上記の主旨を目標とした回線網最適設計のための計算機プログラム開発の第一ステップとして、設計の前提条件、設計に必要な諸項目、具体的



## 2. 回線網最適設計問題の概要

### — 対象となるシステム，設計項目，諸条件 —

#### 2.1 問題の所在

元来、オンラインシステム等のデータ通信システム導入の必要性は、各地域で発生するデータの取扱いを、より効率的に、より迅速に、より確実に捌くことへの要求として生ずるものである。この必要性が明確に打出された後、目的に応じたオンラインシステムの設計に取りかかることになるが、設計段階では、得られたシステムのパフォーマンス、有効性、ならびに経済性を評価しながら、最適のシステム構成を求めて決定するのが最も合理的な進め方である。また、既に現在稼動しているデータ通信システムがあつて、通信需要や取扱地域の増への対処、性能の増強、取扱業務の拡大などのため、システムの拡張を計画する場合も同様の設計思想を用いることが望ましい。

システム設計に際しての評価を一応上記の

- Ⅰ) パフォーマンス、Ⅱ) 有効性、Ⅲ) 経済性

の三つに分けて考えるものとするれば、夫らの評価の対象となる設計項目を大略次のように分けて設計を進めることができる。

#### 1) パフォーマンスの対象となる設計

主要な技術的問題の設計が取上げられる。すなわち、中央処理システムの規模、性能、通信回線の種類と規模、端末機器、コンセントレータ等の種類と性能、主要なソフトウェアの性能等に関する設計がこれに相当する。

#### 2) 有効性の対象となる設計

主として運用上の諸問題にからむ設計が取上げられる。例えばセンターの候補地、運用面からみた処理モード、端末装置の機能、処理プログラムの内容、各種のオプション機能、データ入出力形式、帳票形式、人間工学上の諸問題、具体的な運用形態と体制等の検討がこれに相当する。

### 3) 経済性の対象となる設計

システムの経済的な構成、運用のための種々の検討を行う。中央処理システムの機種を選定、買取りとレンタルの経済比較、センター位置およびセンター数を含めた回線網の経済的構成、その他運用、体制面の検討などがこれに相当する。

上に述べた3種類のシステム設計分野は、互に関連があると同時に、設計手法の点で性格を異にする。1)と2)は従来から行われている技術、運用面のシステム設計に相当し、比較的単純なプロセスを経て望ましい結論が導かれるのに対し、3)のプロセスは、1)と2)で得られた大略の結論を前提とし、その条件のもとで経済性設計を行うものであり、特に、回線網の経済的構成を求める場合には、多くの試行錯誤を過て、はじめて最適な結論が導き出せる性格を有する。しかも、回線開放に伴う回線利用の便宜が増大するにつれて、効率的、経済的な通信回線網構成のための自由度が増し、低コストの網設計の価値が極めて高くなりつつあることが指摘される。その設計手段としては、従来のトラフィック理論にもとづく回線設計以外に、ネットワークのトポロジカルな性質にもとづいて、数理計画法、計算機シミュレーション等の新しい手法を駆使することが要求される。本報告で取上げる問題は、この回線網設計手法であり、なるべく多くの実例に適用し得るように、設計項目および設計手法の検討を行う。

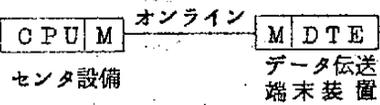
## 2.2 対象となるオンラインシステム

本報告で対象とするオンラインシステムは、一般企業等が、特定通信回線（専用回線）または公衆通信回線（電話網又は加入電信網）を利用して構成するデータ通信システムであり、網中には1ヶ所またはそれ以上の処理センターを含むものとする。このようなシステムの業務内容としては、在庫管理、販売管理、予約業務、情報案内（検索）等のファイルを中心としたオンライン業務、科学技術計算（TSS、リモートバッチ等）、また制度上の限定範囲での専用線交換（メッセージスイッチ）システムなどをあげることができる。

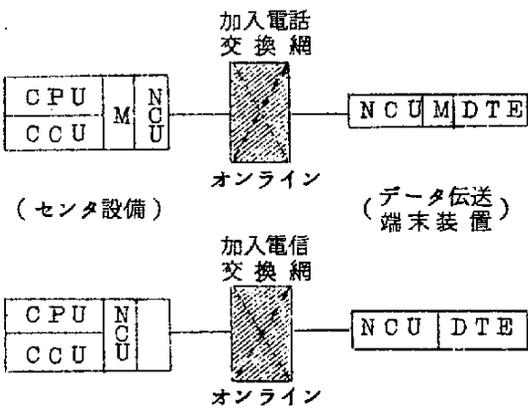
また、ネットワークの地域としては、一応国内網を対象とするが、将来は国際網も含めて検討できるよう考慮することとする。

回線の構成と接結の態様については、電電公社で規定している形式（図2.1 a）～d））を基本として考え、これらで構成されるトポロジカルなネットワークの形式としては（図2.2 a）～e））の各形式およびそれらの組合せの形式となる。

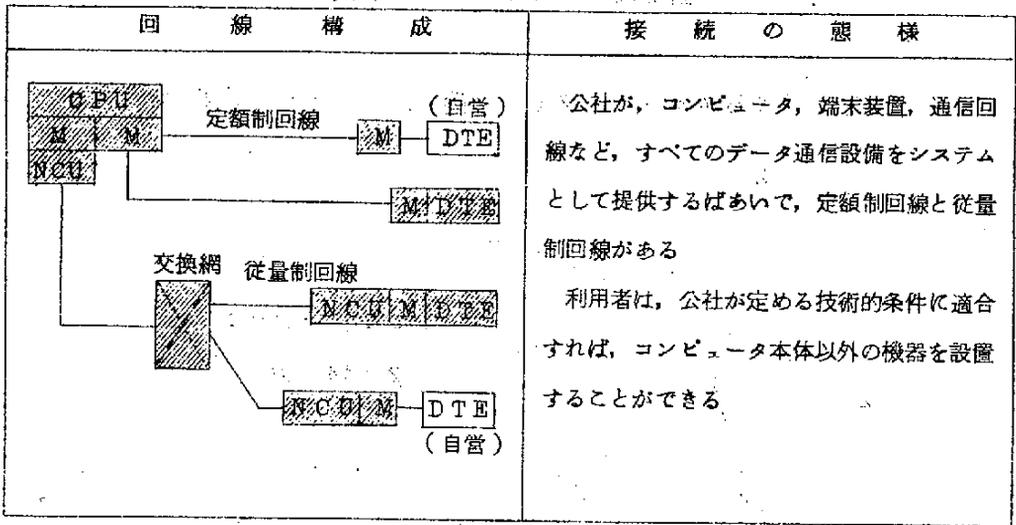
図 2.1 回線構成と接続の態様

回線構成	接続の態様
 <p>CPU M センター設備</p> <p>オンライン</p> <p>M DTE データ伝送 端末装置</p>	<p>利用者が指定する区間で会社が設置する電気通信回線（交換機を介さないものに限る）に電子計算機等を接続して、その回線を使用する</p>

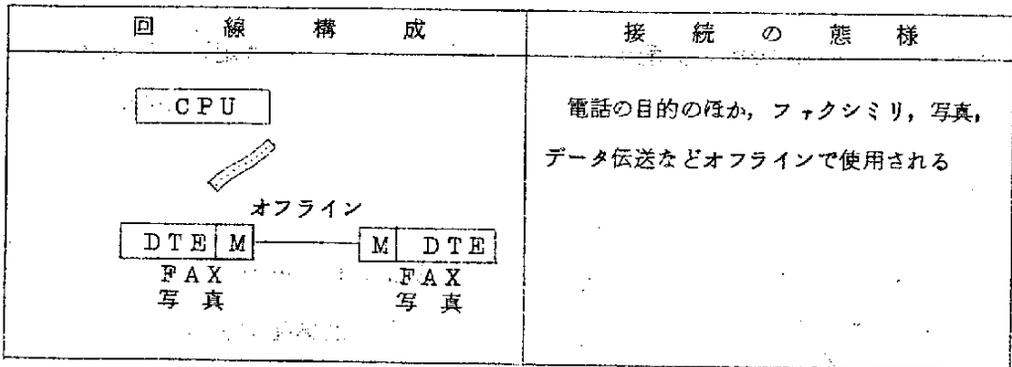
a) 特定通信回線

回線構成	接続の態様
 <p>加入電話 交換網</p> <p>加入電信 交換網</p> <p>CPU M NCU CCU (センター設備)</p> <p>オンライン</p> <p>NCU M DTE (データ伝送) 端末装置</p> <p>CPU NCU CCU</p> <p>オンライン</p> <p>NCU DTE</p>	<p>加入電話（または加入電信）の交換設備と利用者が指定する場所との間に電気通信回線を設け、これに電子計算機等を接続して使用する</p>

b) 公衆通信回線



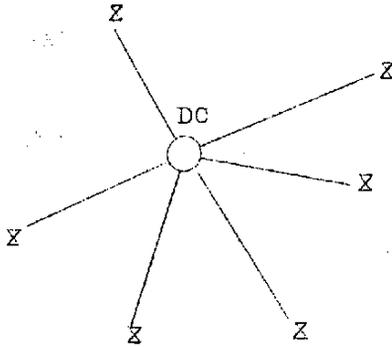
c) 公社が提供するデータ通信設備



d) 専用回線

図 2.2 ネットワークの形式

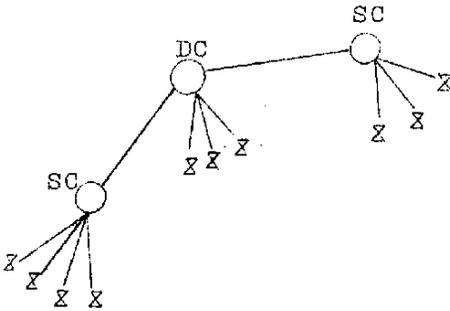
a) 直通方式によるネットワーク (特定通信回線/定額制回線)



DC: データセンター

Z: 端末

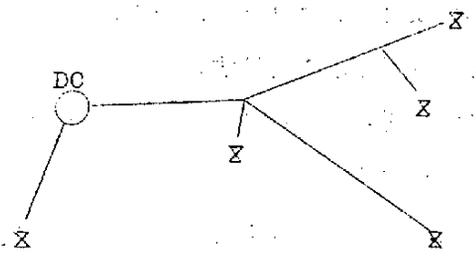
b) Sub-center (集配信局) をもつネットワーク (特定通信回線/定額制回線)



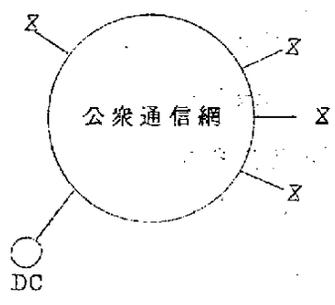
SC: サブセンター

SC は集配信装置 (コンセントレータ), 又はマルチプレクサの機能をもつものとする。

c) 分岐回線をもつネットワーク（特定通信回線／定額制回線）



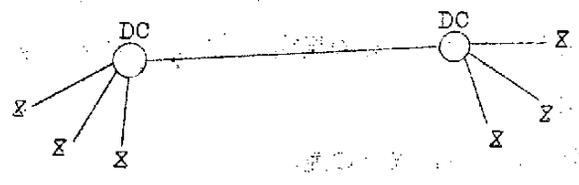
d) 公衆通信網を利用するネットワーク（公衆通信回線／従量制回線）



e) 複数ヶのデータセンターを含むネットワーク

上記の各例で、処理センターを複数ヶとするネットワーク

例えば



## 2.3 回線網の経済性設計

### 2.3.1 設計に必要なデータの考案

2.1で取上げた3種類の設計カテゴリーを、夫々、1) 技術設計、2) 運用設計、3) 経済性設計と仮りに呼ぶことにする。2.1で述べたように、回線網の経済性設計は3)に属する問題であって、与えられた条件のもとで、運用コスト(通信コスト)を最小にするようなネットワーク構成を導くことに他ならない。与えられた条件とは、すでに、概略的な技術設計および運用設計により一義的または、選択可能な形式で与えられる設計上の条件である。これらの条件は、回線網の最適設計を行うための入力データ、拘束条件として利用される。その場合、各種の設計アルゴリズムに適用するために、集約されたパラメータとして利用することになるが、設計の前段では可能なかぎり詳細な生データとして抽出しておくのが便利である。つまり、詳細なデータを用意することによって、これを実状に即した有効なパラメータの形に適宜集約することが可能であり、設計アルゴリズムの変更や拡張を考える際にも有効な手だてとなる。この種の生データを、ここでは前提データと呼び、これらから集約されて、設計手法に直接取り入れられるデータ、パラメータのことを設計データと呼ぶことにしよう。

前提データの種類は次のものが考えられる。

#### (1) 処理センターに関するもの

業務内容、センターの(候補)位置、センターのケ数、ファイル通信システムにおいては、ファイルのコピーを他センターに置いて差支えないか否か、センター設備としてのCPU等の規模、性能、コスト、等

#### (2) 端末装置に関するもの

端末装置の種類、性能、夫々の遠隔端末における端末装置の種類と台数、およびコスト、およびこれらに対する将来の拡張計画。コストは買取り、レンタル、リースの何れかにより異なるし、保守費、人件費等も含ませた方がより实际的である。このことは処理センター設備にも勿論あてはまる。また、

回線の利用形態によって、モデムの有無、その自営、直営に従うコスト、網制御装置、転換器等に関するコスト等もデータとして取上げる必要がある。なお、端末装置のコストは、データ伝送の信頼性にも関係し、これに対応した誤制御方式如何によって左右されることも考慮に入れねばならない。

(次項との関連)

(3) データ伝送に関するもの

データ伝送方式、回線に許容されるエラーレート、伝送遅延、応答時間等の許容値、誤制御方式、伝送符号上の取決め、伝送制御手順などが必要である。

(4) トラヒックに関するもの

回線網設計に当って重要なデータであり、遠隔端末の位置、各端末におけるトラヒックデータの表示が必要である。勿論トラヒック量は、年成長率も勘案し、網設計の対象となる必要年限に対して定められることが望ましい。トラヒックデータの例を表 2.1 に示す。

(5) 通信回線に関するもの

利用可能な通信回線の種類が前提データとしてあげられる。これは(2)、(3)、(4)で得られるデータ通信の諸条件、および次の(6)で検討される網構成上の諸条件見合う各種回線の候補をあげてを意味する。即ち、特定通信回線(専用線)と公衆通信回線の何れか(又は組合せ)の選定、データ入出力速度、およびデータトラヒック量に見合う回線速度(回線容量)から、利用可能な回線規格の選択、通信方式(単回、半二重、全二重)の選択を行う。これらは、ネットワーク中の各遠隔端末と処理センター(又はサブセンター)間、処理センターとサブセンター間等について検討し、考え得る種々の網構成に対して適用できるように検討しておく必要がある。

また、回線の種類に対応して、料金上の必要なデータ(設備料、専用料、通信料など)をリストアップすることも必要である。回線の課金距離とこれに基づく回線料金の算出は、網構成が簡単で端末数が少ない場合には、あら

表 2.1 データ量（トラフィック）の分析表

	送 信			受 信		
	業務 1	業務 2	.....	業務 1	業務 2	.....
1. メッセージ数						
a. ピーク日						
b. 一日平均						
c. ピーク時						
2. 一通当り平均文字数						
3. 一日当り文字数						
4. ピーク時における 文字数						
5. ピーク時通信量/ 平均通信量						
6. 遅延時間						
7. 必要な信頼度						

注 この表は、1 遠隔端末とセンター間または、特定の他の端末間のデータトラフィックに関する諸元を示した 1 例である。なお（平均的に）1 日における時刻に対する通信量の分布図表が示されれば、回線設計に対して更に有用なデータとなる。

かじめ算出して前提データの中にリストアップしておくのが便利であり、逆に大規模かつ端末数の多いネットワークでは、これらのデータの算出のために必要な諸量のみを生データとして用意しておき、課金距離、回線料金は、設計プロセスの中で、計算機処理により、生データから算出する方が能率的であろう。

また、回線構成、使用態様に関する制度上の条件（例えば分岐の数の限度）を、以後の設計のためリストアップしておくことも重要である。

#### (6) 網構成上の諸データ条件

上述の各種データと関連して、網構成上必要なデータ、条件には、次のものが考えられる。

##### i) 端末局の位置

ii) サブセンター設置の可否、可ならばその数の条件、および候補位置、サブセンターの機能

iii) コンセントレータ、マルチプレクサ利用の可否、可ならばその方式、性能、規模等の条件

iv) 回線の分岐の可否、可ならば回線種類と利用可能域等の条件

v) 必要に応じ、コンセントレータ、マルチプレクサ等諸設備のコスト

なお、上記 ii) ~ iv) に示される諸設備導入の可否とは、運用、技術の観点から、前提条件として取り上げるものであって、網設計に対する外部条件を意味している。

以上前提データについて列挙したが、これらは網構成の設計に対する自由度を与えると同時に、拘束条件として、無用の試行錯誤をはぶき、網設計の能率化にも役立つ。なお、コストデータの一部は、経済比較により、望ましい値を決定しておくのが好ましい。（例えば中央処理装置の買取り／レンタルの選択、これを含めたセンター諸設備コスト、運用コスト等）

前提データの整備が行われた後、これを基にして回線網最適設計に必要な設計データが抽出される。設計パラメータの選定は、回線網設計の方針に

dependして、重要なものだけを取り上げるようにすることが望ましい。設計データは、下記の4種類に大別することができる。

1) 位置データ

センターおよび端末局の位置のデータ。

2) トラヒックデータ

トラヒックに関する事前データから集約されたトラヒック量、ピーク時および平均のメッセージ数、1メッセージの平均文字数等が、地点*i*から地点*j*への伝送に対して与えられる。

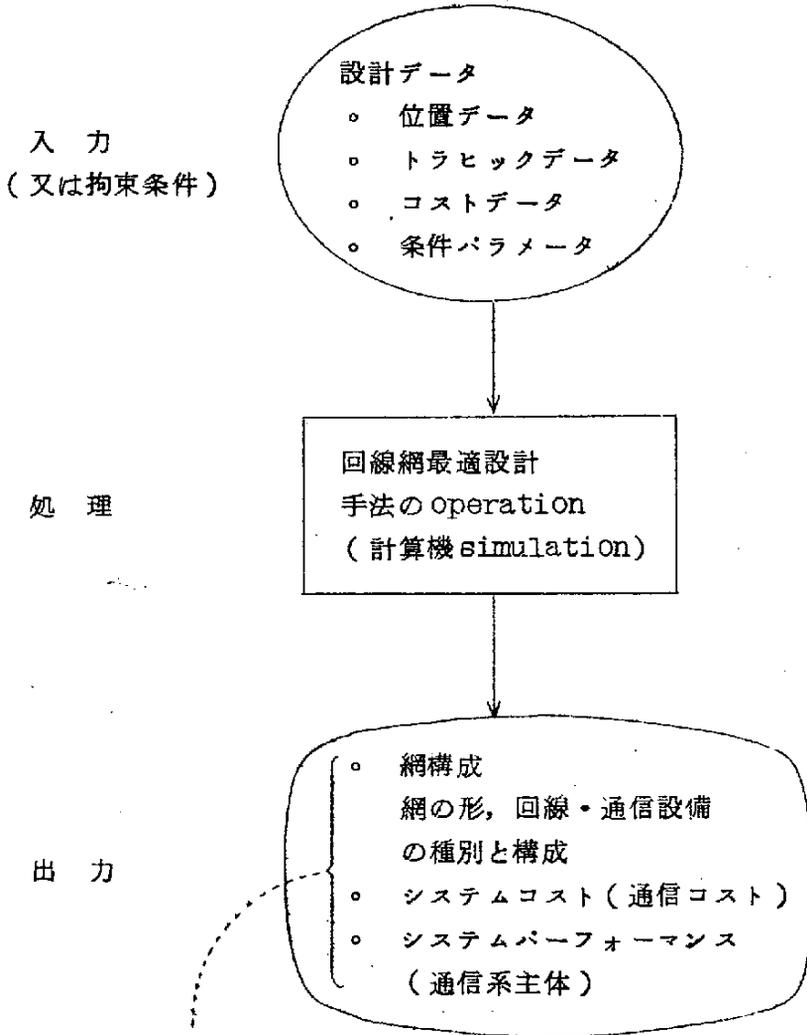
3) コストデータ

地点*i*, *j*間の回線料金(定額制/従量制)など使用契約にもとづく設備の使用料, 自営設備のコスト等。コストが他の要因の関数として定式化(厳密なら最もよいが, 近似的でも有効な場合がある)できると都合よい場合が多い。

4) 条件パラメータ

網構成上の各種の条件の中から, 最適設計手順実行に必要なものを pick up したものを。センター(サブセンター)の候補位置などもこれに含まれる。

図 2.3 回線網最適設計の概念図



注) 複数ヶの solution が推奨案として出される  
場合もある。

### 2.3.2 設計問題の概要

以上の設計データを入力又は拘束条件とし、回線網の最適設計が行なわれる。その結果得られるものは、具体的な網構成、つまりトポロジカルな網の形、および各ノード間の回線種別、回線数、集線装置等の配置の具体化と、システムコスト（主として通信コスト）、および通信系のパフォーマンスに関するデータである。図 2.3 にこのことをまとめて、回線網最適設計の概念図として示した。最適設計により網構成の unique な最適解、すなわちシステムコストを最少とする解が求まったとき、それを結論として採用してもよいが、むしろ一般に複数ケの解を output しておく方が有効である。たとえば、

- i) システムコスト最小のものから順次複数ケの解を出し、運用面、今後の拡張計画等を勘案し、総合的に最善と目される解をその中から選択する。
- ii) 条件パラメータのいくつかの選択に対して夫々最適解を導き、全上の理由でその中から最善のものを定める。

など、きめ細い評価と選択が可能となるからである。この種の評価は、ある意味で、sensitivity analysis の範ちゅうに属する問題でもあり、設計技法として興味ある問題と云える。

この評価の結果、網構成が定まれば、システムの詳細設計が start できる手筈が整う。さもなければ、再び設計方針、設計パラメータ等を変更して回線網の最適設計を retry することになる。

さて、回線網最適設計の手法については次章で詳しく論じられるが、ここでは問題の概要についてまとめておく。

#### i) 公衆網利用の場合の最適設計

公衆通信回線利用料金の特長は、通信距離と通信回線の利用時間長に対応した従量制料金にある。公衆通信回線の利用は、図 2.4、図 2.5 に示すように、通信量が少なく、また通信距離が大であれば経済的であり、このような場合を対象に、公衆網利用のシステムの導入が検討される。その際、システムコストは概念的に次のように表わされる。

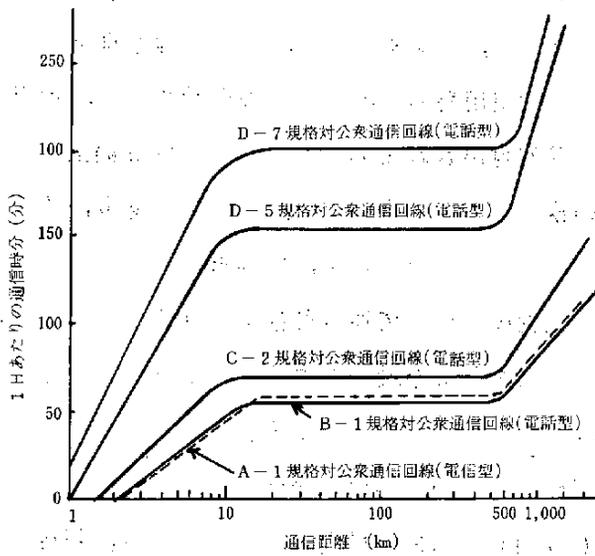


図 2.4 専用線と公衆通信回線の比較 (各ラインの上側領域は専用線が有利)

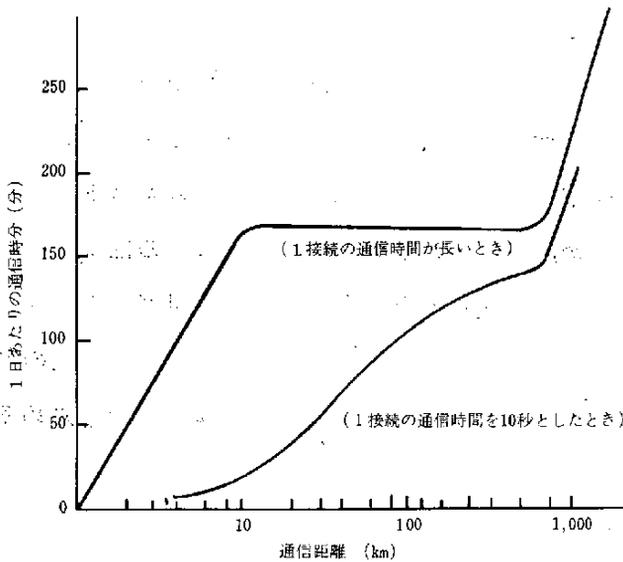


図 2.5 専用線と公衆通信回線の比較 (D-5 規格と公衆通信回線(電話)の比較) (メッセージ長の影響)

$$\text{システムコスト} = \text{通信料} + \text{設備コスト} \cdots (2.1)$$

上式で、設備コストは、センター設備、端末設備（自営）のコスト、公衆通信回線利用に伴う設備使用料等の諸コストの合計であり、殆どの場合、constantな値として既に算出されている。一方通信料は網全体のトラフィックデータから、従量制の規則により算出される通信料金であり、その値は局相互間の通信距離にdependする。したがって、処理センターの位置が定められていない場合には、その位置に従って通信料金変動する。つまり、与えられた選択条件のもとで、(2.1)式を最少とするようなセンター位置の決定が、最適設計問題として取り上げられることになる。

### ii) 特定通信回線（専用線）利用の場合

特定通信回線（専用線）の使用料金は定額制であり、回線種別と通信距離により定まる。また、集線装置、マルチプレクサ、分岐回線の活用によって、経済的な網の構成が可能である。システムコストは(2.1)式と同様、

$$\text{システムコスト} = \text{回線料} + \text{設備コスト} \cdots (2.2)$$

と表わすことができる。

コンセントレータ、マルチプレクサ、および回線の分岐の位置を定めることによりネットワークの構成が定まると共に、トラフィックデータから、各node間の回線種別、回線数が定まる。これによりシステムコストが算出されるが、センター位置をはじめ、コンセントレータ、分岐などの位置選択には、与えられた条件下で、多くの自由度をもたせ得るから、実現可能な網構成の形は多岐にわたる。(2.2)式の回線料、設備コストも、夫々の網構成の形に対して変動する。したがって、(2.2)式を最小にする網構成の形を求めることが、この場合の最適設計となる。

### iii) 複合的な問題

複数ヶの処理センターを許す場合の最適な網構成を求める問題が考えられる。これは上記ii)で用いられる最適化の手法を組合せて解き得る問題であるが、手順は複雑となる。また、従量制、定額性の両回線を利用する場合の網の最適

構成を求める問題もある。このときは、I) および II) の手法の適当な組合せによって問題が解かれる。何れの場合も、地域的制約条件などを取り入れて、全体の網をいくつかの subnet に分割し、夫々について最適構成を求める等の方法により、設計の簡単化を図るのが合理的であろう。

以上、この章で取り上げたオンラインシステム設計の概要をまとめる意味で、全般的な設計の流れ図を図 2.6 に示した。

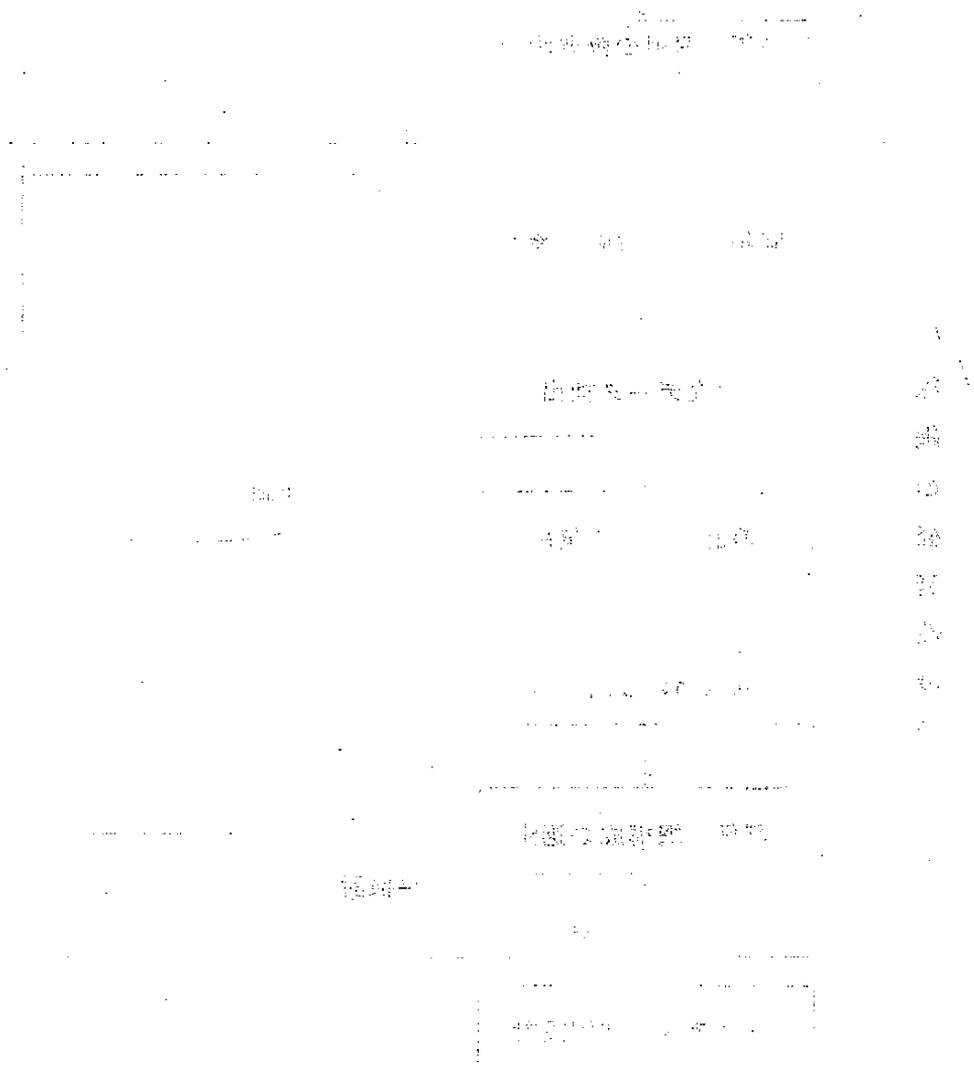
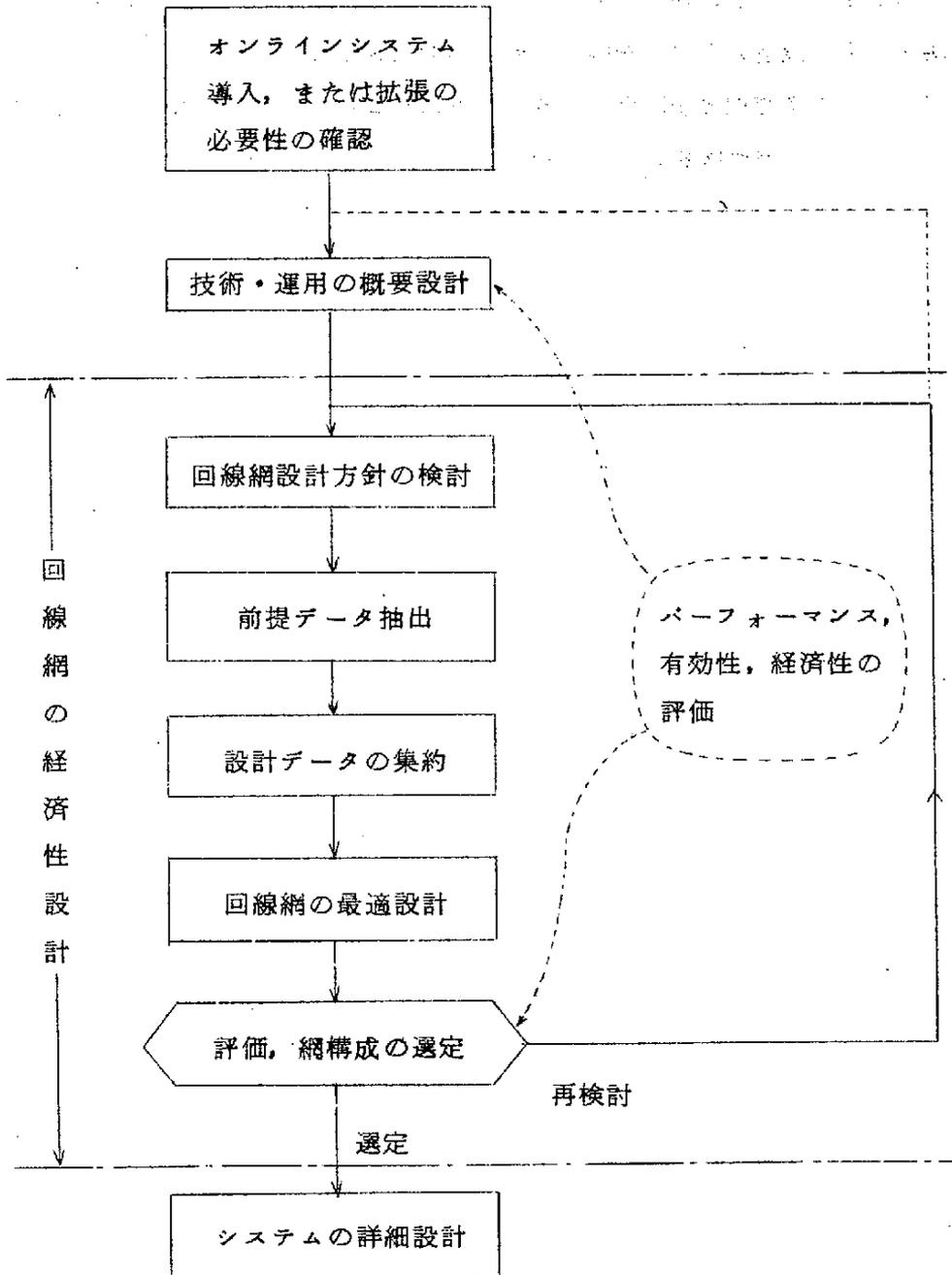


図 2.6 オンラインシステム設計の流れ図

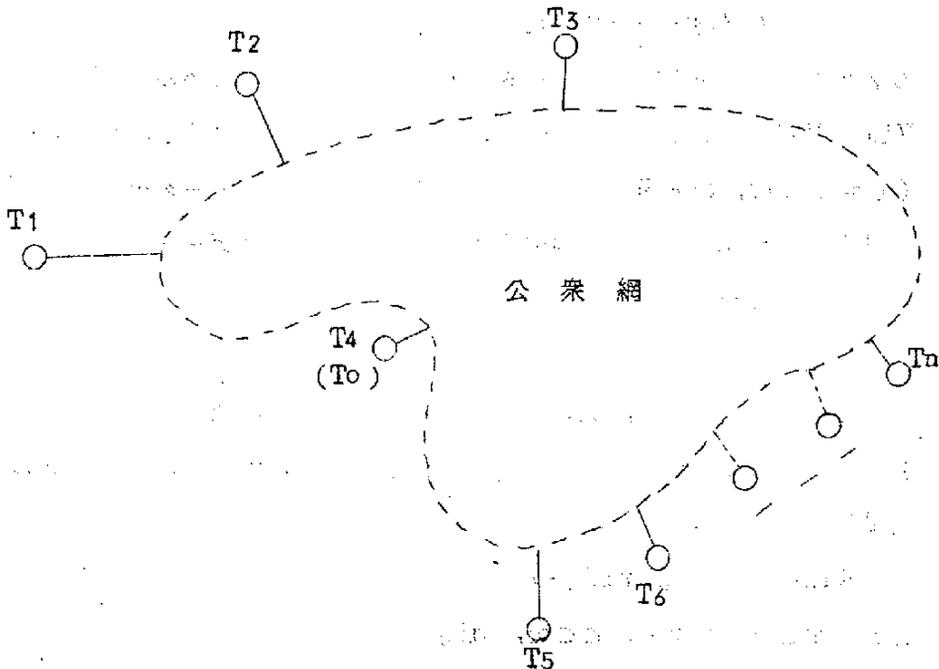


### 3. 回線網経済性設計の手法

#### 3.1 公衆通信回線利用の場合

2.3.2で述べた公衆通信回線利用システムの最適設計についてや、詳細に論ずることとする。

図3.1 公衆網利用における網設計の1モデル



$T_1, \dots, T_n$  : 端末局

$T_4 (T_0)$  : データ処理センター

( $T_0$  は  $T_1, \dots, T_n$  中のどれか1つに選定できる。)

図 3.1 に示すように、 $n$  ヶの端末局  $T_1, T_2, \dots, T_n$  が定められており、この中のどれか 1 ヶ  $T_j$  をデータ処理センターとして選定する最適設計問題を考える。この場合の設計データは次のごとくなる。

1) 位置データ

$T_1, \dots, T_n$  の位置を示す値 (例えば座標), 通信距離算定可能な表現とする。

2) トラヒックデータ

$\tau_{il}$  : 2 ヶの局  $T_i, T_l$  間の 1 回のデータ伝送に要する平均回線保留時間

$V_{il}$  :  $T_i, T_l$  間で一定期間 ( $T$ ) 内に発生する平均データ伝送回数 (平均接続回数または呼数)

の 2 種のデータを用いる。データの流れの方向は問わないので  $\tau_{il} = \tau_{li}$ ,  $V_{il} = V_{li}$  である。 $T_j$  局がセンターであると仮定すると,  $\tau_{ij}, V_{ij}$  ( $i \neq j$ ) は, 端末局とセンターとの間のトラヒックデータを示し,  $\tau_{il}, V_{il}$  ( $i, l \neq j, i \neq l$ ) は端末局相互間のトラヒックデータを示す。なお,  $\tau_{il} \cdot V_{il}$  は呼量に相当する。

3) コストデータ

公衆通信回線料金は, 例えば図 3.2 に示すように, 通信距離, 1 接続当りの回線保留時間, および接続回数に関数であり,  $K_{ij}$  局,  $K_{kj}$  局間の期間  $T$  における通信料金の見積額は

$$K_{ij} = C_{ij}(d_{ij}, \tau_{ij}) \cdot V_{ij} \quad (3.1)$$

と表わすことができる。ここで,  $d_{ij}$  は  $T_i, T_j$  間の通信距離,  $C_{ij}$  は平均回線保留時間に対する料金を示す。 $C_{ij}$  を通信料に対する基本データとして取扱う。

一方, 設備コストとして, 各端末局の必要設備に対する投資, 借料等を算定, 加算し, 期間  $T$  で normalize した値  $f_{ij}^j$  ( $i=0, \dots, n$ ) を用いる。 $f_{ij}^j$  の意味は,  $T_j$  局をセンターとした場合の  $T_i$  局の設備コストであって,  $f_{0j}^j$  はセンター設備コスト,  $f_{ij}^j$  はセンターに併合された端末局

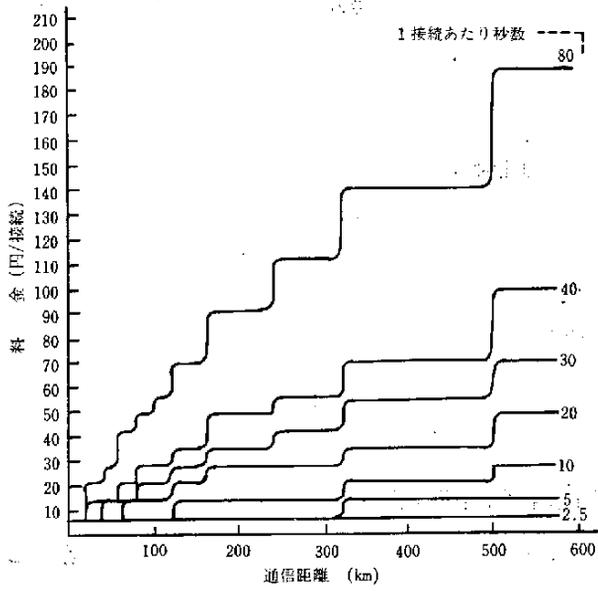


図 3, 2 公衆通信回線 (電話) の料金の特長 (昼間のばあい)

を設備コストを示す。

(4) 条件パラメータ

センター位置選定の条件を示すパラメータが考えられる。例えば次に示す論理パラメータ  $\delta(i)$  を導入する。

$$\delta(i) = \begin{cases} 1: \text{端末局 } T_i \text{ をセンターに選定できる} \\ 0: T_i \text{ はセンターに選定できない} \end{cases} \quad (3.2)$$

上記の設計データを用い、(2.1.)式のシステムコスト(又は目的関数)を求めると次式が得られる。

$$K_j = \underbrace{\sum_{i=1}^n C_{ij} \cdot V_{ij}}_{\text{通信料}} + \underbrace{\sum_{l=2}^n \sum_{i=1}^n C_{il} \cdot V_{il} + \sum_{i=0}^n f_{ij}}_{\text{設備コスト}} \quad (3.3)$$

$K_j$  は、 $T_j$  局を処理センターに選んだときのシステムコストを示す。

$$\sum_{i=1}^n C_{ij} \cdot V_{ij} = K_j \quad (3.4)$$

$$\sum_{l=2i-1}^n \sum_{j=l}^n C_{il} \cdot V_{il} = K_i \quad (3.5)$$

$i, l \neq j$   
 $l > i$

$$\sum_{i=0}^n f_i^j = K_s^j \quad (3.6)$$

とおけば、

$$K_j = K_{1j} + K_s + K_s^j \quad (3.7)$$

$K_{1j}$  は、端末局とセンター間の通信料、 $K_s$  は端末局相互間の通信料に相当する。また、(3.4)式で  $C_{jj} = 0$  (局内通信に担当) として差支えない。

上述の式から、最適設計問題は、

$$\min_j \{K_j \cdot \delta(j)\} = \min_j \{(K_{1j} + K_s^j) \cdot \delta(j)\} \quad (3.8)$$

なる  $j$  を求め、 $K_j$  局をセンターに選定することである。(3.8)式を満す  $j$  は、 $K_j \cdot \delta(j)$  又は  $(K_{1j} + K_s^j) \cdot \delta(j)$  を直接算出し比較して求めることができる。 $n$  が大ならば、一連の計算を、計算機プログラムにより実行させるのが効果的である。計算フローの一例を図3.3に示す。入力データとしては、位置データ、トラヒックデータ、設備コスト、条件パラメータを、既に、事前の設計段階で求めておいて使用すると共に、通信料金算出のための料金関数の形、即ち(3.1)式の  $C_{ij}(d_{ij}, T_{ij})$  の関数形をサブルーチン形式で入力しておく。計算は、図3.3に示すように、通信距離算定の後、料金関数を用いてコストパラメータを算出し、これから(3.7)、(3.8)式を計算し、最適の  $j$  と必要なデータを求めて出力する。

なお、異なる料金体系をもつ複数種の公衆通信サービスを利用するときは、通信料金は、

$$C_i^j \cdot V_i^j = \sum_p C_{pi}^j \cdot V_{pi}^j \quad (3.9)$$

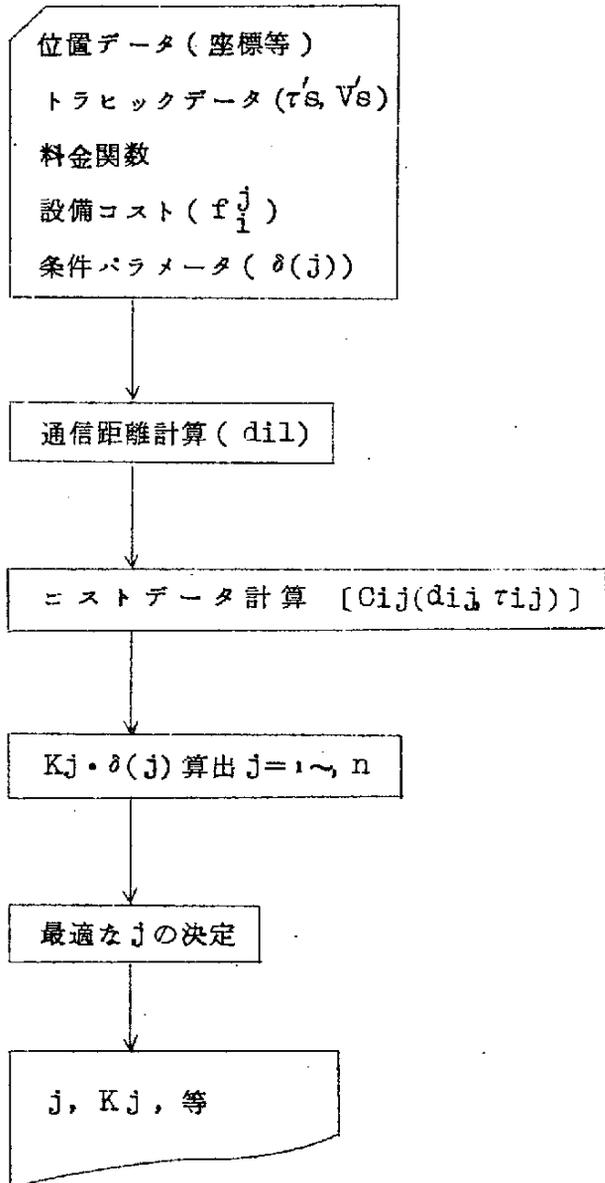


図 3.3 最適化計算のフロー

として算定すればよい。(pはサービス種別を示す)

また、トラフィック量は、年成長率を考慮した予測値を用いることになるが、長期にわたる需要予測データが得られている場合には、年次の経過に対応した最適解を求めておき、異なる解が存在する場合は、総合的な判断によって、その中から解を選定することも有用であろう(図3.4)。

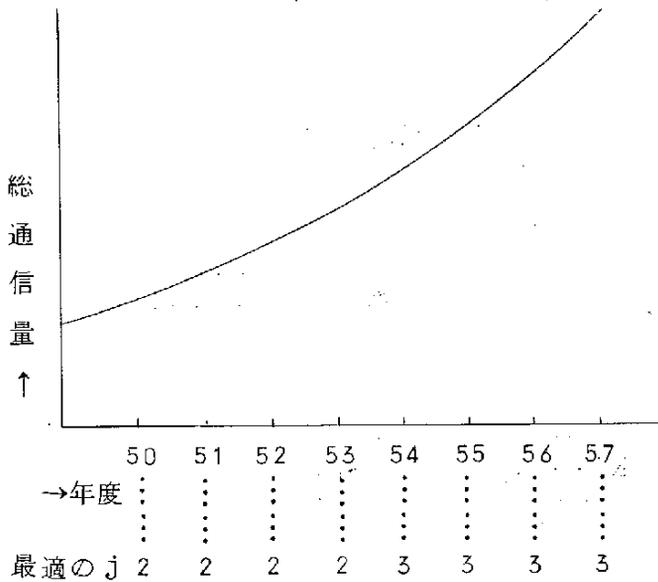


図 3.4 通信量需要予測と最適解対応例

### 3.2 特定通信回線（専用線）利用の場合

#### 3.2.1 概要

2.3.2に述べたように、特定通信回線を利用するデータ通信システムの経済性設計は、システム運用のためのコスト（通信コストと設備コスト）を最小にするような網構成、回線構成、回線設備の配置を求める問題である。即ち(2.2)式に示すシステムコストを目的関数とし、その中に回線、設備の配置を定める各種の設計データを含ませ、目的関数を最適にするような設計パラメータを決定する手法を基本とする。

ところで、特定通信回線を用いる場合、コンセントレータ、マルチプレクサ、回線分岐など、網構成上とり得る手段および自由度が多く与えられている。また、端末局数が多く、その分布が広範囲にわたる場合等では、更に複雑多岐な網形状のVarietyが存在する。従って、全ての可能な構成を調べつくし最適構成を決定することが極めて困難な場合があり、また最適設計を計算機で行なう場合のソフトウェアの規模ならびに問題解決手順の長さ等の評価の面も勘案すれば、最適設計の手法を組立てるに当って次の点に留意することが適切であらう。

1) コンセントレータ、分岐回線など、利用手段別の網設計アルゴリズムを作成し、これらを単独にまたは組合せて用いることにより最適設計を行なう。得られた解は真に最適でない場合もあるが、適当な評価手段により、十分最適であることが確められるようにする。設計アルゴリズムの組合せを用いるときは、最適化すべき手段（変数）に優先順位を与え、優先順位の高い設計変数が決定された後は、これを既知データとしてその後の手順に取り入れる。具体的には、センター位置の決定、コンセントレータ導入の検討と位置の最適化、サブネットの最適化とマルチプレクサ、回線分岐との比較等の手順により設計が進められる。

2) それぞれの網設計アルゴリズムにおいては、外部的に与えられる条件を吟味し、これを制約条件として取入れ、この条件下で目的関数を最小（又

は最大)とするような設計変数の値を解として求める。さらに、問題の種類により膨大な計算量を必要とするときには、ヒューリスティック手法を導入して手順の簡単化を図ることを試みる。

教理計画法に基づく個々の設計アルゴリズムを骨子とし、これを組合せて網計設を行ない、経済評価等により、最終的に最適と考えられる網構成を決定する手順として把握される。

#### 設計の前提条件と仮定

最適化計算をするにあたって、次のような前提条件および仮定を設ける。

- 1) オンライン、システム設計者は、コモンキャリアの回線を利用したり、借りたりしてネットワーク構成をする立場にある。
- 2) システムの提供するサービス、あるいは処理型態は既に決っている。
- 3) 各端末地点におけるトラヒックの発生量は与えられている。
- 4) センターはいかなる端末からもアクセス可能とする。したがって、サブセンタは、センタと全く同一の機能はもたない。
- 5) 回線客量は有限のオプションの中から選択する。
- 6) 技術設計あるいは運用設計の段階で、利用可能な設備又は装置の規格は与えられている。

### 3.2.2 設計データ

次のものが必要と考えられる。

#### 1) 位置データと通信距離

位置データは、3.1と同様であり、通信距離算定に役立つものでよい。通信距離の算定は、図3.5に例示するように細い規約に従うため、車前に算出しておくが、あるいは、算定の条件のみを抽出し、設計途上で計算により求めるのがよからう。

#### 2) トラヒックデータ

##### i) ターミナルに関するもの

ターミナルの台数と配置、入出力速度が定められていることが必要である。これらのデータがuniqueに決められない時は、選択可能な少数の案として提示されるのが望ましい。

##### ii) 回線に関するもの

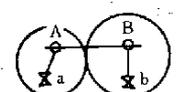
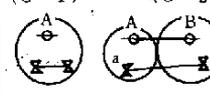
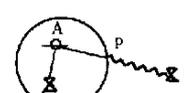
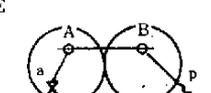
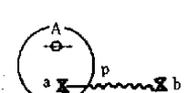
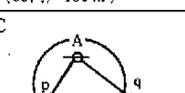
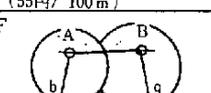
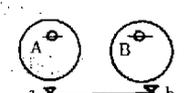
利用可能な回線種別の提示

##### iii) トラヒック量

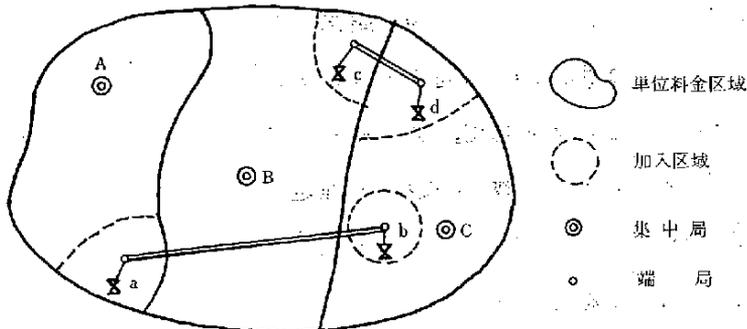
端末局(センターを含む)相互間において、回線設計に必要なものを抽出する。局 $i$ 、 $j$ 間の両方向の夫々の伝送に対し、平均トラヒックおよび最繁忙時トラヒックとして、メッセージ平均長(又は平均回線保留時間)、および平均メッセージ数(呼数)の推定値を年成長率と共に求めておけば十分である。またこれらは、端末機器の種別に対応してリストアップされることが必要である。

なお、局間の方向別に出されたトラヒックデータは、回線設計の段階で、通信方式に応じて取捨選択される。たとえば単向回線の場合は、その方向のトラヒック量により回線数決定等の回線設計が、半二重方式の場合は両方向のトラヒックの和により、また全二重方式の場合は、両方向の中、大きい値のトラヒックにより回線設計が行なわれる。

図 3.5 通信距離測定法の例

区分 端末の 設置場所	双方とも同一の電話局に直 接収容されているばあい	一方の収容局と他方の収容 局とが異なるばあい	双方とも電話局に収容され ていないばあい
双方とも加入区 域外にあるばあ い	A (A-1)  一律2,000円	D  A局~B局間の直線距離	G (G-1) (G-2)  一律2,000円 A局~B局間の 直線距離
一方は加入区域 内、他方は加入 区域外にあるば あい	B  2,000円 + p ~ b 間の加算額 (55円/100m)	E  A局~B局間の直線距離 + p ~ b 間の加算額 (55円/100m)	H  2,000円 + p ~ b 間の加算額 (55円/100m)
双方とも加入区 域内にあるばあ い	C  2,000円 + p ~ a 間 q ~ b 間の加算額 (55円/100m)	F  A局~B局間の直線距離 + p ~ a 間, q ~ b 間の 加算額 (55円/100m)	I  A局~B局間の直線距離 (加算額なし)

a) 同一単料金区域内に終始する回線の距離測定方法



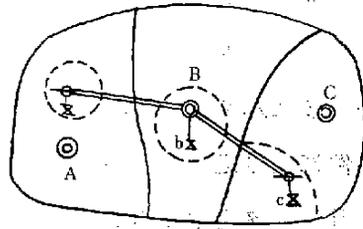
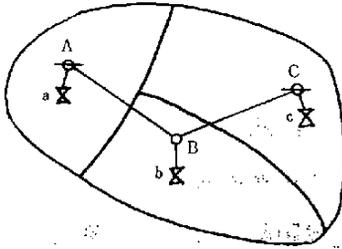
[注] a ~ d は A 集中局 ~ C 集中局間の直線距離 (2km 方形区画による、以下同じ)

c ~ d は B 集中局 ~ C 集中局間の直線距離による。

b) 2 以上の単料金区域にまたがる回線の距離測定方法

① 同一単位料金区域内のばあい

② 2以上の単位料金区域にまたがるばあい



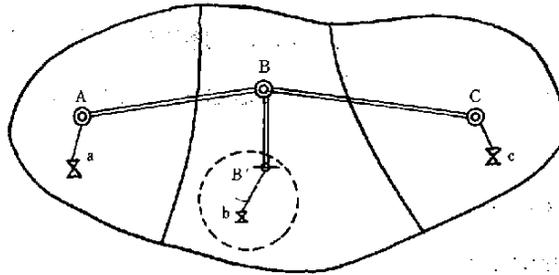
A局～B局間、B局～C局間  
それぞれの直線距離の合計による。

A集中局～B集中局間  
B集中局～C集中局間  
それぞれの直線距離の合計による。  
(b 端末は別に 1,000円)

(b 端末は別に 1,000円)

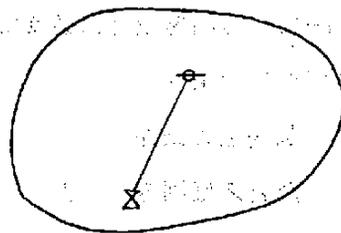
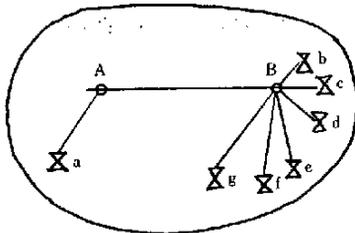
(b 端末は別に 1,000円)

C) 分岐のある回線(その1)の距離測定方法



A～C間は、A集中局～B集中局間、B集中局～C集中局間の合計距離  
分岐端末bについては、B'～B'局間の地図上の直線距離により、それぞれ測定する。

d) 分岐のある回線(その2)の距離測定方法



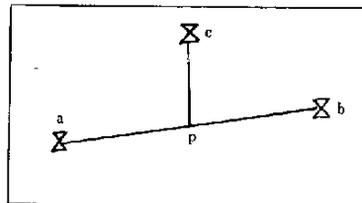
(分岐による片端末の例)

a～bについてはA局～B局間の距離による。  
c, d, e, f, gはそれぞれ1端末ごとに  
1,000円

(局に終端するものの例)

1 端末ごとに 1,000円

e) 片端末の回線の料金



a～bは1,000円

c～pは 500円

f) 同一建物内に終始する回線

### 3) コストデータ

#### i) 回線コスト

図 3.5 に示すように、回線コストは、通信距離（課金距離）と制度上の諸条件に上り定まる。小規模ネットワークの場合は、回線コストを算出して設計データとするのがよい。（通信距離は設計データとして不必要となる）大規模ネットワークの場合は、課金ルールをデータとして与え、通信距離その他のデータを用いて設計途上で料金を算出するのが有効であろう。

#### ii) 設備コスト

3.1 に述べたと同様である。但し、回線方式の選択によっては中央処理システムの負担が増減する場合もあるので、これに対応する設備コストを考慮する必要がある。

### 4) 条件パラメータ

#### i) 位置に関するもの

センター、サブセンター候補位置等の情報が必要である。

#### ii) トラヒックに関するもの

呼損率等回線設計に必要な条件を示す量および、各種の回線方式の選定の可否等の条件。

#### iii) 制度上の条件。

たとえば回線の最大分岐数など。

#### iv) その他。

### 3.2.3 設計の手順

最適設計の手順には種々のものが考えられるが、その一例を図3.6に示した。フローの概要は次の通りである。

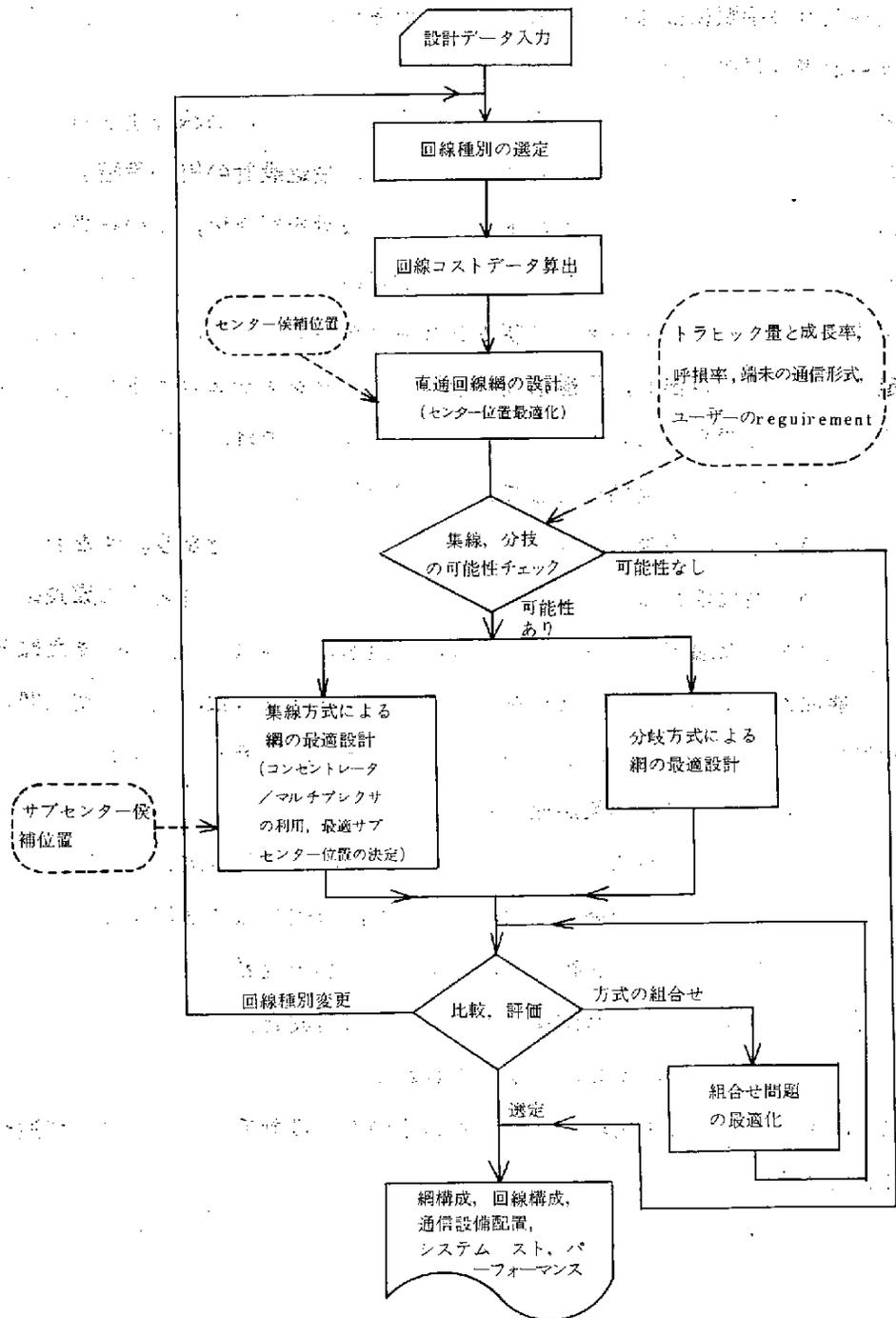
先づ設計データが入力データとして取り入れられた後、回線種別を選定し、必要な回線コストデータを算出しておく。次に、最適設計の第一段階として、直通回線網（ポイントツーポイント回線網）の設計を行ない、その結果をその後のプロセスに取り入れる。直通回線網設計に当っては、端末台数とその分布、回線種別、回線コストデータおよびトラヒックデータを用い、センター位置を仮定して回線数を算出し、回線構成を求める。またシステムコストの比較から、最適センター位置を求める。（その後の設計プロセスでは、一応ここで定められたセンター位置を前提条件として設計が進められる）

次の段階として、集線および分岐の可能性のチェックを行なう。すなわち、直通回線網で実現される各回線に対し、呼量等のトラヒック量とその成長率を調べ、定められた端末通信方式のもとで、呼損率の許容値内で、集線または分岐の可能性があるかどうかの判断を行なう。このプロセスは、主として人間の判断に負うものであるので、計算機を用いるときは、円滑なマンマシン・インタラクションにより検討作業が進められることが望ましい。

集線または分岐の可能性が見出された場合には、夫々の方式による網の最適設計を試みる。それらの結果は比較、評価され、方式の組合せによる網構成の検討が必要な場合にはこれを行ない、また回線種別を変更して再設計すべきときは再び一連の設計プロセスが進められる。最適構成と目される（いくつかの）網構成が得られた場合、その結果が出力される。

以下、上記フローの中で取上げられるいくつかの設計手法の例について述べることとする。

図 3.6 最適設計フローの1例



### 3.2.4 直通回線網の設計

これは、図 3.7 に示すように、一つのデータセンターと各端末局を、特定通信回線を用いて直通に結ぶネットワークを設計するもので最も簡単なプロセスである。端末局におけるターミナル台数、種別、および使用する回線種別は与えられている。したがって、センター位置を仮定し、センターと各局間の回線数を定め、システムコストを算定し、さらに最適のセンター位置を求めればよい。

局  $T_i, T_j$  (センター)間の回線数を  $N_{ij}$  とする。  $N_{ij}$  算出に当っては、次の二つの条件のいずれかを取り上げるものとする。

- 1) 端末機器と回線が 1:1 に対応
- 2) ターミナルコントローラを置き、端末数より少ない回線数で接続することが可能

1)の場合  $N_{ij}$  は  $T_i$  局の端末数に等しい。2)の場合、  $N_{ij}$  算出の手法は、4章2)に示すように、呼量、および要求される呼損率から求めることができる。

$N_{ij}$  が求まると、  $T_i, T_j$  間の回線コスト  $C_{ij}$  は

$$C_{ij} = N_{ij} \cdot U^{k_{ij}} \quad (3.10)$$

により求められる。ここで  $U^{k_{ij}}$  は、与えられた回線種別  $k$  に対する 1 回線当りの回線料金であり、通信距離に depend する。  $U^{k_{ij}}$  は設計データとしてすでに求められているものとする。また、異なる回線種別(速度)に対応する複数種の端末機器が申しられる場合には、

$$N_{ij} = \sum_k N^k_{ij}, \quad C_{ij} = \sum_k N^k_{ij} \cdot U^k_{ij}$$

と表わすことができる。上記の回線コストおよび 3.1 節で示した設備コストから、  $T_j$  局をセンターとする場合のシステムコストは

$$K_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} + \sum_{i=0}^n f_i^j \quad (3.11)$$

(回線料)(設備コスト)

となる。 $f_0^j$  はセンター設備のコストに相当するが、これは

$$f_0^j = C_0^j + C_1^j \cdot \sum_{i=1}^n N_{ij} \quad (3.12)$$

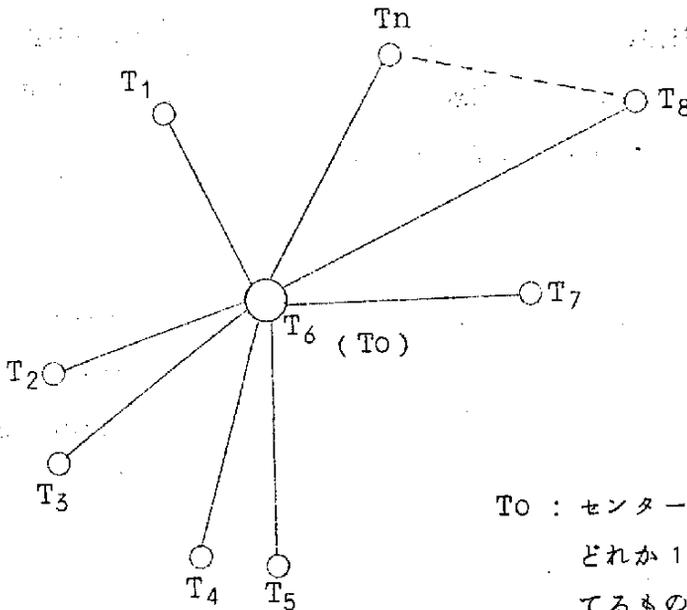
のように、固定コスト  $C_0^j$  (たとえば CPU コスト) と、回線数比例コスト  $C_1^j \cdot \sum_{i=1}^n N_{ij}$  に分けて扱うのが有効である。

最適設計問題は (3.8) 式と同様

$$\text{Min } \{ K_j \cdot \delta(j) \} \quad (3.13)$$

なる  $j$  を求め、 $K_j$  局をセンターに選定することとなる。

以上の設計プロセスのフローを図 3.8 に示す。



$T_0$  : センター,  $T_1 \sim T_n$  中の  
 どれか 1 つの位置  $T_j$  を割当  
 てるものとする。

$T_1 \sim T_n$  ( $T_j$  を除く) : 端末局

図 3.7 直通回線網の例

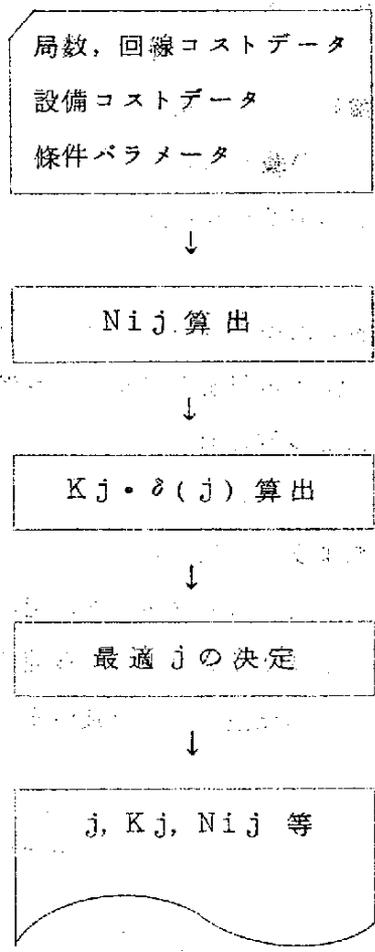


図 3.8 直通回線網設計フロー

### 3.2.5 集線方式における最適設計手法

これは図3.9に示すように、遠隔の端末群に対し、集線装置を配置し、高密度な回線集束により一旦集束し、中継回線を用いてセンターへ接続する方式である。したがって、トラヒックの疎なセンターから遠隔地に群がる端末に対しては、集線装置の設備コストが節約される回線コストに比べて低ければ、経済的な構成が可能である。

集線装置を含む網の最適設計は多くのパラメーターが関与する複雑な設計問題である。完全な最適網構を求める問題の定式化は困難であるが、近似的手法の導入も有効であり、以下にその例を示す。

#### 1) 集線装置の回線集束化率を予めパラメーターとして与える手法

図3.6のフローでも示したように、集線の可能性のチェックが行なわれた結果、経済効果が認められ、対象となるサブネットが定められ、集線装置設置候補位置とその特性の目安を、トラヒックデータから簡単に推定し、外部パラメーターとして与えることを前提とした設計手法を述べる。集線装置のパラメーター

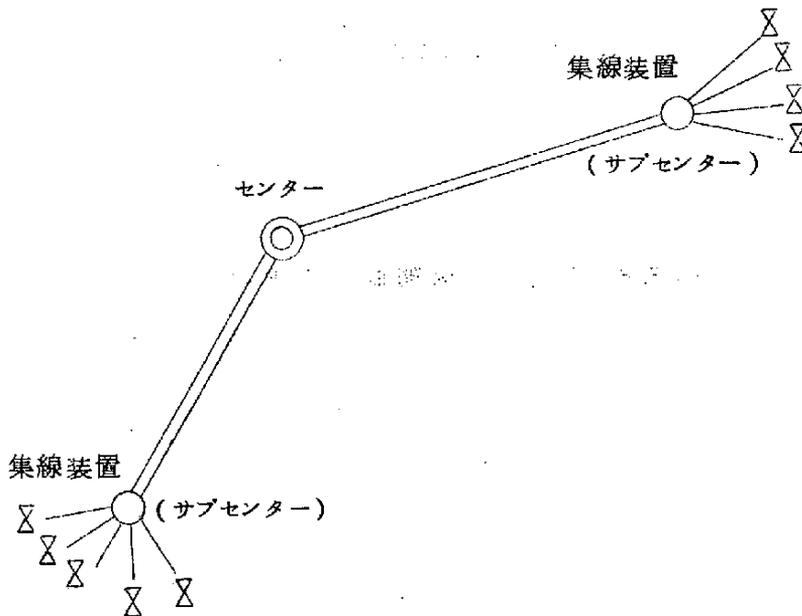


図 3.9 集線方式による網

としては、回線集束化率 $\eta$ を用いる。

$$\eta = \frac{\text{出力回線数}}{\text{入力回線数}} \quad (3.14)$$

いま、候補コンセントレータの集合を  $I = \{ 1, \dots, M \}$ 、端末集合を  $J = \{ 1, \dots, N \}$  とし全コストが回線コストと設備コストで与えられると仮定する。さらに計算のために、次の諸量を用いる。

$C_i =$  回線コスト (センターと集線装置  $i$  間)

$B_i =$  集線装置  $i$  とセンター間の回線数

$N_i =$  集線装置  $i$  の回線集束化率

$C_{ij} =$  回線コスト (端末局  $j$  と集線装置  $i$  間)

$A_i =$  集線装置  $i$  での収容可能端末回線数

$D_j =$  端末局  $j$  での回線数

$X_{ij} =$  端末局  $j$  と集線装置  $i$  間の回線数

したがって、伝送コストおよび設備コストは次のように表わすことができる。

伝送コスト (端末 — 集線装置間)

$$C_{cl} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (3.15)$$

伝送コスト (集線装置 — センター間)

$$C_{cl} = \sum_i^M C_i \cdot B_i \quad (3.16)$$

設備コスト (集線装置)

$$C_{cf} = \sum_{i=1}^M (H_i + G_i \sum_{j=1}^N X_{ij}) \quad (3.17)$$

設備コスト (センター)

$$C_{cf} = H_0 + G_0 \sum_{i=1}^M B_i \quad (3.18)$$

$H_i$  : 設備コスト (固定部分)

$G_i$  : 設備コスト (比例部分)

したがって、トータル・コストは上述コストの総和であり、以下のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Cost} = & \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{i=1}^M (H_i + G_i \sum_{j=1}^N X_{ij}) \\ & + \sum_{i=1}^M C_i \cdot B_i + H_0 + G_0 \sum_{i=1}^M B_i \end{aligned} \quad (3.19)$$

ところで集束化率は、集線装置の出力回線数  $B_i$  と入力回線数  $A_i$  の比で表わされる。

$$\eta_i = \frac{\text{出力回線数}}{\text{入力回線数}} = \frac{B_i}{A_i} \quad (3.20)$$

また、端末回線数については次の条件がなり立つ。

$$\sum_{i=1}^M X_{ij} = D_j \quad (j = 1 \dots N) \quad (3.21)$$

集線装置の回線収容容量については

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \quad (i = 1 \dots M) \quad (3.22)$$

の条件を設けて、端末回線を収容できる限度を与える。

最適化すべきことは、トータルコストが最小となるような集線装置の設置場所の決定であるので、集線装置設置の候補地点  $i$  について割当変数  $Y_i$  を導入し、 $Y_i = 1$  であれば設置し、 $Y_i = 0$  であれば設置しないこととすると、上記の (3.15) ~ (3.22) の式は、以下に示すように定式化できる。

目的関数

$$\begin{aligned} \text{Min} [ & \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (C_{ij} \cdot X_{ij} + G_i \cdot X_{ij}) \\ & + \sum_{i=1}^M (H_i + \eta_i A_i C_i + G_0 \eta_i A_i) Y_i + H_0 ] \end{aligned} \quad (3.23)$$

制約条件

$$\sum_{i=1}^M X_{ij} = D_j \quad (j = 1 \dots N)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \cdot Y_i \quad (i = 1 \dots M)$$

(3.23)

$$X_{ij} \geq 0$$

$$Y_i = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

$$B_i = \lceil \eta_i A_i \rceil + 1$$

以上の式を見て分る通り、これは数理計画法の問題に帰着でき、整数変数を式  
中に含むので、混合整数計画法と呼ばれる。この手法の特長は、(仮定した前  
提条件のもとで)最適解が直ちに求められる点にあるが、得られた結果に対し  
て、呼損率が許容値以内にあるか否かのチェックを行なう必要がある。

## 2) 他の手法

集線装置設置の候補地点を定め、呼損率の許容値以内で集線可能な端末回線  
を Select し、出力回線数を定め、端末回線の selection の組合せを種々  
に変えて経済的な構成を求め、さらに集線装置の台数を減少させながら、最適  
と考えられる網構成に導く cut and try 的手法が考えられる。この場合は、  
手順の複雑さを軽減するために、heuristic な手法などを導入することが肝  
要である。

### 3.2.6 マルチプレッサ利用における最適設計手法

マルチプレッサも、集線装置と同様の経済効果が期待される回線構成方式である。設計手法は集線装置利用の場合と同様のパターンとなるが、トラヒック量に関する制約条件がないのでより簡単である。ここでは3.2.5.の1)に示したものと同様の手法について述べる。

$I = \{ 1, \dots, M \}$  をマルチプレッサ設置候補位置集合、 $J = \{ 1, \dots, N \}$  を端末の集合とし、 $C_i, B_i, C_{ij}, A_i, D_j, X_{ij}$  は3.2.5節の定義の中、集線装置をマルチプレッサに置換えて考えた場合の諸量とする。さらにこれらの諸量は、回線種別に分けて定義し、その場合種別を示す添字を右肩につけることとする。(たとえば  $C^k_{ij}$  は  $k$  種回線の  $i, j$  間のコストを示す) システムコストは (3.19) 式と同一の形で導かれ、次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \text{Cost} = & \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_k C^k_{ij} \cdot X^k_{ij} + \sum_{i=1}^M (H_i + G_i \sum_{j=1}^N \sum_k X^k_{ij}) \\ & + \sum_{i=1}^M C^1_i \cdot B^1_i + H_0 + G_0 \sum_{i=1}^M B^1_i \end{aligned} \quad (3.24)$$

ここで、 $k$  は端末側回線の種別、 $l$  は多重化した高速回線の種別を示す。簡のため、 $l$  は1種別のみを考えることとする。いま、 $k$  種回線の伝送速度を  $S_k$  とすれば、マルチプレッサの多重化条件は近似的に

$$B^1_i = \frac{1}{S_1} \cdot \sum_k (S_k \sum_j X^k_{ij}) \quad (3.25)$$

と表わせるから、設計問題は次の如く定式化できる。

目的関数

$$\begin{aligned} \text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left( \sum_k C^k_{ij} \cdot X^k_{ij} + G_i \cdot \sum_k X^k_{ij} \right) \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^M \left\{ H_i + \frac{C^1_i}{S_1} \sum_k (S_k \sum_{j=1}^N X^k_{ij}) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{G_0}{S_1} \sum_k (S_k \sum_{j=1}^N X^k_{ij}) \right\} Y_i + H_0 \right\} \end{aligned} \quad (3.26)$$

制約條件

金澤市立大学経済学系 1971年

$$\sum_{j=1}^N \sum_k X^{kij} = Dj, \quad \sum_{j=1}^N \sum_k X^{kij} \leq Ai \cdot Yi$$

$$X^{kij} > 0, \quad Yi = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (3.2'6)$$

$$Bi^1 = \left[ \frac{1}{S_1} \sum_k (Sk \sum_j X^{kij}) \right] + 1$$

### 3.2.7 分岐方式における最適設計手法

回線網の構成として他によく用いられる方式には分岐方式がある。これは、センターからの同一回線上に2つ以上の端末装置を分岐接続するもので、通信回線のコストを直通方式に比較して大幅に軽減できる。さらに、センターからの出力回線数を少くできるので、センター通信制御装置の回線収容減による設備コストの軽減も期待できる。

しかしながら、分岐方式においては、分岐方式特有のシステム設計上の制約条件が与えられていることを忘れてはならない。

#### 制約

分岐方式での最大の制約は、同一回線上の複数の端末装置が同時には、センターと通信できない点である。したがって、回線速度は各分岐について一定で、通信制御の主導権をセンターが持つ、ポーリング・セレティング方式が通信制御方式として広く利用されている。

このため1時点で一端末からのみデータ通信が可能なので、各端末装置からのデータ量が設計上の考察の対象となる。

ここでは、同一回線上の全端末装置のデータ量を合計して、ピーク時における回線占有率が許容値以下になるよう分岐端末数に制限を設けることにする。

他に例えば特定通信回線利用の制度上の制約条件があり、一分岐回線に許される搬送区間数、分岐装置数、分岐回線からさらに分岐されることはないという条件等が設けられている。

分岐回線における最適化計算に用いられる諸量を次のように定義する。

$C_{ij}$  : 回線コスト(地点  $i$ ,  $j$ 間)

$R_i$  : 地点  $i$ における分岐装置コスト

$H_0$  : センターにおける通信コスト(固定部分)

$G_0$  : センターにおける通信コスト(比例部分)

全コストは次式で与えられる。

$$\text{Cost} = \sum_k \sum_{i, j \in L_k} C_{ij} + \sum_i R_i + H_0 + G_0 \cdot K \quad (3.27)$$

ここで、 $L_k$  はセンターからの回線  $k$  に接続される端末のグループで、 $K$  はセンターからの回線の総数である。

ところで、分岐方式を用いた回線網の最適化は、取扱い問題のモデルによって、手法が異なる。一般に、端末の数が多くなると、通常の組合せ論的な手段によって、全てのケースをチェックしていたのでは、考慮すべき組合せの数が非常に大きくなるので、たとえ高速の計算機を用いたにしても、膨大な時間と費用がかかり得策ではない。したがって、種々のヒューリスティックな問題解決のアルゴリズムを求めることが、各方面で進められている。以下に、分岐方式における、いくつかのモデルについて、最適解を求めるアルゴリズムについて記述する。

1) 分岐方式において、トータル・コストが、各端末を結ぶ回線コストの総和で与えられ、回線コストが、2 端末間の距離や回線速度によって一義的に決っている場合。

この場合、分岐点における分岐装置のコストは、回線コストに比べて無視できると仮定している。また、回線コストは、そこを流れるデータ量(トラヒック・フロー)に無関係であるとしているので、最適設計の始めに、どのような速度の回線を用いるか、与えられた回線オプションの中から選んでおき、この回線速度に対応する 2 端末間の回線コストを用いる。

最適ネットワークは次式を満足するネットワーク・トポロジーを決定することである。

$$\text{Min} \left( \sum_i \sum_j C_{ij} \right) \quad (3.28)$$

最適解を求めるアルゴリズムは、最小完全木 (Minimum Spanning Tree) を求めるアルゴリズムと同等である。

2) トリー状の網 (Centralized Network) において、遅延時間に制限

をつけた場合。(通常の回線分岐とは異なる)

一般に、制約条件がついた場合、最適解を求めることは容易ではなく、最適手法というものはまだみつかっていない。現在提案されているアルゴリズムは、ネットワークの規模が大きくなった時、いかに、少ない計算機容量と速い計算速度で、最適解にどの程度まで収束するかということをも、主としてグラフ理論の手法を用いて、ヒューリスティックなアプローチにより求めている。

その代表的なものが、Frank-Frishの提案するBranch Exchangeのアルゴリズムである。

これは、前述のトリーから出発し、枝(回線)に、回線コスト、遅延時間、容量を対応させ、遅延時間の制限内で、トータル・コストが最小となるような回線容量を決定するもので、図3.10にその手順が示されている。

3) 分岐方式において、回線利用率や分岐条件に制限が与えられた場合。

現実の分岐方式においては、一本の分岐回線に許容される回線利用率の最大値が外部条件として与えられるのが普通である。したがって、できるだけ許容回線利用率に近づくような分岐端末の組合せを求めることが重要である。この場合、制度上の分岐条件も満足し、トータルのコストが最小となるネットワーク形態を求めることが要請される。

いま、与えられた制約条件を満足する実行可能(feasible)なトリーの解を $T_m$ とするとき、そのときのトータル・コストを $C(T_m)$ として、これは次のように表わすことができる。

$$C(T_m) = \sum_k C_k + \sum_i \sum_j C_{ij} \quad (3.29)$$

次式を満足するような、トリー $T_0$ を求めることにより最適解が得られる。

$$C(T_0) = \min_m \{ C(T_m) \} \quad (3.30)$$

上記問題の解法アルゴリズムとしては、ヒューリスティックな手法に頼る他なく、次のようなものが考えられる。

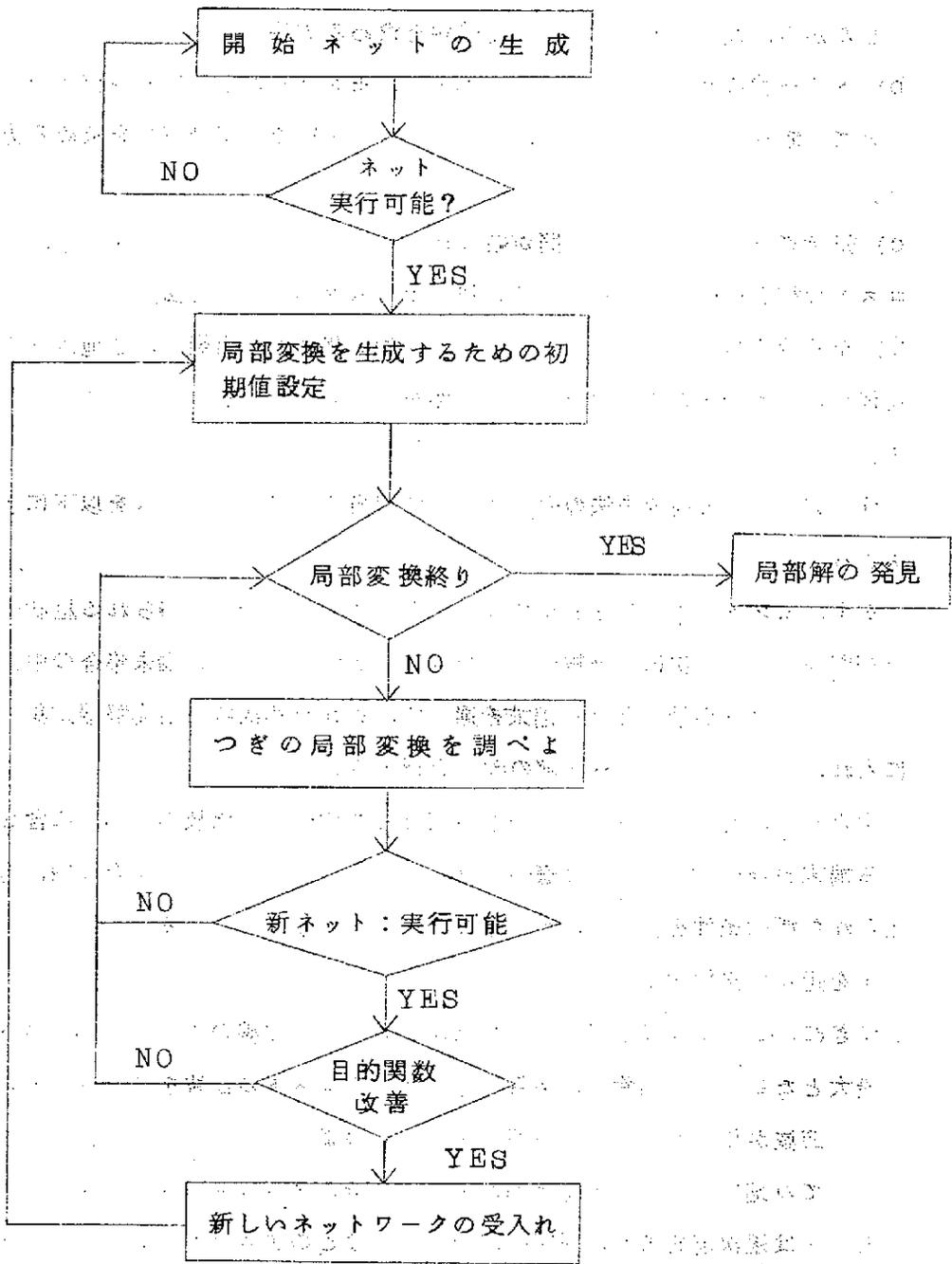


図 3.10 Frank-Frish の Branch Exchange アルゴリズム

- a) スター状の直通回線方式のネットワークから出発し、制約条件をチェックしながら、枝のおきかえにより最適解を求める方法。
- b) トリー状のネットワークを出発解とし、センターからのびる各枝集合について、制約条件をチェックし、枝のおきかえを行なって最適解を求める方法。
- c) 完全グラフ(全ての端末間が結ばれたネットワーク)から出発し、最大コストの枝と制限条件を満足しない枝を順次取除いていく方法。
- d) 全く回線のはられていないセンター、端末集合から出発し、2地点間の回線コストが最小となる対を、制約条件をチェックしながら接続していく方法。

分岐方式による構成方法の中上述のa)に相当するアルゴリズムを以下に説明する。

まず、センター  $\{V_0\}$  と全ての端末を直通方式で結んで得られる星状網を初期網とする。次に、分岐可能性チェックがすんでいない端末集合の中から、回線コストが最大となる端末を選んで、これを逐次解の出発解端末集合に入れ、以下の手続きで逐次解の改良を行なう。

すなわち、既にセンターから一本の枝として生成された枝集合  $L_x$  に含まれる端末集合中の端末と、最適性の評価がなされていない端末集合の内、与えられた制約条件を満足し、かつ分岐回線コストが最小となる端末の対  $(p, q)$  を選んで接続する。

つぎに、このようにして生成されたループをもつ回線の中で、回線コストが最大となるものを削除し、同時に新しい網のコストの節減をチェックし、コスト節減が得られれば新しい解とする。このようにして逐次解を順次生成し、全ての端末について上記操作が完了した時、アルゴリズムは終了する。図3.11は逐次解を求める説明図、図3.12はこのアルゴリズムのフローチャートである。図中  $n$  は端末局数、 $L_x$  は1本の分岐回線に接続する端末局集合、 $C(i, j)$  は回線コスト、 $R(q)$  は制約条件を示している。

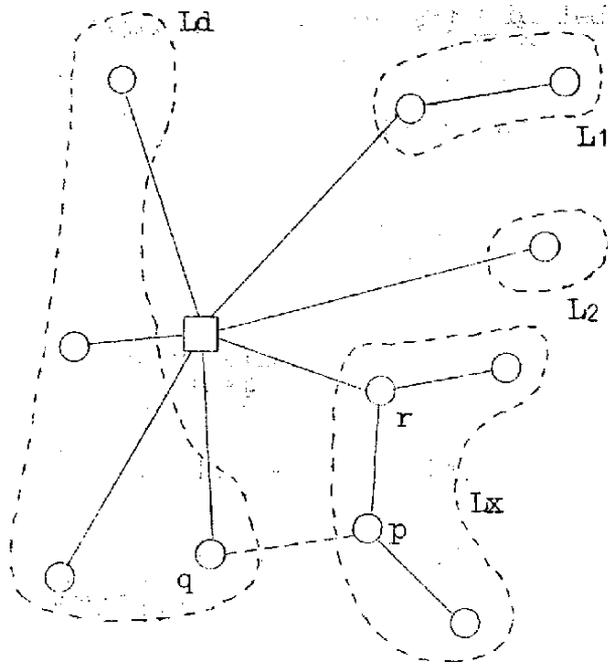


図 3.11 逐次解を求める説明図

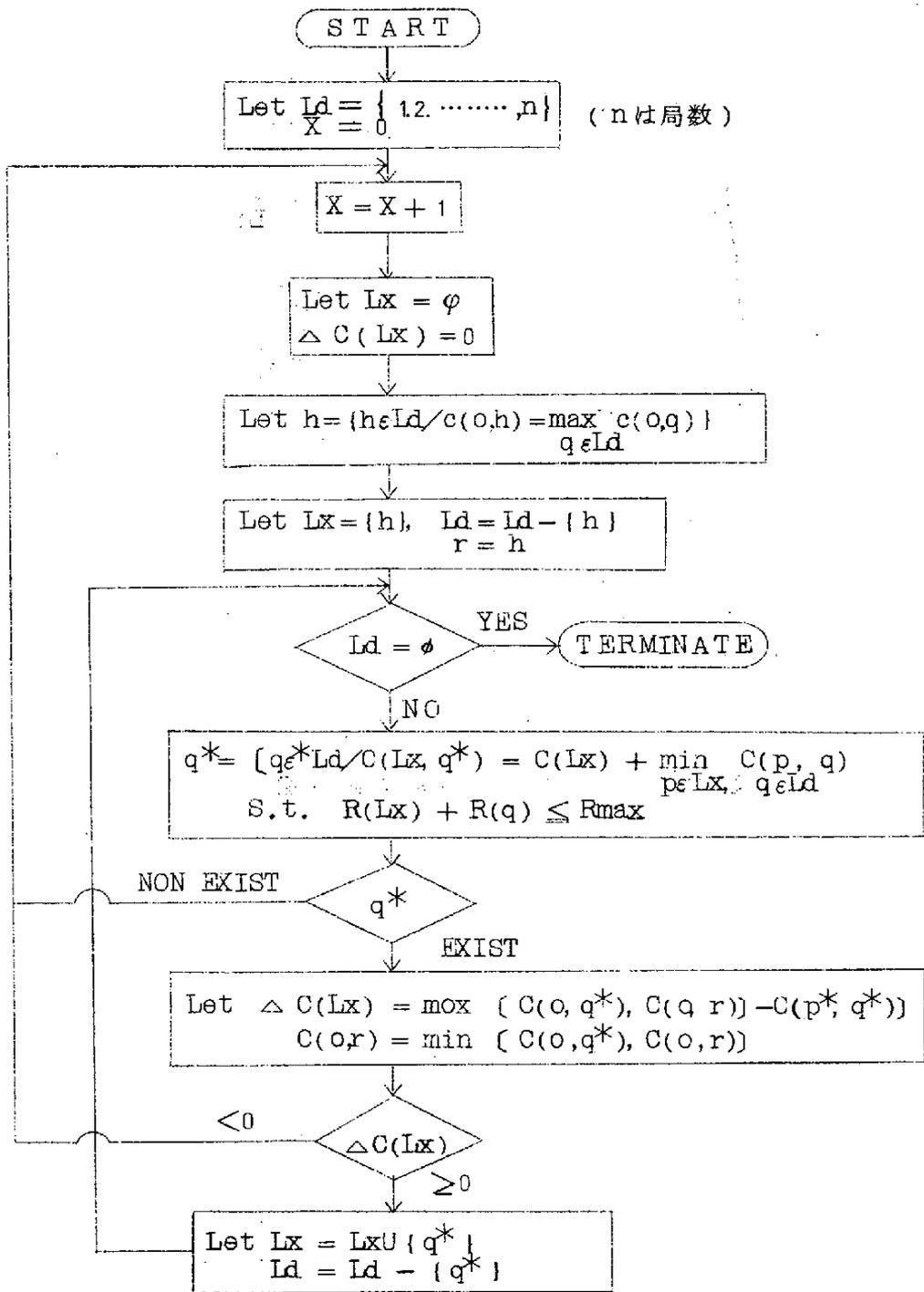


図 3.12 a) の方式によるアルゴリズム

#### 4. 設計上の具体的問題

本章では、これまで述べた回線網の最適設計手法に関し、設計データ等の具体的問題を補足的に取り上げて説明する。

##### 1) 回線コストの算出

専用回線を利用する場合、回線コストは、2地点間の距離に関係し、また回線の太さ(回線速度)に依存する。

一般に遠距離遞減則があつて、距離が長くなる程、単位距離当りのコストは安くなる。また回線速度が早くなる程、コスト・パフォーマンスは良くなる。つまり、2地点  $i, j$  間のコスト  $C_{ij}$  は

$$C_{ij} = f ( S_h, d_{ij} ) \quad ( 4.1 )$$

で与えられる。

ここで、 $S_h$  は離散的な回線スピードを表わし、 $d_{ij}$  は2地点間の距離を表わしている。日本国内を例にとれば、全国の代表的都市については、方形座標で、位置パラメータが与えられているので、これを  $(X_i, Y_i), (X_j, Y_j)$  とすれば、

$$d_{ij} = 2 \sqrt{ ( X_i - X_j )^2 + ( Y_i - Y_j )^2 } \quad ( 4.2 )$$

で求めることができる。

別に表 4.1 に示すような全国都道府県庁所在地間課金距離表も与えられているので、これを位置パラメータとして用いることも可能である。

さらに、もっと簡易な方法は、各回線速度に対する主要対地間回線料金早見表、表 4.2 を利用することで、これを用いれば、コストマトリックス  $C_{ij}$  を計算する必要がなくなる。

##### 2) 回線数の算定

端末機器の台数、トラヒック量、回線速度が与えられた場合、接続すべき回



→ D-1 (帯域使用)

	東京	川崎	横浜	名古屋	京都	大阪	神戸	広島	福岡	北九州	仙台	札幌
東京		( 19 ) <sup>km</sup>	( 29 ) <sup>km</sup>	( 269 ) <sup>km</sup>	( 374 ) <sup>km</sup>	( 408 ) <sup>km</sup>	( 435 ) <sup>km</sup>	( 687 ) <sup>km</sup>	( 899 ) <sup>km</sup>	( 846 ) <sup>km</sup>	( 302 ) <sup>km</sup>	( 829 ) <sup>km</sup>
		42 <sup>千円</sup>	57 <sup>千円</sup>	342 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	667 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	391 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>
川崎	( 19 ) <sup>km</sup>		( 10 ) <sup>km</sup>	( 260 ) <sup>km</sup>	( 365 ) <sup>km</sup>	( 397 ) <sup>km</sup>	( 425 ) <sup>km</sup>	( 678 ) <sup>km</sup>	( 889 ) <sup>km</sup>	( 837 ) <sup>km</sup>	( 321 ) <sup>km</sup>	( 847 ) <sup>km</sup>
	11 <sup>千円</sup>		19 <sup>千円</sup>	342 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	667 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	391 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>
横浜	( 29 ) <sup>km</sup>	( 10 ) <sup>km</sup>		( 253 ) <sup>km</sup>	( 358 ) <sup>km</sup>	( 390 ) <sup>km</sup>	( 417 ) <sup>km</sup>	( 671 ) <sup>km</sup>	( 881 ) <sup>km</sup>	( 829 ) <sup>km</sup>	( 331 ) <sup>km</sup>	( 856 ) <sup>km</sup>
	15 <sup>千円</sup>	4.6 <sup>千円</sup>		342 <sup>千円</sup>	391 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	667 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	391 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>
名古屋	( 269 ) <sup>km</sup>	( 260 ) <sup>km</sup>	( 253 ) <sup>km</sup>		( 106 ) <sup>km</sup>	( 141 ) <sup>km</sup>	( 167 ) <sup>km</sup>	( 419 ) <sup>km</sup>	( 631 ) <sup>km</sup>	( 578 ) <sup>km</sup>	( 497 ) <sup>km</sup>	( 960 ) <sup>km</sup>
	91 <sup>千円</sup>	91 <sup>千円</sup>	91 <sup>千円</sup>		184 <sup>千円</sup>	215 <sup>千円</sup>	256 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	667 <sup>千円</sup>	567 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	927 <sup>千円</sup>
京都	( 374 ) <sup>km</sup>	( 365 ) <sup>km</sup>	( 358 ) <sup>km</sup>	( 106 ) <sup>km</sup>		( 43 ) <sup>km</sup>	( 65 ) <sup>km</sup>	( 314 ) <sup>km</sup>	( 526 ) <sup>km</sup>	( 473 ) <sup>km</sup>	( 587 ) <sup>km</sup>	( 1,023 ) <sup>km</sup>
	117 <sup>千円</sup>	117 <sup>千円</sup>	104 <sup>千円</sup>	49 <sup>千円</sup>		90 <sup>千円</sup>	105 <sup>千円</sup>	391 <sup>千円</sup>	567 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	567 <sup>千円</sup>	927 <sup>千円</sup>
大阪	( 408 ) <sup>km</sup>	( 397 ) <sup>km</sup>	( 390 ) <sup>km</sup>	( 141 ) <sup>km</sup>	( 43 ) <sup>km</sup>		( 29 ) <sup>km</sup>	( 282 ) <sup>km</sup>	( 492 ) <sup>km</sup>	( 440 ) <sup>km</sup>	( 629 ) <sup>km</sup>	( 1,065 ) <sup>km</sup>
	117 <sup>千円</sup>	117 <sup>千円</sup>	117 <sup>千円</sup>	57 <sup>千円</sup>	24 <sup>千円</sup>		57 <sup>千円</sup>	342 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	667 <sup>千円</sup>	927 <sup>千円</sup>
神戸	( 435 ) <sup>km</sup>	( 425 ) <sup>km</sup>	( 417 ) <sup>km</sup>	( 167 ) <sup>km</sup>	( 65 ) <sup>km</sup>	( 29 ) <sup>km</sup>		( 254 ) <sup>km</sup>	( 464 ) <sup>km</sup>	( 412 ) <sup>km</sup>	( 652 ) <sup>km</sup>	( 1,081 ) <sup>km</sup>
	132 <sup>千円</sup>	132 <sup>千円</sup>	117 <sup>千円</sup>	68 <sup>千円</sup>	28 <sup>千円</sup>	15 <sup>千円</sup>		342 <sup>千円</sup>	495 <sup>千円</sup>	439 <sup>千円</sup>	667 <sup>千円</sup>	927 <sup>千円</sup>
広島	( 687 ) <sup>km</sup>	( 678 ) <sup>km</sup>	( 671 ) <sup>km</sup>	( 419 ) <sup>km</sup>	( 314 ) <sup>km</sup>	( 282 ) <sup>km</sup>	( 254 ) <sup>km</sup>		( 216 ) <sup>km</sup>	( 161 ) <sup>km</sup>	( 880 ) <sup>km</sup>	( 1,251 ) <sup>km</sup>
	178 <sup>千円</sup>	178 <sup>千円</sup>	178 <sup>千円</sup>	117 <sup>千円</sup>	104 <sup>千円</sup>	91 <sup>千円</sup>	91 <sup>千円</sup>		298 <sup>千円</sup>	254 <sup>千円</sup>	787 <sup>千円</sup>	1,167 <sup>千円</sup>
福岡	( 899 ) <sup>km</sup>	( 889 ) <sup>km</sup>	( 881 ) <sup>km</sup>	( 631 ) <sup>km</sup>	( 526 ) <sup>km</sup>	( 492 ) <sup>km</sup>	( 464 ) <sup>km</sup>	( 216 ) <sup>km</sup>		( 57 ) <sup>km</sup>	( 1,095 ) <sup>km</sup>	( 1,449 ) <sup>km</sup>
	210 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	178 <sup>千円</sup>	151 <sup>千円</sup>	132 <sup>千円</sup>	132 <sup>千円</sup>	79 <sup>千円</sup>		90 <sup>千円</sup>	927 <sup>千円</sup>	1,167 <sup>千円</sup>
北九州	( 846 ) <sup>km</sup>	( 837 ) <sup>km</sup>	( 829 ) <sup>km</sup>	( 578 ) <sup>km</sup>	( 473 ) <sup>km</sup>	( 440 ) <sup>km</sup>	( 412 ) <sup>km</sup>	( 161 ) <sup>km</sup>	( 57 ) <sup>km</sup>		( 1,039 ) <sup>km</sup>	( 1,394 ) <sup>km</sup>
	210 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	151 <sup>千円</sup>	132 <sup>千円</sup>	132 <sup>千円</sup>	117 <sup>千円</sup>	68 <sup>千円</sup>	24 <sup>千円</sup>		927 <sup>千円</sup>	1,167 <sup>千円</sup>
仙台	( 302 ) <sup>km</sup>	( 321 ) <sup>km</sup>	( 331 ) <sup>km</sup>	( 497 ) <sup>km</sup>	( 587 ) <sup>km</sup>	( 629 ) <sup>km</sup>	( 652 ) <sup>km</sup>	( 880 ) <sup>km</sup>	( 1,095 ) <sup>km</sup>	( 1,039 ) <sup>km</sup>		( 534 ) <sup>km</sup>
	104 <sup>千円</sup>	104 <sup>千円</sup>	104 <sup>千円</sup>	132 <sup>千円</sup>	151 <sup>千円</sup>	178 <sup>千円</sup>	178 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	248 <sup>千円</sup>	248 <sup>千円</sup>		567 <sup>千円</sup>
札幌	( 829 ) <sup>km</sup>	( 847 ) <sup>km</sup>	( 856 ) <sup>km</sup>	( 960 ) <sup>km</sup>	( 1,023 ) <sup>km</sup>	( 1,065 ) <sup>km</sup>	( 1,081 ) <sup>km</sup>	( 1,251 ) <sup>km</sup>	( 1,449 ) <sup>km</sup>	( 1,394 ) <sup>km</sup>	( 534 ) <sup>km</sup>	
	210 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	210 <sup>千円</sup>	248 <sup>千円</sup>	248 <sup>千円</sup>	248 <sup>千円</sup>	248 <sup>千円</sup>	312 <sup>千円</sup>	312 <sup>千円</sup>	312 <sup>千円</sup>	151 <sup>千円</sup>	

(備考) 1) 上段は課金距離(km)を、下段は回線専用料金または回線使用料金を示す。  
 2) D-1の回線専用(または使用)料金は、基本回線専用料と4線式加算を加えたものである。

表 4. 2 主要対地間課金距離および回線料金早見表

線数を求めることが必要な場合がある。端末局にターミナルコントローラを置き、複数台のターミナルを制御して回線に接続する場合、トラヒック量が増大して一本の回線で収容できなくなったときの回線増設、集線装置の入出力回線数の決定などの場合にこのことが必要である。

この場合、最繁時のトラヒックの発生のみかた、呼が回線を保留する時間の分布、回線の接続方法、許容される呼損率をもとに必要な回線数が算出される。

これには、加入電話回線の算出に用いられるアランの式を近似的に使用できる。つまり、1) 呼の発生の確率はランダム

2) 呼の保留時間は負の指数分布

3) 接続は即時

という仮定のもとに、 $a$ を呼量(トラヒック密度に相当)、 $N$ を回線数、 $B$ を呼損率(サービス・グレードに相当)とすると、 $B$ は次式で計算できる。

$$B = \frac{a^N / N!}{\sum_{i=0}^N \frac{a^i}{i!}} \quad (4.3)$$

これより、ある端末局におけるトラヒック量が与えられた時、サービス品質が外部条件で規定されれば、回線速度と必要回線数が決定できる。

集線装置の出力回線数を算定する場合には、(4.3)式の $a$ を、入力回線全体に対する呼量として用いればよい。

3) 最適設計アルゴリズムについて

集線装置の最適配置は、3.25で述べたモデルのように、目的関数および制約条件が線形関数の場合は、混合整数計画法を用いて最適解を求めることができる。

この場合、どの端末がどの集線装置と接続すべきかという端末回線の配分は(3.23)式の変数 $X_{ij}$ に対応し、候補集線装置を放置すべきか否かを割当変数 $Y_i$ (0または1)に対応させて解く。

したがって、混合整数計画法を用いれば、一度に最適な集線装置の位置と数

およびその規模が求まるのが特長である。

しかしながら、混合整数計画法は、モデルの大きさが大きくなると計算時間が飛躍的に増大し、実用上問題がある。そのために種々の解法アルゴリズムが検討されているが、Branch and Bound法により、整数条件を除いた一般の線型計画法より出発する解法が一般に広く用いられている。

ソフトウェアではIBM社の数理計画法パッケージ(MPX-MIP)などが代表的なものとして使用可能である。

集線装置の配置を求める入力データとして、 $A_i$  (集線装置の回線収容容量)、 $H_i$ 、 $G_i$  (放備コストデータ)、 $\eta_i$  (集束化率)は、集線装置関連データとして、候補集線装置単位に一まとめにして与える。また、 $D_j$  (端末局回線数)、は端末関連データとして、端末局位置データと共に与える。

さらに、任意の2地点間のコストが既知の場合は、コストマトリックスとして与えることになる。

#### 4) 各方式による網の最適設計の結果の比較と評価

各方式の比較・評価に基づき最適な方式が選択されるが、更に2つ以上の方式の組合せの可能性がないかどうかチェックする。組合せの種類は、いくつか考えられるが、全てのケースについて機械的に行なうことは、膨大な計算時間を必要とし、無駄であるので、ヒューリスティックな方法を用い、これまでの結果を参考にして、組合せの対象となる端末群を予め定めておくとよい。

センターとトラヒック量の多い地点は中速回線のマルチプレクサを介して結んだり、端末局がある程度かたまっている所には集線装置を配し、それらと分岐方式を組み合せるということも考えられる。この場合、マルチプレクサや集線装置位置は決定されたパラメータとして優先順位を与え、それに対して以後の分岐の可能性チェックをした方が手数が少なくてすむ。

#### 5) 計算機利用に関する問題

回線網最適設計手法は、計算機を活用する立場で計算のアルゴリズムを開発することが重要な問題である。また、必要なデータは、その都度inputする

よりは、データベースの形で予め用意しておく方が便利であろうし、設計 process を円滑に進めるために、パラメータの設定、変更等が自在に行なえる形式のマシンのシステムを活用することが有効である。また設計の出力としての計算結果は、最適センター位置やマルチプレクサ、集線装置等の位置に関するものと、どの端末局と接続すべきかという構造に関するもの、さらに回線コストや設備コストに関するもの、ネットワーク上の応答時間等性能に関するものが含まれる。

さらに、結果を一目で理解しやすいように X-Yプロッタで図示すると好都合である。回線網の構成はこれで非常に明確になるが、余裕があれば、センター等の設備規模と構成例などもプロッタ出力すれば、更に好都合であると思われる。

## 5. 結 言

以上、オンラインシステムの経済的構成のための設計問題について述べた。ここで説明した具体的設計手法のいくつかは既に開発されているが、多くの具体例に対して有効な手法へ発展させるためには、アルゴリズム、ソフトウェアの面で、更に開発を進めることが必要であり、遠からずそれが実現されることになる。このような設計システムの望ましい姿としては、図5.1に示すような形式を考えることができる。即ち、通信網に関する各種データを管理するデータベースを土台とし、予測、設計、評価のプロセスを経て、最適の通信網を決定する設計の流れを扱うソフトウェア、ハードウェアシステムの活用である。予測、設計のアルゴリズムには、ソフトサイエンス手法を導入し、本報告で述べられた各種の最適化手法が含まれ、グラフィックディスプレイ、TSS端末等による対話的処理により能率よい設計と評価が可能な方式が取り入れられよ

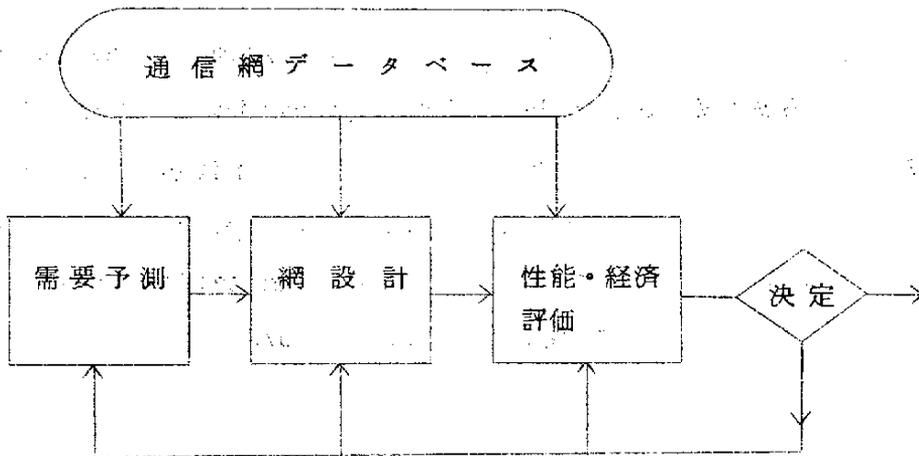


図 5.1 通信網経済性設計システム概念

う。このような設計システムの開発は、一般的なオンラインネットワークの構成設計のみでなく、網管理方式等、運用面での方式設計にも有効に活用されるものと思われる。

#### 参 考 文 献

- 1) 植田 "通信回線利用マニュアル" 企画センター
- 2) 小野, 浦野, 井上 "コンピュータ・ネットワークにおけるトポロジーの考察" 昭和48年情報処理学会大会
- 3) H.Frank et.al "Optimal Design of Centralized Computer Networks" Proc.ICC (70-Cp)
- 4) 勅使河原他 "回線網の経済化設計プログラム (NETS)" 電子通信学会研究会資料 昭48年9月
- 5) 小野, 浦野, 井上 "マルチポイント接続による回線網最適化アルゴリズム" 昭和49年電子通信学会全国大会
- 6) IBM "MPS (Mathematical Programming System)"
- 7) D.E.Gourley "Data Communications:Initial planning" Datamation.Oct.1972 p.59
- 8) N.R.Pyes "Planning a Data Communication System" Datamation,Nov.1972,p74

請求 番号日	48-7-7	登録 番号	
著者名	日本情報開発協会		
書名	ホライズ最速ネット7-7モデル(概要計画編)		
所属	帯出者氏名	貸出日	返却 予定日

