

# 国鉄ネットワークにおけるフロー制御について

荻野隆彦, 三木彬生, 近谷英昭  
(日本国有鉄道 鉄道技術研究所)

## 1. はじめに

国鉄における情報処理システムの発展は、昭和35年のMARS1導入以来、旅客のみならず、貨物、運転の各分野に及んでいる。これらのシステムは、それぞれが自律的にその機能をはたすように設計されているが、各システムの機能が複雑になり、サービスの多様化、質の向上にともなって、個々のシステム内だけでその変化に対応するのが不可能、又は不経済になって来ている。いっかえれば、個々のシステムを統合する事、あるいはシステム間通信を容易に行なえるようにする事が必然的な要求となって来た。これが国鉄においてコンピュータ・ネットワークを作り、システム間通信の標準化を行う事の大きな要因である。

本稿では、国鉄の実状に適応したネットワークの形態を与え、シミュレータを用いたサブネットのルーティング、フロー制御等についてのシミュレーション結果と、その問題点について述べる。

## 2. 国鉄ネットワーク

### 2.1 ネットワークの目的

まえがきでも述べたように、国鉄においてネットワークを作る場合の第1の目的は、多数システムの有機的結合体であるトータル・システムの建設である。

この為、国鉄ネットワークにおいてシェアするリソースは、各システムの持つデータが主たるものとなる。しかしながら結果的には端末や、各システムの持つ通信系の共有が大きな比重を持つ。その理由として、次項で述べるように、国鉄においてはMARSという大量、中央集中型負荷がネットにかかる事が多い。その負荷は午前9時以後のわずかな時間に集中し、他の時間は比較的閑散とする。これはMARS用の回線としてネットワークを建設すれば、他のシステムは専用の通信系を作らなくても、このネットワークを共有する事が出来、投資額に対する効果が大きい事を意味する。その他に、端末数は、システムの増加、拡張に際して増加しているが、負荷の小さな端末は共用する事にすれば、金額的にも、設置場所の面でも利益が多い。以上がネットワークの目的や効果である。

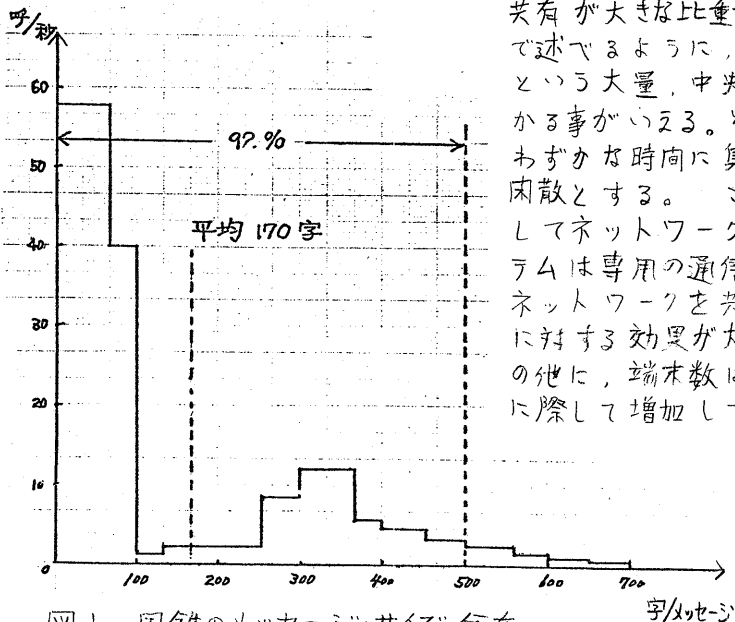


図1 国鉄のメッセージ・サイズ分布

## 2.2 伝送データ特性

図-1は、国鉄のシステムと端末等の間に取り交しているメッセージ長分布である。平均が170字であり、92%までが500字以内におさまっている。数10K〜数100K字の長大メッセージもあるが、量的には少なく他のトラヒックから見ても無視しうるものである。これは、量的に国鉄のデータ特性が、MARSメッセージと呼ばれるタイプのメッセージに支配されるからである。このメッセージの特徴は、中央に集中し、比較的メッセージ長が短く（特に地方からくる発券申込みのメッセージは50字以内）、1秒間に70コール以上のトラヒックが短時間に集中する事である。（9〜10時に1日のトラヒックの1/3が集中する）国鉄ネットワークにおいては、このMARS負荷の処理が大きな問題となる。

## 2.3 その他の問題

### (1) 安全性

国鉄では、端末から有価証券を発行するものがある為、データの安全性を十分考慮しなければならない。座席予約などの場合には、席の二重発売防止、MARS端末以外の端末からのアクセス禁止、又逆に他のシステムが、MARS端末に発券する事を防ぐなどという事を考えねばならない。共用すべきリソースにどのようにプロテクションをかけるかは、今後に残された問題である。

### (2) 公平性

予約システムに共通の問題であるが、現在の“早いもの勝ち”の論理をこのネットワークに適用した場合、地域的な格差を作らないように要求されるであろう。それは1つは、各地域から予約システムへの経由段数を一定にする事であり、もう1つはそのパスの大きさを一定にする事である。上記論理の修正を行な、たとしても、この要求はネットワーク・トポロジーに制約を与えるであろう。

## 3. サブネットの形態

サブネットは上記の特性を吸収出来るものでなくてはならない。以下、交換方式と、ネットワーク・トポロジーの2つに分けてサブネットを議論する。

### 3.1 交換方式

交換方式としては次の3種が考えられる。

- (1) 回線交換
- (2) メッセージ交換
- (3) パケット交換

回線交換はFDM方式のものではなく、PCM回線を用いたTDM方式を意味している。この方式では伝送容量も大きく取り、接続時間も比較的短い為、メッセージのタイプによってはこの交換が有利と思われる。現実のネットワークでは、既存設備の問題もあり、現時点では、伝送効率、遅延を考慮して、FDM方式のパケット交換を想定している。ただし全国的なPCM網が張り巡らされた時には回線交換とパケット交換（キャリアはPCM回線）のハイブリッド網も考えており、両網への乗り込み等の検討も行なっている。パケット交換において、サブネット内でリアセンブルをおこなうか否かは、問題点が多い為、シミュレーションも含めて検討をつづけている。

### 3.2 ネットワーク・トポロジ

サブネットのトポロジは、一般的には集中型と、分散型に分けられ、その長所、短所が議論されて来ている。国鉄においては、データが中央システムに集中し、しかもそのシステムが地理的に集まっている事(集中型に有利)、拡張性や信頼性に重点をおく事(分散型に有利)から、図2のような中向型ネットワークを想定している。

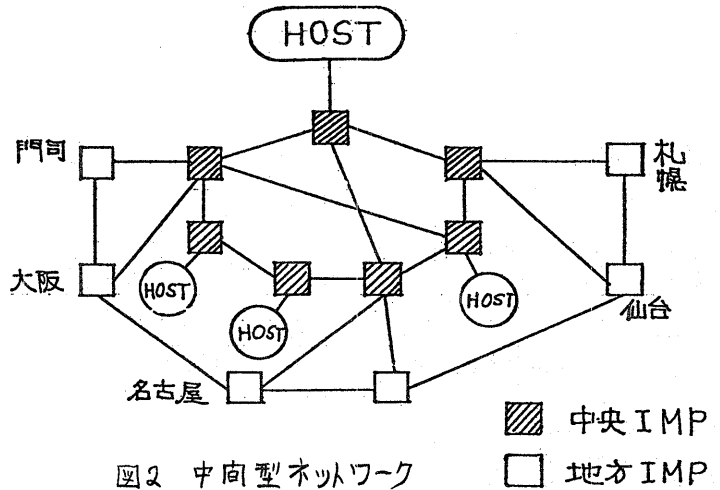


図2 中向型ネットワーク

これは、両者の利点を取ったもの

であって、地方IMP群から見ると中央IMP群という高位のIMPへの集中型であり、中央IMP群は分散型である。このハイアラキを、各IMP群のハード、ソフトにも与える事が考えられ、ルーティング、IMPを結ぶ通信回線等が違ってくる。

### 4. 国鉄ネットワークの向題点

今までネットワークの形態や、それににかかる負荷をみてきたが、もう少し具体的にネットワークの向題点を考える

#### 4.1 リアセンブリ

パケットリアセンブリをサブネット内で行なうかどうか、又そのやり方が向題となる。ARPAで指摘されているようなリアセンブリ・ロックアップは、国鉄ネットのような高トラヒックが集中するネットワークでは十分考えられる事である。そこでリアセンブリについて次のような事が考えられる。

- (1) サブネットではリアセンブリを行なわない。
- (2) ARPA流のリアセンブリ領域予約方式を取りロックアップを防ぐ。
- (3) ユーザレベルプロトコルでフロー制御を行行、サブネットは無対策。
- (4) リアセンブリ専用のプロセッサをHOSTの前につける。
- (5) サブネットはリアセンブリ能力は持つが、極力使用しない。
- (6) メッセージ長を数種類もつける。

(1)は一番簡単な方法である。HOSTは広いバッファと大きな計算能力を持つ為、色々向題の多いリアセンブリをサブネットで行なうのはやめて、ユーザレベルで行うものである。国鉄のようにネットワークのメーカとユーザが同じであり、比較的メッセージ長が短い為、パケット長を大きく取り、リアセンブリの比率を小さく出来れば、有利な方法である。

(3)は発HOSTと着HOSTのそれぞれに、端末と処理プロセスをシミュレートする仮想的なプロセスを発生し、この仮想プロセス間のプロトコルで発、着HOSTのトラヒックを制御しようというものである。MARS負荷のように、

1つのHOSTに集中し、かつ量のおおきいものが、この方法でフロー制御をおこなえば、他のトラヒックは誤差の内に入り、集中したトラヒック数を安全圏に保つことが出来、リアセンブリ・ロックアップが防げる。 図3参照

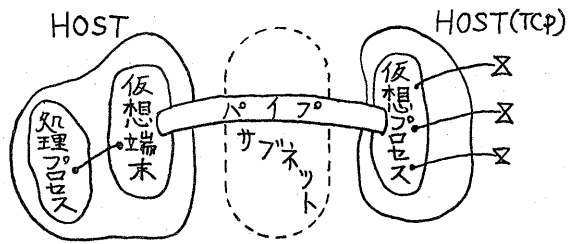


図3 プロトコルによるフロー制御

(4)は専用プロセッサが必要であるが、(1)案を採用した場合の、能力不足のHOSTに向けての対策として意味を持つ。

(5)は運用上の問題である。大半のHOSTは(1)の方式を取るが、小さな端末などに対してはリアセンブリをおこなうものである。これも高位のプロトコルで制限すれば、特別な対策を取る必要はないであろう。

(6)はリアセンブリ領域の節約を考えたものであり、国鉄のように業務の内容が決まっている時は、メッセージ長を数種選択して使う事が有利であると思われる。

#### 4.2 高トラヒックIMP

MARSなどのIMPは1つのミニコンなどでは能力的にカバーしきれないので何らかの対策が必要である。ロッキード・SUIEのようにIMPをマルチプロセッサにする方法があるが、図4のようIMPを複数にする方法もある。このやり方ではIMPのアドレス方式に問題があるが、これは、マルチIMPを1つの名前アドレスするvirtual address方式か、プロセス間プロトコルでIMPを指定する方式で解決できる。

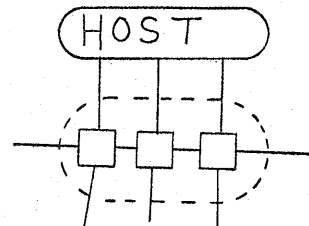


図4 マルチIMP

#### 4.3 TCP

Terminal Control Processor の略であり端末を専門に扱うHOSTである。今までの議論では端末はすべてこのTCPにつながっている事を前提にしている。図3の右のHOSTはこのTCPの事である。TCPについてはファイルを持つかどうか、又端末からへの情報の安全性が問題となる。

#### 4.4 回線速度

中央IMP群と地方IMP群のカットセットを取れば明らかのように、図2の場合、回線速度が48kbpsでは、今後のトラヒック量をまかなえない。そこで、より高速の回線の利用が考えられ、新データ網のようなPCM高速回線の使用も考えている

#### 4.5 プロトコル

プロトコルは、現在検討中であるが、完全に階層化された体系を考えており、図3のようにユーザレベルでの階層化も考慮している。又ルーティング、フロー制御については項を変えて詳しく検討する。

## 5. シミュレーション

今まで国鉄ネットワークについて色々考察してきたが、ここでは図2のネットワークに負荷を乗せてシミュレーションを行う事とする。シミュレータはFORTRANをベースにしたGPSSタイプのものである。現在は、ルーチングフロー制御に関してのシミュレーションを行っているが、ここではまず次の目的で行ったシミュレーション結果を述べる。

### 5.1 シミュレーションの目的

- (1) ネットワークの容量
- (2) IMPのバッファ・サイズ
- (3) ルーチング ) 必要小生
- (4) フロー制御
- (5) パケット・サイズ

### 5.2 シミュレーションの仮定

- (1) ネットワークの形態： 図2の中向型ネットワーク
- (2) CPU処理時間： 200~800μs
- (3) 回線速度： 50Kbps
- (4) 発生メッセージ分布： 図1を指数分布で置き換えたもので、最少10字 最大800字
- (5) 発生メッセージ数： 片側(中央⇄地方)1時間に56万件。図中のトラフィックの項はこれを1.0の発生個数とした時の比を表わす。
- (6) メッセージ長： 最大8パケット。
- (7) 伝送制御方式： ACK-タイムアウト方式(旧ARPA式)
- (8) 伝播遅延：  
300km → 1mS  
モデム遅延 → 15mS
- (9) パケット長： 120字
- (10) ヘッダ長： 12字

### 5.3 結果

#### (1) ネットワーク容量

図5はネットワークのスループットの入力データ量に対する変化を示したものである。T.Fとはスループットファクターの略であり、ネットワークに流入するデータ量と流出するデータ量の比であり、正規化する為を用いた。

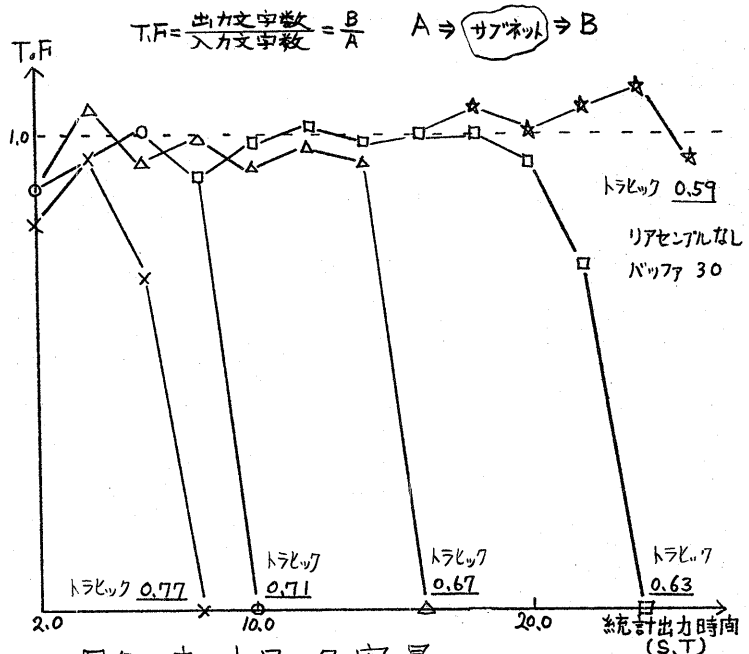


図5 ネットワーク容量

横軸は統計出力時間(S.T)である。ただしこの統計は2秒間ごとのものであって、統計出力ごとに値をクリアしており最終統計量への途中結果ではない。図5の特徴は、上記の事を考慮しても、T.Fの変化の急激な事である。これは積分的なデータ総量がネットワークをパンクさせるだけでなく、微分的な短時間のデータのバーストも大きな比重を占める事を示している。この例では特にバッファサイズが小さい為、これがより顕著にあらわれている。

### (2) IMPのバッファサイズ

図6にバッファサイズを変えた時のスループットを示す。なおバッファサイズは、パケットの個数で表わしている。これから、一定のトラフィック量が決るとそれに必要なバッファの下限が決る事がわかる。ただし許容範囲は狭く、これもバーストを回避する事が出来るかどうかに向題である事を示している。

その極端な場合が図7である。どちらもある時間後にサブネットはダウンするが、常態に反して回線のエラーのない方が早くダウンする。これは次のように解釈されるであろう。一つはこのメッセージはリアセンブルされる為、エラーがないと目的IMPに早く到着し、リアセンブル・ロックアップが起った。もう一つは、エラーがあるとデータのバーストがなられ、ネットワークのダウンまでに時間がかかった。どちらにしてもデータのバーストが向題であり、フロー制御の重要性がわかる。

### (3) ルーティング

図8は、固定ルーティングであるが、方針を変えた2つのものに対するネットワークのスループットを示している。

均等ルーティングとは、図2の各IMP(これにHOSTがついてると考えてシミュレーションを行なっている)から相手の階層のIMP群へ向って(中央か

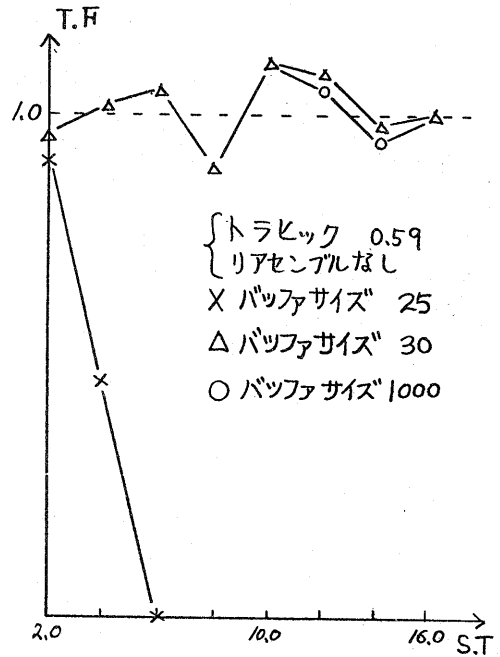


図6 バッファサイズの変化

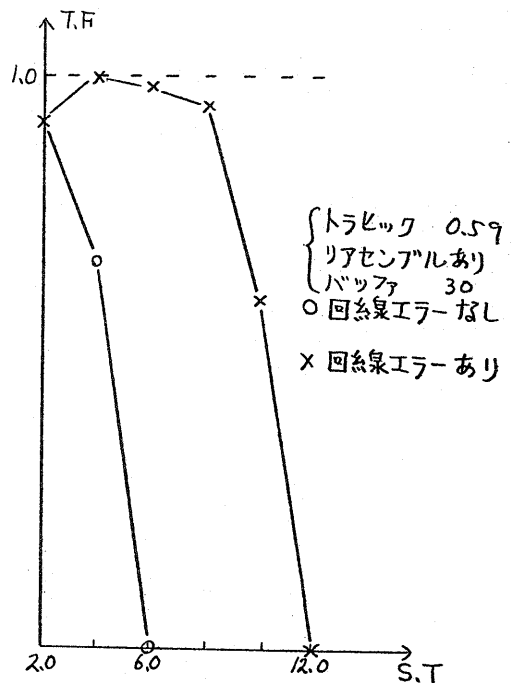


図7 バーストの影響

ら地オIMP群へ、又々の逆方向に)均等にメッセージを送出しているとした場合に対して(今回のシミュレーションの場合)、各IMP、回線になるべく均等に負荷がかかるようにルーティングしたものである。ただし採用したものは最適のものではない。不均等ルーティングは、特定のIMPにメッセージの集中する事を考え、そのIMPの交換負荷を最少にするよう極力他のIMPの迂回を考えたルーティングであり、MARSの存在を想定して作ったものである。

結果は予想されるように、均等負荷に対し、不均等ルーティングではネットワークはすぐにダウンした。この事から負荷の形に適応するルーティングの必要性がわかったが、現在のシミュレーションによると、負荷の形の小さなばらつき(乱数的なもの)に対しては、ルーティングを不用意に変えない方がよいという結果も得られている。

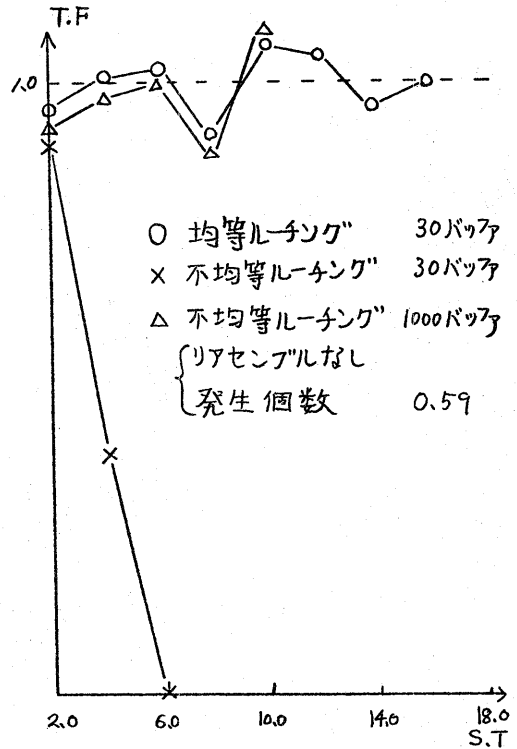


図8 ルーティングの違い

(4) パケット・サイズ

図9はパケット・サイズの変化に対する各項目の値である。バッファ・領域は、すべて120×64字分であり各パケットサイズに従って個数は異なる。データ長が、図1のように比較的短い事などから、パケットサイズが大きくなる割には、各項目の変化が緩慢である。ただし、バッファ使用率だけはパケットサイズの変化に最も影響を受けやすい事が示されている。

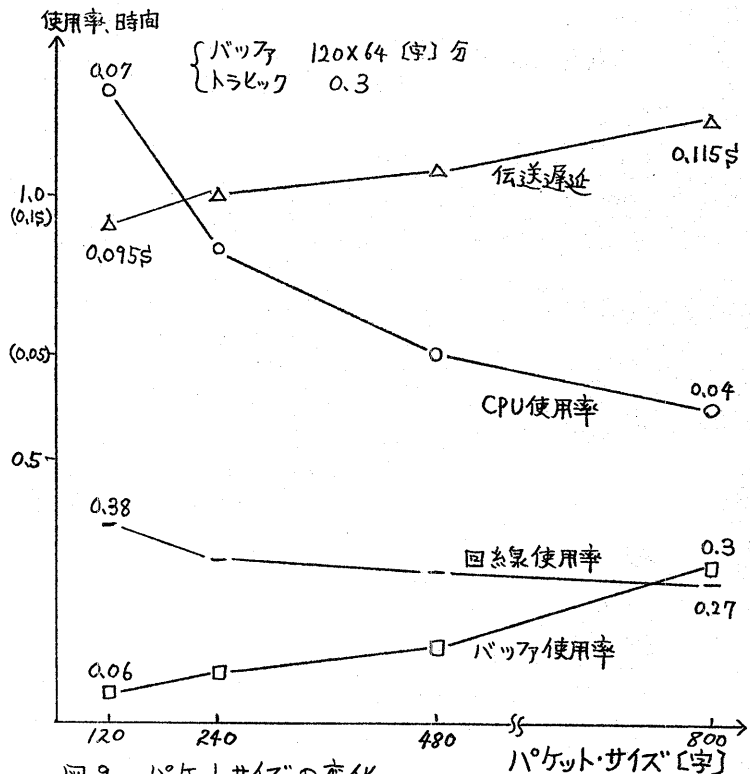


図9 パケットサイズの変化

## 6. ルーティングとフロー制御

ルーティングとフロー制御が、分散型(中間型)ネットワークで重要な位置を占める事が、シミュレーションでわかったが、この2つは表裏一体となっており、両者の境界が画然としない面がある。それを逆に有効に用いる事も考えられるが、ここでは、サブネット内に入ったメッセージを速やかに目的H O S Tに届ける為のルーティングと、容量以上のメッセージをサブネット内に入れない為のフロー制御とに分けて考える。

### 6.1 ルーティング・アルゴリズム

ルーティングの方法は大別して図10のように分類されるであろう。

ネットワークの拡張、メンテナンスの為にはトポロジに無関係なものが望まれる。国鉄においては次のような代案が考えられよう。

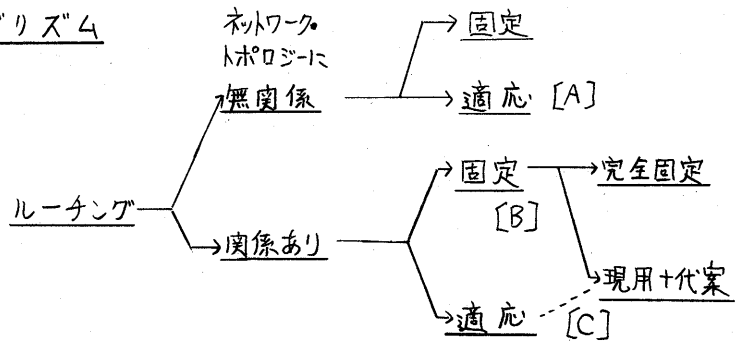


図10 ルーティング法の大別

#### 6.1.1 国鉄ネットワークのルーティング案

現在の段階で国鉄ネットワーク用のルーティングを完全に決定する事は困難である為、まずいくつかの案を提出する。尚図10のBグループの完全固定は障害の点から実用的でないの、以下固定ルーティングとは、何らかの形で予備を持っているものとする。

##### (1) 地方IMPにおけるルーティング

国鉄においては前述のようにハイアラキを持つ中間型を考えているように、トラヒックは、地方IMP群から、中央IMP群への集中データが主なものとなる。したがって、障害時以外は、中央への直結パスを選ぶ、固定ルーティングが程当であろう。

##### (2) 中央IMPにおけるルーティング

中央IMP群は、負荷の変動に対応する必要があり、次のような案が考えられる。以下Aの特徴を述べる。

##### (a) 固定ルーティング

国鉄のトラヒックはMARSによるものが大半である為、容量、ルーティングをMARSピーク時に合わせておけば、他のトラヒックについてもまかなえるものである。この場合、安全係数の問題とか、トラヒックパタンの変更の時の問題を残す。

##### (b) 時間帯毎固定

全体のスループットの点では(a)案でまかなえるかも知れないが、他のトラヒックパタンの時に伝送遅延が大きくなる恐れがある。国鉄のトラヒックは時間帯毎の変化パタンの予見がある程度可能な為(昼は旅客、夜は貨物と変化する)、数



個のルーチングを用意し、時間帯で切替えて使用する。これは切り換え時に不測のトラヒックの流れを生む可能性がある。

#### (c) 固定+ランダム

目的IMPに対する出線の候補を複数個用意しておき、各メッセージ送出ごとにランダムに選ぶ。伝送遅延は大きくなってても、障害に対してルーチングの変更を意識せずにする利点がある。メッセージカーループしないうえの対策がいるかもしれない。

#### (d) デイレイベクトル方式(I)

ARPAのデイレイベクトルからルーチングテーブルを作製する手順をそのまま採用する。デイレイベクトルの伝送というトラヒックのオーバーヘッドがあり混雑時のオが送りたい情報がふえるという矛盾がある。この手法は、デジタル的に選択経路が変わる為、高トラヒック時には、新たな問題を生む可能性がある。

#### (e) デイレイベクトル方式(II)

ルートの変更を頻繁に行う事は、逆に混雑の原因となる(切り換え時のバーストの問題)可能性がある事か、シミュレーションで出て来ている為、デイレイの差がある程度以上になるまでルートを変更しない。

#### (f) デイレイベクトル方式(III)

サブネットのロックアップの直接原因はバッファのオーバーフローであるから、デイレイベクトルに、バッファ使用率を何らかの形で加える。これも単純に行うと、遅延をかえって増大させる事になる。

#### (g) デイレイベクトル方式(IV)

ARPAの場合は、デイレイベクトルからルーチングテーブルを作製し、それによりルーチングを決定しているが、これをデイレイベクトルをそのまま保持し、出線の決定を、デイレイ値の函数を用いて行う。これは函数を適当に選ぶ事により出線の切り換えを連続的に行なえる利点がある。

#### (h) 集中コントロール

データ用のネットワークの他に、ネットワークのコントロール用の(中速)回線を、コントロールセンタに集中し、ルーチングに関する情報を集め、そこからルーチングに対する指示を与える。制御用の回線を別に作るオーバーヘッドがあるがこの方式はかなり理想的な制御が出来る可能性がある。しかし集中センタの障害や、コントロール回線の異常時にも、トラヒックに混乱を起こしてはならないし、この方式を用いてもルーチングのアルゴリズムをどうするかという問題は残る。

## 6.2 フロー制御

フロー制御には一般的に2つの問題がある。1つはそのアルゴリズムでありもう一つは、メッセージを抑止をした後のバーストの危険のない再開の方法であ

る。後者は、停電の時の運転再開の問題と同様であって抑制した為にかえってネットワークをダウンさせる事になりうる。

現在アルゴリズムとして代表的なものは、ARPAのリアセンブル領域予約方式と、NPLにおける *isarithmic* フロー制御である。後者はネットワーク内のパケット数を一定にし、フローの最大値を、危険なレベル以下にするものである。これはネットワークの容量をかなり低い点で抑えてしまう感があり、トラヒックの高い国鉄では実用的でない。現在考えられる方法は次の通りである。

#### (1) ARPA方式

#### (2) ユーザレベル・プロトコルによる方式

リアセンブルの項でも述べたように、図3のような方法で、トラヒックの多いシステムが総データ量、発生間隔等を抑制すれば、サブネットのオデは強いて行う必要がないであろうとするものである。特にシミュレーションで、発生間隔が短くなると、スループットの下がる事がわかっており、その意味でもこの方式は、サブネット内の制御と平行して行うべきである。

#### (3) 発IMP規制

混雑の起ったIMPが、自分に接続しているHOSTからのフローを止める。簡単な方法であるが、本質的な解決にはならないであろう。

#### (4) 着IMP規制

混雑の起ったIMPを目的とするメッセージをHOSTから受け付けるのを止める。これは集中コントロールを用いている時は容易に実現出来るであろうがそうでないと次第になる。中向IMPの混雑に対しては、適応ルーチングなどで対応する必要がある。

#### (5) 適応ルーチングからの情報を用いる。

ディレイベクトルの交換の結果、目的IMPに対する最少ディレイがある値を越えた場合、そのIMPへのメッセージをHOSTから受け付けるのを止める。ディレイベクトルの値が適当であればいい方法である。

#### (6) 一斉規制

サブネット内の任意のIMPが混雑した場合、全HOSTから新しいメッセージの受け付けを止める。規制の仕方が大まかな事、混雑の検知の仕方、再開の手法に問題がある。

### 7. おわりに

ルーチング、フロー制御の重要性が、シミュレーションからわかったが、国鉄のようにデータが、地域的にも時間的にも集中する場合、経済的なネットワークを作る為には、解決すべき点が多い。シミュレーションも、プロトコルを含めてこの問題を取り扱ってゆくつもりである。