

# 分散形交換網

尾佐竹 徇 田中 英彦

あらし 新しい交換形態として前<sup>(1)</sup>に提案した蜂の巣形交換網や格子形網等の分散形交換網は将来の統合通信網等を想定したものであるが、これを評価する意味から種々のルート選択方式を与えて呼損率や所要回線長等を計算し、それぞれのルート選択方式の特長を調べた。その結果、線路費が重きを占める場合は常状ルート選択法が適し、制御機器を簡易にしようとするれば鎖状ルート選択法、求心ルート選択法等が適する。前者は中央集中制御でないといけない難いが、後者は分散制御で可能である。また最後に、正方形に並ぶ  $4 \times 4 = 16$  局の簡単な網についてそれらを星形結線した場合と格子状結線した場合とで同一サービス基準のもと総線路長の比較を行ない、発着加入者間分布が距離とともににはなはだしく減少する場合は格子形網にすると星形網の 70% 程度の線路で構成が可能であること等を示した。

## 1. ま え が き

大規模な通信システムを構成する時、その通信網形態とその網に適用する通信方式とは密接な関係を持つものである。従来までの通信網を構成する考え方では星形網と網状網とに大別されるが、都市形態の変革および新しい通信技術等を考慮すればまた別な交換網形態である蜂の巣形、格子形等の分散形交換網も意味を持つように思われ、その有意性についてはすでに述べた<sup>(1)</sup>。

分散形交換網の特長を生かすためには局階位性を少なくして多段中継を行なうことが必要で、多段中継を前提とすれば発信局から着信局へのルートの取り方はかなり自由である。このルート選択の自由度をある程度制限して網を構成すれば回線使用能率の高い、交換制御の比較的簡単な方式が考えられる。本文では、ルート選択の自由度をある程度制限した場合に考えられる種々のルート選択方法について考察したものである。蜂の巣形と格子形網についてルート選択方式を種々与え、呼損率、制御などに検討を加えた。また最後に網の比較の一例として、簡単な格子形網に適切なルート選択方式を用いた場合の、星形網との線路長に対する比較を行なった。これらの検討が網を考える上での参考になれば幸いである。

## 2. ルート選択方式

### 2.1 ルート選択の考え方

分散形交換網のように、多段中継を行なうことによ

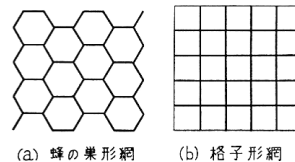


図 1 分散形交換網  
Fig. 1—Scattered type switching networks.

りその特質を生かせる交換網(図 1 参照)ではルート選択方法が種々存在し、どのような選択方式を取るかの評価基準としてはつぎのようなものが考えられる。

- ① 呼損率と回線使用能率
- ② 総線路長
- ③ 制御の容易さ

①は同一のサービス基準に対して一本のリンクにどの程度の閉塞率が許されるかということであり、またその回線がいかに能率よく使用されているかということである。②は網形態の幾何学的配置と結線によるものであるが、発着両局間の直線距離に対し實際上使用されているリンク長に対する示唆ともなる。また③は用いている通信方式にもよることであるが、分散的な通話回線の制御法や必要な制御情報量等に関係する。またルート選択に付ける条件の強さで分類も可能であり、たとえば現在の交換網では目的局に至るまでに通過するすべてのルートを指定しているし、一方、フランスの軍用通信のようにルート選択条件を全然つけずすべてのルートを自由に選択させる特殊な網もあるが、商業通信としては余り実際のでない。そこでここでは、ある程度ルート選択の自由度を制限して制御を容易にすることを計り、かつまた分散形網の特長を生かし得る範囲内で自由にルート選択を行なわせる 4 種の方式について検討を加えた。

### 2.2 帯状ルート選択方式

これは前論文<sup>(1)</sup>で発表したものであるがその選択方

尾佐竹徇, 田中英彦: 正員 東京大学工学部電気工学教室  
Scattered Type Switching Networks. By TONAU OSATAKE  
and HIDEHIKO TANAKA, Members (Faculty of Engineering,  
University of Tokyo, Tokyo).  
論文番号: 昭 43-110 [A-38]

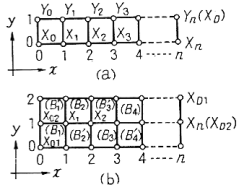


図2 変形蜂の巣形網のルート帯

Fig. 2—Routing band of modified honey comb type network.

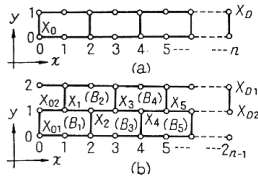


図3 格子形網のルート帯

Fig. 3—Routing band of grid type network.

式を要約すると、発着両局を含む幾つかのリンクの群の“帯”内で自由にルート選択させようとするものである。その帯の幅が1または2リンクの場合、リンク帯を図示すれば図2,3のようになる。図3は煉瓦積構造であるがこれは蜂の巣形網を横に引き延して描いたもので、呼損率計算についてはこの網が等価である。図中いずれも  $X_0$  が発信局、 $X_D$  が着信局であるが図のように直交座標で局を示す時、このルート選択法ではこの帯内で  $x$  方向の後戻りをしないで  $X_0, X_D$  間の接続可能なルートがあればそのうち最もリンクの短いものを取る。  $y$  方向接続に対しては後戻り（リンク数でいってルート長の増すルートを取る）の可否によって2種に分かれる。たとえば余り複雑にならずまた呼損率もそう悪くならない2例を挙げれば、蜂の巣形網、格子形網おのおのについてつぎのようなものが考えられる。

- ① 縦リンク2段、 $y$ 方向後戻り禁止
- ② 縦リンク1段、 $y$ 方向後戻り可能

実際の分散形網内での接続は、こういう帯を縦続にたがなげ合わせてルートを定めることになる。

制御を簡単にする意味から少し変形するとたとえばつぎのようなルート選択法が考えられる。図2(a)において  $X_0$  局から  $X_D$  局を目指す場合、接続は  $x, y$  方向のうち  $x$  方向を優先し、そちらのリンクが閉塞しておれば  $y$  方向のルートを取る。たとえばまず  $X_0 \rightarrow X_1$  へのルートを取り、それが閉塞している時は  $Y_0$  を経て  $Y_1$  に至る。つぎに  $X_1$  に来た時は  $X_2$  へのルートが優先し  $X_1 \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_2$  はう回路とし、 $Y_1$  に来た時は  $Y_2$  へのルートが優先、 $Y_1 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$  はう回路となる。これを繰り返して接続を行なおうというものである。これを反復形と呼ぶことにする。

### 2.3 鎖状ルート選択方式

この方式では発着局間にあらかじめ1つのルートを定めておき、そのルートを構成する幾つかのリンクご

とに1つまたは2つのう回路を持たせておく。すなわち、1つの直通ルートの囲りにう回路がリンクごとに“まわりつく”という選択方式である。

(1) 蜂の巣形交換網 図3(b)において、たとえば  $X_{02} \rightarrow X_{D2}$  の呼びに対しては  $y=1$  の局を結ぶルートを直通ルートとしておく。幾つかの直通リンクと、それに与えられたう回路とで構成される閉じたルートをう回ブロックと呼ぶことにすると、直通2リンクごとに1本のう回路を与えた時は  $X_{02} \rightarrow X_{D2}$  の呼びに対して  $B_2, B_4, B_6, \dots$  がう回ブロックで、直通1リンクごとに1本う回路を与えれば  $B_1, B_2, B_3, \dots$  がう回ブロックとなる。したがってたとえば  $X_2$  局で直通リンク閉塞が生じればう回路は  $B_3$  ブロック、すなわち  $X_2 \rightarrow (2,0) \rightarrow (3,0) \rightarrow (4,0) \rightarrow X_4$  と経て直通ルートに戻る。あらかじめ与える直通ルートが屈曲する時は前述の方法をつなぎ合わせて用いばよい。

(2) 格子形交換網 図2(b)において、 $X_{02} \rightarrow X_{D2}$  の呼びに対して、1リンクごとに1本う回路を指定する時は  $B_1, B_2, B_3, \dots$  を順にそのう回ブロックとし、1リンクに2つのう回路を指定する時は  $B_1', B_1'', B_2, B_2', \dots$  のブロックを用いばよい。

### 2.4 求心ルート選択方式

発着両局が定まるとその着局を中心として同中継回数で至りうる局を結んでできる多角形を想定し、着局への接続はその同心多角形の半径を縮めるという考えで行ない、常にルートは半径方向が優先でう回は多角形辺上の移動で行なおうとする方式である。

(1) 蜂の巣形交換網 図4において  $X_0$  から  $X_D$  へのルートを取るには、まず  $T_2$  局へのルート（半径方向）を取り  $T_2$  からは  $T_1$  か  $T_3$  へ向うがこれらはどちらでも同じだからどちらでも空いている方を取る。たとえばそれが  $T_3$  方向だったとする。  $T_3$  局からの接続では半径方向のルート ( $T_3 \rightarrow U_1$ ) があるからこれが優先されるがもしそれが閉塞していたとすると、う回路としてはもと来たルートに戻らずに  $T_4, T_5$  方向へ進み  $T_6$  に至る。  $T_6$  は  $X_D$  から見て  $T_3$  と

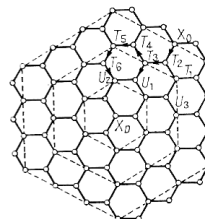


図4 蜂の巣形網求心ルート選択法  
Fig. 4—Centripetal routing method of honey comb type network.

同位の局であるからまたここで半径方向のルート  $T_6 \rightarrow U_2$  を優先して接続する。もしそれが駄目ならさらに回すということを繰り返してルート選択を行なう。この場合各局の空リンク監視状況により制御は異なる。各局が自局の出リンク（3本）の閉塞状況のみしか知り得ていない場合は上の説明通りであるが、隣接3局の出リンク状況まで監視が可能な時（9本）はもう少し良い制御が可能で、上例で言えば  $T_2$  に来た呼びをさらに接続する場合、2つ先のリンク、 $U_1, U_3$  局へ至る半径方向のリンクまで監視が可能なのでこれらの状況を見きわめて接続が可能である。もちろんその両方が閉塞時のう回は同様である。

(2) 格子形交換網 この場合の同心多角形は図5のように正方形となり同様な考察が可能である。

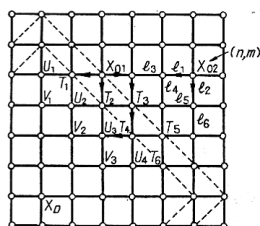


図5 格子形網求心ルート選択法  
Fig. 5—Centripetal routing method of grid type network.

### 2.5 段々形ルート選択方式

この方式では各局でその囲りにある幾つかのリンク閉塞状況を監視しておき、発着局間の接続はそれら間にある幾つかの中継局の独立な接続動作により行なわれる。すなわち一度ある局までのルート接続が完了すればそこから新たに道を捜す訳で、局ではリンク状況から最も良さそうな後戻りをしないルートを1つ選んで次局への接続を完了し制御が次局へ移るものである。格子網のみにつき説明すれば図5よりつぎようになる。

#### (1) 自局の出リンク（4本）のみ監視の場合

$X_{01} \rightarrow X_D$  へのルートで始めの、後戻りをしないルートは  $T_1$  または  $T_2$  局へ至る2リンクである。このうち空いてる方（両方空いてればどちらでも）を選んでそれがたとえば  $X_{01} \rightarrow T_2$  だったとする。 $T_2$  では閉塞状況の解っているリンクのうち  $X_D$  へ向うもの、 $U_2, U_3$  局へへの2リンクを調べ、どちらかが空いてれば接続しどちらもふさがっていると呼損となる。すなわち、丁度求心ルート選択法から多角形辺上のう回路を省いたことに相当する。

#### (2) 隣接局の出リンクまで監視している場合

$X_{01}$  における最初の接続では隣接局  $T_1, T_2(X_D$  に向う方向) の出リンクの閉塞状況まで解っているから

結局  $U_1, U_2, U_3$  の3局までのルートが解っている訳で、 $X_{01}$  ではそのうちどれか空いているルートを捜して（たとえば  $T_{01} \rightarrow T_2 \rightarrow U_2$ ）接続を次局（ $T_2$ ）まで行なう。次局ではさらに  $V_1, V_2, V_3$  局までのルート状況が解っているからそのうち最も良さそうなルート（たとえば  $T_2 \rightarrow U_3 \rightarrow V_3$ ）を捜してまた次局（ $U_3$ ）へ接続する。この場合、最初  $T_2$  まで来たのは  $U_2$  へ行ける目算があつて来たのだが、実際に  $T_2$  に来るとまた新たにルートを調べ直し、 $U_2$  から先で閉塞される場合は  $U_3$  へ接続を試み呼損を救う訳である。

### 2.6 回線網のブロック化と制御方式

今まで述べたルート選択方式では各局でルート決定とスイッチングを行なっていたが、それを各局で行なわず局を幾つかずつまとめて交換網を幾つかのブロックに分割し、発着局間の接続をブロック間接続とブロック内接続に分けて行なう方法も考えられる。この場合前述のルート選択方式をどのように用いるかは問題であるが、たとえばブロック間接続を鎖状法で行ない、ブロック内接続ではブロック内の全リンクを監視する1つの局を置いてそれがルート決定を行なうという方法も考えられる。

つぎに交換網の制御方式は、網全体の制御機能を1箇所に集中させるか否かによって集中制御と分散制御とに分けることができる。それぞれ利害得失があるが、前述のルート選択法のうち帯状法は集中制御でしか行ない難く、鎖状法は分散制御が適しており、求心法、段々法も分散制御の可能なよい例である。

## 3. 各ルート選択法の呼損率、回線能率および線路長

### 3.1 解析の仮定と一般論

呼損率計算は實際上、つぎの仮定を用いている。

- ① 各リンク閉塞が相互に独立である。
- ② 各リンクの閉塞率  $b$  は同じである。

各リンクの回線数を求めるには、まず最悪呼損率  $B_{worst}$  をある値（1%, 3%）に抑えた時各リンクに要求される閉塞率を求めておき、つぎに呼びの発着加入者間分布を指数形とすると、後戻りなしの平均中継回数  $\bar{n}_0$  が、

$$\bar{n}_0 = 8m/\pi, \quad m = D/d \quad (1)$$

$D$ : 呼びの距離定数,  $d$ : 1リンク長

で与えられることが解っている<sup>(1)</sup>ので、1本のリンクを流れる片方向の呼び量  $A_c$  はつぎのようになる。

$$A_c = \frac{a_c \cdot \bar{n}_0}{K} \cdot \mu \quad a_c: \text{各局の完了呼び量} \quad (2)$$

ただし  $K$  は各局から出るリンクの方向数, たとえば蜂の巣網では 3, 格子網では 4, また  $\mu$  はう回に關係した量で, あるルートの最小リンク接続回数を  $n_0$ , 実際にう回も含めて  $n$  本リンクを使用したとするとう回パラメータ  $\mu$  はつぎのように定義される量である.

$$\mu = E\{n/n_0\} \quad (3)$$

ただし  $E\{\}$  は,  $n$  とう回による平均を意味する. 各リンクを流れる呼び量が定まると, 平均呼損率を  $\bar{B}$  とし呼びの流れにアラン分布を仮定して, 各リンクに設定すべき片方向の回線数  $k$  は次式から定まる.

$$b = \frac{A^k}{k!} \bigg/ \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \quad A_c = A(1-\bar{B}) \quad (4)$$

$$c = 1 - b$$

またこの時, 必要な規格化線路長  $l_0$  (各局から出る回線数に網の幾何学的因子  $r$  を乗じたもの) は,

$$l_0 = kKr \quad (5)$$

ここで  $r$  は格子形網を基準にすると各網のリンク長の比  $r=d/d'$  として定義される. ( $d, d'$  はそれぞれ今問題としている網, 格子形網の 1 リンク長である)

最後に回線使用能率  $\eta$  はつぎのように定義される.

$$\eta = A_c/k \quad (6)$$

以上のように諸値を定義しておいて次節から各網につき呼損率とう回パラメータ  $\mu$  を求めてゆこう.

### 3.2 帯状ルート選択方式

(1) 呼損率 この場合の呼損率式は前論文<sup>(1)</sup>で示したものだから省き結果の一部を図 8,9 に示す. 記号は

$H_{\text{band}1}, H_{\text{band}2}$ ; それぞれ蜂の巣網, 縦リンク 1, 2 段の場合で後戻りを禁じた時の呼損率

$H'_{\text{band}1}, H'_{\text{band}2}$ ; 後戻りを許した場合の呼損率であって格子形網の場合は  $H$  の代りに  $G$  を用いている. つぎに, この帯状方式の変形である反復形について式を与える. 図 3(a) においてつぎの確率を定義すると,

$c_1, c_2$ ; 縦, 横リンクの空き率  $b_1=1-c_1, b_2=1-c_2$

$P_X(N), P_Y(N)$ ;  $X_0, Y_0$  から  $Y_N$  までの呼損率  $N$  と  $N-1$  段の呼損率間にはつぎの漸化関係が成立する. ( $N$ : 漸化式の次数,  $n$ : 実際のリンク数)

$$P_X(N) = b_2(1-c_1c_2) + c_2P_X(N-1) + b_2c_1c_2P_Y(N-1) \quad (7)$$

$$P_Y(N) = b_2(1-c_1c_2) + c_2P_Y(N-1) + b_2c_1c_2P_X(N-1) \quad (8)$$

実際の網内では図 3(a) の帯が途中で屈曲する場合は

あるが, その時でも上式は安全側に用いる. 式中,

蜂の巣形網では  $c_1=c, c_2=c^2, N=2n$

格子形網では  $c_1=c_2=c, N=n$

を用いればよく, 解いた結果は図 8,9 中, 記号  $H_{\text{rept}}, G_{\text{rept}}$  で示してある. いずれも  $P_X(N)$  を用いた.

(2) う回パラメータ 後戻りをしない場合は  $\mu_{\text{band}}=1$ . 後戻りをする時も求められるが複雑になるので省略する.

また反復形のう回パラメータ  $\mu_{\text{rept}}$  は容易に

$$\mu_{\text{rept}} = \frac{n_X + (n_X + 1)b_2c_1}{n_X(1+b_2c_1)} \quad (9)$$

ただし  $n_X$  は横リンクを一段進む時通るリンク数, たとえば蜂の巣網で  $n_X=2$ , 格子網では  $n_X=1$  である.

### 3.3 鎖状ルート選択方式

(1) 蜂の巣形網 1 リンクに 1 つのう回ブロックを与える場合

図 2(b) 中,  $X_{02}, X_1, \dots, X_{D_2}$  が直通ルート. 目的局は  $X_{D_2}$ . この時つぎのような漸化式が成立する.

$$P(n) = b_D \cdot b_B + c_D P(n-1) + b_D \cdot c_B \cdot P(n-2) \quad (10)$$

ただし,  $b_D, b_B$  はそれぞれ直通 1 リンク, う回 1 ルートの閉塞率.  $c_D=1-b_D, c_B=1-b_B$

またう回パラメータ  $\mu_{\text{chain}}$  はつぎのようになる.

$$\mu_{\text{chain}} = \frac{c_D + 4b_Dc_B}{c_D + b_Dc_B} \quad (11)$$

(2) その他 蜂の巣網で 2 リンクごとに 1 本のう回ルートを与える場合とか格子形網の場合

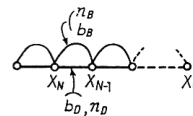


図 6 鎖状ルート選択法の等価路  
Fig. 6—Equivalent network of chain routing method.

図 6 のように, 直通ルート 1 段 (蜂の巣で 2, 格子で 1 リンク) に 1 本のう回ルートがついたモデルとみなし得るので, 前述の記号を用いて呼損率は,

$$P(N) = 1 - (1 - b_D \cdot b_B)^N \quad (12)$$

またう回パラメータ  $\mu_{\text{chain}}$  は,  $n_D, n_B$  (直通ルート 1 段, う回ルート 1 本のリンク数) を用いて

$$\mu_{\text{chain}} = \frac{n_D \cdot c_D + n_B \cdot b_D \cdot c_B}{n_D(c_D + b_Dc_B)} \quad (13)$$

$n_D, b_D$  等の値は場合に応じて表 1 のようになる. また計算結果は図 8,9 中  $H_{\text{chain}1}, H_{\text{chain}2}, G_{\text{chain}1}$  で示す.

表 1 リンク閉塞率およびルート1段のリンク数

|       | 蜂の巣形網   |         | 格子形網    |             |
|-------|---------|---------|---------|-------------|
|       | 1リンクごと  | 2リンクごと  | 1う回路    | 2う回路        |
| $b_D$ | $b$     | $1-c^2$ | $b$     | $b$         |
| $b_B$ | $1-c^4$ | $1-c^4$ | $1-c^3$ | $(1-c^3)^2$ |
| $n_D$ | 1       | 2       | 1       | 1           |
| $n_B$ | 4       | 4       | 3       | 3           |

3.4 求心ルート選択方式<sup>(5)</sup>

(1) 蜂の巣形網 図4の着局  $X_D$  を中心として最小  $2n$  リンク中継で到達可能な局を結んだ正六角形 ( $N$  段と称す) と  $2n-2$  リンクの  $N-1$  段とではさまれる, 六角ブロックを結合した群を展開すれば図7のようになる。

$N$  段の1局から  $X_D$  を目指す時の呼損率  $P(2n)$  を,  $N-1$  段の局からの呼損率  $P(2n-2)$  で表わし,

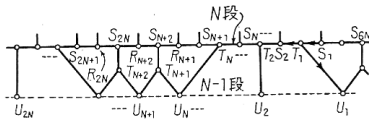


図7 蜂の巣形網において同中継数で到達可能な局の展開図

Fig. 7—Development of the stations which lie at the place reachable with the same number of switching from the destinating station of honey comb network.

近似的な漸化式を作り呼損率を求める方法をとる。 $N$  段から  $N-1$  段に進む場合は種々あるが, 図7中  $S_1$  局から出発する時最も  $N-1$  段への到達率が小さいので, この確率でもって  $N$  段から  $N-1$  段に至りうる確率  $W_N$  を代表させることにする。

① 呼損率

(i) 自局の出リンク状況のみ監視の場合

$S_1$  局から左側のリンクが優先リンクだから, 今呼びが左側へ進んだ場合を考えると, たとえば

- $S_1 \rightarrow U_1$  へ至りうる確率  $c^2$
- $S_1 \rightarrow T_1 \rightarrow S_2 \rightarrow U_2$   $c^2bc^2$
- $S_1 \rightarrow \dots \rightarrow S_N \rightarrow U_N$   $c^2(bc^2)^{N-1}$
- $S_1 \rightarrow S_N \rightarrow S_{N+1} \rightarrow T_{N+1} \rightarrow U_N$
- または  $U_{N+1}$   $c^2(bc^2)^{N+1} \cdot bc^3(1-b^2)$
- 等々

したがって  $S_1$  から左へ進んで  $N-1$  段のどこかの局に至りうる率  $L_N$  はこれらすべてを加算してつぎのようになる。(  $S=bc^2$  )

$$L_N = \left( \frac{c^2}{1-S} \right) \cdot \left[ \frac{1 - (c^2 S^2 N^{-1})^3}{1 - c^2 S^2 N^{-1}} \right]$$

$$\cdot \{1 - S^N + c(1-b^2) \cdot S^N \cdot (1 - S^{N-1})\} \quad (14)$$

また  $S_1 \rightarrow T_1$  へのリンクがふさがってる時, 呼びは右側へ進む。この時  $N-1$  段の1局に至り得る率  $R_N$  は同様に

$$R_N = \left( \frac{bc^3}{1-S} \right) \cdot \left[ \frac{1 - (c^2 S^2 N^{-1})^3}{1 - c^2 S^2 N^{-1}} \right] \cdot \{(1-b^2)(1 - S^{N-1}) + cS^{N-1} \cdot (1 - S^N)\} \quad (15)$$

ただし同心多角形辺上のう回は1回転以内である。ゆえに第  $N$  段の局から目的局に向う時の呼損率  $P(2n)$  は  $N-1$  段の局からの呼損率  $P(2n-2)$  によってつぎのように表わされる。

$$P(2n) = 1 - W_N + W_N \cdot P(2n-2) \quad (N=n) \quad (16)$$

$$W_N = L_N + R_N \quad (17)$$

(ii) 隣接局の出リンク状況まで監視の時

前述の式を用いて近似的な式を求めよう。すなわち左へ進むのは右の2リンク, すなわち  $S_{6N}$  までのリンクがふさがってる時だから左へ進み  $N-1$  段に至りうる率は,

$$c^4 + (1-c^2)L_N$$

また右へ進むのは  $T_1$  を経て  $U_1$  に至り得ない時 ( $T_1 \rightarrow S_1$  より  $S_{6N}$  方向優先) だから,  $N-1$  段に至りうる率は,

$$(1-c^2)/b \cdot R_N = (1+c)R_N$$

と近似的になる。ゆえに式(17)の代わりに次式

$$W'_N = c^4 + (1-c^2)L_N + (1+c)R_N \quad (18)$$

を用いればよい。

② う回パラメータ

まず左へ進んだ時  $N$  段から  $N-1$  段に進む(最短2リンクの道程)までに使用する平均リンク数  $\bar{n}_L$  は

$$\begin{aligned} \bar{n}_L = & 2c^2 + 4c^2S + 6c^2S^2 + \dots \\ & + 2N \cdot S^{N-1} \cdot c^2 + c^2 S^{N-1} \cdot bc^2(1-b^2) \\ & \cdot [(2N+4) + (2N+6)S + \dots \\ & + (2N+2N)S^{N-2}] + \dots \end{aligned} \quad (19)$$

これは, ほぼ  $N \rightarrow \infty$  とした場合の値に等しいから

$$\bar{n}_L = 2c^2/(1-S)^2 \quad (20)$$

また右へ進んだ時の平均使用リンク数  $\bar{n}_R$  は同様に

$$\bar{n}_R = \frac{4bc^3(1-b^2)}{1-S} + \frac{2bc^3(1-b^2)}{(1-S)^2} \quad (21)$$

つぎに  $N-1$  段への到達率  $W_N$  ( $1$  段進みうる率) は, 段数  $N$  に関係なくほぼ

$$W_N = c^2[1 + (1+b)S]/(1-S) \quad (22)$$

ゆえにう回パラメータ  $\mu_{\text{cents}}$  はつぎのようになる。

$$\mu_{\text{cents}} = \frac{\bar{n}_L + \bar{n}_R}{2W_N} = \frac{1+S(1+b)(3-2S)}{(1-S)[1+(1+b)S]} \quad (23)$$

隣接局も監視している場合は同様に(リンク9本)

$$\mu_{cent3} = \frac{1+c(1-c^2)(1-b^2)-c^2S}{(1-S)[1+2c(1-c^2)(1-b^2)]} * \frac{1}{-S\{2c^2+c(1-b^2)(1-c^2)\}+S^2c^2} \quad (24)$$

(2) 格子形網 この場合はリンク1段ごとの漸化式になる。まず

$$L_N = c^3 T^{N-1} \left[ \frac{1-(bc^2 T^{N-1})^3}{1-bc^2 T^{N-1}} \right] + c^2(1-b^2) \cdot \left( \frac{1-T^{N-1}}{1-T} \right) \cdot \left[ \frac{1-(bc^2 T^{N-1})^4}{1-bc^2 T^{N-1}} \right] \quad (25)$$

となり ( $T=b^2c^2$ ), これを用いて呼損率  $P(n)$  は,

$$P(n) = 1 - W_N + W_N \cdot P(n-1) \quad (n=N) \quad (26)$$

$$W_N = c + b(1+b)L_N \quad (27)$$

上が自局出リンク監視の場合. 隣接局のリンクまで監視する場合は  $W_N'$  として次式を用いる.

$$W_N' = c + b(2-c^2)L_N \quad (28)$$

う回パラメータは, まず自局出リンク監視の時,

$$\mu_{cent4} = \frac{(1-T)^2 + bc(1+b)(1-b^2)(3-T)}{(1-T)[1-T+b(1+b) \cdot c(1-b^2)]} \quad (4 \text{ リンク}) \quad (29)$$

隣接局のリンクまで監視する時 (リンク 16 本)

$$\mu_{cent16} = \frac{(1-T)^2 + bc(2-c^2)(1-b^2)(3-T)}{(1-T)[1-T+bc(2-c^2)(1-b^2)]} \quad (30)$$

計算結果を図 8,9 に示す. 記号としては同様な添字を用い,  $H_{cent3}, H_{cent9}, G_{cent4}, G_{cent16}$  で示す.

### 3.5 段々ルート選択方式

蜂の巣形網でも適用可能であるが, ここではより簡単な格子形網に対する式を示す. 図5を用い座標  $(n, m)$  の局  $X_{02}$  から  $X_D$  へ向う場合の呼損率を  $B_{n,m}$

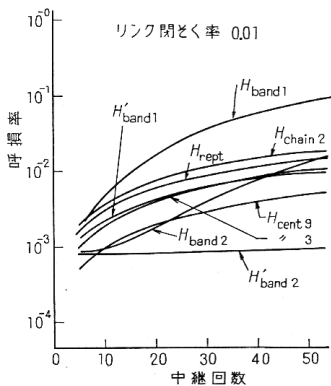


図 8 種々のルート選択方式の呼損率 (蜂の巣形網)

Fig. 8—Blocking probabilities of several routing methods in honey comb type network.

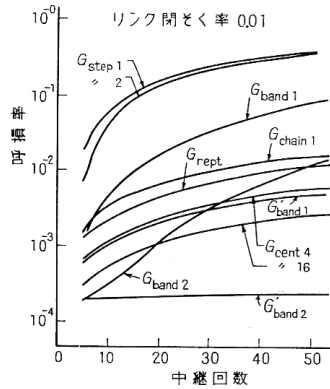


図 9 種々のルート選択方式の呼損率 (格子形網)

Fig. 9—Blocking probabilities of several routing methods in grid type network.

とするとつぎの漸化式が得られる.

(1) 自局の出リンク状況のみ監視の場合

$$B_{n,m} = b^2 + c(1+b)(B_{n-1,m} + B_{n,m-1})/2 \quad (31)$$

(2) 隣接局の出リンク状況まで監視する場合

$X_{02}$  局の囲りに着目してつぎの呼損率を定義する.

$u_{n-1,m}$ :  $l_1, l_3$  が空き,  $l_2, l_4$  が閉塞時の条件付呼損率

$v_{n-1,m}$ :  $l_1, l_4$  が空き,  $l_2, l_3$  が閉塞時の条件付呼損率

$w_{n-1,m}$ :  $l_1, l_3, l_4$  が空き,  $l_2$  が閉塞時の条件付呼損率

この時つぎの漸化式が成立する.

$$B_{n,m} = b^2(1+bc)^2 + bc^2(1+b+b^2c)/2 \cdot (u_{n-1,m} + v_{n-1,m} + u_{n,m-1} + v_{n,m-1}) + c^2(1+b+b^2c)/2 \cdot (w_{n-1,m} + w_{n,m-1}) \quad (32)$$

$$u_{n,m} = b^2 + bc(u_{n-1,m} + v_{n-1,m}) + c^2 w_{n-1,m} \quad (33)$$

$$v_{n,m} = b^2 + bc(u_{n,m-1} + v_{n,m-1}) + c^2 w_{n,m-1} \quad (34)$$

$$w_{n,m} = b^4 + bc(1+b^2)/2(u_{n-1,m} + v_{n-1,m} + u_{n,m-1} + v_{n,m-1}) + c^2(1+b^2)/2 \cdot (w_{n-1,m} + w_{n,m-1}) \quad (35)$$

$n, m=0, 1$  の時の境界条件を 適当に与えて上式を解くと図9の  $G_{step1}, G_{step2}$  で示す曲線が得られる. 添字 1,2 はルート監視が自局のみか隣接局までおよびかを示す. またう回パラメータは, 後戻りをしないから常に  $\mu_{step}=1$ .

### 4. ルート選択法の比較例

交換地域の広さを一定にし, その中に配置される局

数を一定とすると蜂の巣形網の幾何学的因子  $r$  は、0.8774 となり、また最大中継回数  $M_{\text{honey}}, M_{\text{grid}}$  との間にはつぎの関係があることが知られている<sup>(1)</sup>。

$$\frac{M_{\text{honey}}}{M_{\text{grid}}} = \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}} \quad (36)$$

したがって  $M_{\text{honey}}=30$  とすると  $M_{\text{grid}}=28$  となる。この場合を一例として今までに与えたルート選択法を比較しよう。

最悪呼損率 1% の場合、各リンク当りの閉塞率  $b$  および回パラメータ  $\mu$  は表 2 のようになる。

表 2 最悪呼損率を定めた時、各リンクに要求される閉塞率とその時の回パラメータ

| ルート選択法 |           | 蜂の巣形網  |        | 格子形網    |        |
|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|
|        |           | $b$    | $\mu$  | $b$     | $\mu$  |
| 帯状法    | 2 段階後戻り禁止 | 0.0140 | 1.0    | 0.0162  | 1.0    |
|        | 1 段階後戻り許可 | 0.0290 | /      | 0.0532  | /      |
|        | 反復法       | 0.0103 | 1.0050 | 0.0131  | 1.0128 |
| 鎖状法    | 1 リンクごと   | 0.0091 | 1.0168 | 0.0109  | 1.0208 |
| 求心法    | 自局のみ      | 0.0127 | 1.0373 | 0.0178  | 1.0349 |
|        | 隣接局まで     | 0.0171 | 1.0002 | 0.0256  | 1.0377 |
| 段々法    | 自局のみ      | /      | /      | 0.00429 | 1.0    |
|        | 隣接局まで     | /      | /      | 0.00478 | 1.0    |

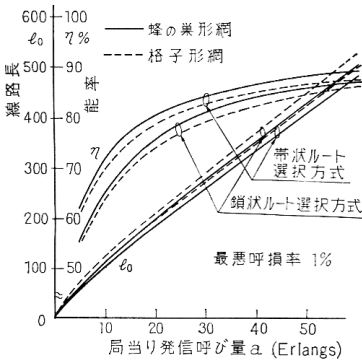


図 10 帯状および鎖状ルート選択方式の回線使用能率および規格化線路長  
Fig. 10—Line usage efficiency and normalized line length, of chain and band routing methods.

これらを基にして帯状方式と鎖状方式の回線使用能率と規格化線路長とを求めると図 10 のようになる。

図 10 から見ると帯状方式が、蜂の巣、格子形網にかかわらず、呼損率、回線能率および線路長に関して最もすぐれたルート選択方式であるが、その反面制御

が複雑で集中制御の必要がある。一方鎖状方式は制御が簡単であり、リンク閉塞状況の監視はほとんど必要なくメモリが少なく済む利点がある。もちろん回線能率、線路長とも前者に劣るがその差はそれぞれ 2%, 4~5% 程度である。また帯状方式の変形、反復法は帯状と鎖状の中間に位し、リンク当りの閉塞率は鎖状方式より良く帯状方式より悪いが制御は帯状方式よりはるかに容易である。また段々方式では同中継回数でも発着局間の位置関係により呼損率が著しく変るが、概して呼損率が高くこのままでは使い難いのもう少し改善が必要である。求心方式は制御も比較的簡単また呼損率も小さく、少々蜂の巣網ではルートが一目で見にくいという難点はあるがかなり実用上良い方式と言える。

### 5. 交換網線路長の比較

ここでは今まで述べて来た分散形網と従来の交換網との比較の一要因として、蜂の巣網より少し線路長の長い格子網と星形網の総線路長を比較する。

#### 5.1 網構成および仮定

図 11 のような  $4 \times 4$  局を考え、星形網としては図中 (a), (b) のような局階位 1 段の星形網と 2 段の星形網とを用いた。置いた仮定はつぎのようなものである。

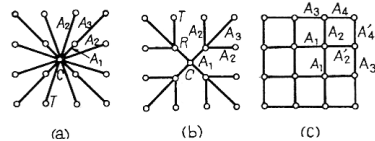


図 11 線路長比較の網 3 種  
Fig. 11—Three kinds of networks compared in this paper.

- ① サービス基準すなわち最悪呼損率は一定 1%.
  - ② 呼びの生起は独立でアールン分布。生起呼量は各局とも  $A$  アールン。またリンク占有は相互に独立。
  - ③ 格子形網では鎖状方式を採用
- 発着加入者間分布としてはつぎの 2 種を用いた。

- ① 一様分布
- ② 負指数分布 (式 (1) 中の  $m=2$ )

#### 5.2 回線数および総線路長計算

最悪呼損率を 1% に抑えるため各リンクに設定すべきリンク閉塞率  $b$  は表 3 のようになる。

ただし 2 段星形網では 2 種のリンクがあり上位のリンクをリンク 1, 下位のをリンク 2 としているがその

表 3 各種網のリンク閉塞率

| リンク閉塞率 | 1 段<br>星形網 | 2 段星形網 |       | 格子形網  |
|--------|------------|--------|-------|-------|
|        |            | リンク 1  | リンク 2 |       |
|        | 0.005      | 0.001  | 0.004 | 0.029 |

間の呼損率配分は総線路長がほぼ最小になるように行なった。また格子形網のリンク閉塞率は式 (12) より求めた。

つぎに各局の発信呼量を  $A$  アーランとして発着加入者間分布を考慮すると、図 11 中の各リンクを流れる呼び量  $A_i$  が定まり、表 3 を用いるとおのおののリンクに必要な回線数が出る。これにリンク長を乗じ加え合わせたものが総線路長である。今各網の総線路長の比をつぎのように定義する。

$$r_1 = l_G/l_{S1}, r_2 = l_G/l_{S2} \quad (37)$$

$l_G$ : 格子網の総線路長

$l_{S1}, l_{S2}$ : 星形網の総線路長. 1, 2 は階位数

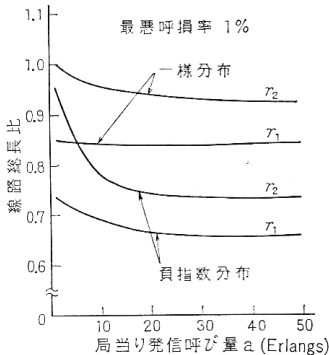


図 12 星形網と格子形網の総線路長比  
Fig. 12—Ratio of total line length, of star and grid type networks.

これらを図示したのが図 12 である。いずれも格子形網の方が星形網より線路長は短くて済む。ことに発着加入者間分布が距離により減少する負指数分布の場合は星形網の 70% 程度で済むことが解る。すなわち、近い小規模な所では格子網の方が 10% ほど少な

い程度であるが、規模が大きくなるとそれがはなはだしくなり格子形に局間を結んだ方が有利だということである。蜂の巣形網は一般に格子網より能率が良く線路長も短くて済むので上述のことは蜂の巣網でも成立しさらに改善が期待できる。

## 6. む す び

分散形網の代表的な例である蜂の巣網と格子網とにつき種々のルート選択方式と呼損率、回線使用率および線路長などに検討を加えた。その結果線路費が重要な時は自由度の大きい帯状法が良く、機器費が高い時はルート選択の自由度を減らした方式、たとえば鎖状法、求心法、反復法が適当である。後 3 者の選択法では中央制御が必ずしも必要でなく、局個々の独立な制御で可能でありまた容易であるが線路長が帯状法に比べ数%多くなる。また最後に格子網と星形網の総線路長比を簡単に比較した所、呼びの発着加入者間分布が一樣な時両者に余り差は無いが距離とともに減少する分布の時は格子形網は星形網に比して線路長が短く、70% 程度でよいことを示した。

謝辞 本研究に当り種々御検討御助言をいただいた本学秋山稔助教授、および高周波談話会の方々、また求心方式、線路長の計算を行なっていただいた久保庄二氏（現在電電公社）、柴田喬司氏（電電公社）に感謝する。

## 文 献

- (1) 尾佐竹, 秋山, 田中: “蜂の巣形交換網”, 信学誌, 50, 7, p. 57 (昭 42-07).
- (2) 尾佐竹, 秋山, 田中: “蜂の巣形交換網”, 信学会, 交換研資, SE 66-3 (昭 41-06-20).
- (3) 田中: “第 2 部分散形交換網”, 東京大学修士論文 (昭 42-03).
- (4) 田中, 柴田: “分散多段中継交換網のルート選択方式”, 信学会, 交換研資, SE 67-1 (昭 42-04).
- (5) 久保: “蜂の巣形交換網の選択方式”, 東京大学卒業論文 (昭 42-03).

(昭和 42 年 10 月 14 日受付)