

# ダイナミック周波数割当法を用いた移動通信系のトラヒック特性について

正 員 仙石 正和<sup>†</sup>

## On Telephone Traffic in a Mobile Radio Communication System Using Dynamic Frequency Assignments

Masakazu SENGOKU<sup>†</sup>, Regular Member

あらまし 移動無線通信系の重要な課題の一つに周波数の有効利用がある。そのために、サービスエリアを小さなゾーンに分割し複数のゾーンで同一の周波数を使用する方式が考えられている。この小ゾーン化方式において、各ゾーンに常に一定の周波数を割当てる固定周波数割当法より、呼の発生に応じて周波数をダイナミックに割当てるダイナミック周波数割当法の方が周波数の利用効率が高いことが知られている。固定周波数割当法の場合の各ゾーンのトラヒック特性は良く知られたアーランB式(即時式の場合)によって求まるが、ダイナミック周波数割当法を用いた場合の各ゾーンのトラヒック特性は解析的に求まっておらずシミュレーションに頼っていた。本論文はまず系が1周波数(チャンネル)の場合の各ゾーンのトラヒック特性の解析法を示す。多チャンネルの系に対しては、新しい呼にどの空チャンネルを割当てるかという周波数割当アルゴリズムによってトラヒック特性が変わるため一般的な解を得ることは容易でない。本論文の後半は多チャンネル系に対するトラヒック特性の近似法を示す。更に、簡単な例を示し、コンピュータシミュレーションとの比較を行っている。

### 1. まえがき

移動無線通信系では使用できる周波数帯が限られていることから、周波数スペクトラムの有効利用が重要な課題の一つとなっている。そのための方式として、サービスエリアを小さなゾーンに分割し複数のゾーンで同一の周波数(チャンネル)を使用しようとする小ゾーン化方式(small zone (cell) system)がある。この系において、あるゾーンに呼(call)が発生した場合、どの周波数を使用するかによってトラヒック特性が変わる。その周波数割当法には大きく分けて、各ゾーンに常に一定の周波数を割当てる固定周波数割当法と呼の発生に応じて周波数をダイナミックに割当てるダイナミック周波数割当法がある<sup>(1)~(3)</sup>。ダイナミック周波数割当法は各基地局においてすべてのチャンネルを扱える装置が必要であるが、移動局側は1チャンネルだけで

もすべてのゾーンにおいて通信可能となり、移動局数が増大した場合有利となる。又、呼損率が低い場合(5%以下程度)、固定周波数割当法より周波数利用率(トラヒック特性)が25~50%も高いことが知られている<sup>(1)</sup>。固定周波数割当法を用いた系のトラヒック特性は各ゾーンに加わる呼量とそのゾーンに割当てられたチャンネル数から良く知られたアーランB式(即時式の場合)によって求まる。そして各ゾーンに一律に呼が加わり、各ゾーンのチャンネル数が同一の場合各ゾーンの呼損率は等しい。一方、ダイナミック周波数割当法を用いた場合、各ゾーンに一律に呼が加わった場合でも各ゾーンの呼損率が等しいとは限らない。ダイナミック周波数割当法を用い、各ゾーンに一律に呼が加わった場合の系全体のトラヒック特性に関する考察は文献(2)、(10)になされている。系全体のトラヒック特性は周波数割当法の比較などの場合には必要であるが、実際のシステム設計の際にはむしろ各ゾーンのトラヒック特性を求めておく必要がある。本論文はまず系が1チャンネルの場合の各ゾーンのトラヒック特性の解析法を示す。多チャンネルの系に対しては、新しい呼にど

<sup>†</sup>新潟大学工学部情報工学科, 長岡市  
Faculty of Engineering, Niigata University, Nagaoka-shi,  
940 Japan  
論文番号: 昭 53-510[B-139]

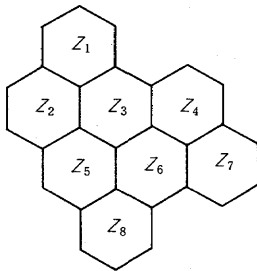
のあきチャンネルを割当てるかという周波数割当アルゴリズムによってトラヒック特性が変わり、理論解析が容易でないため、シミュレーションに頼っているのが実状である。本論文の後半は多チャンネル系に対するトラヒック特性の近似解法を示し、更に、簡単な例についてコンピュータシミュレーションとの比較を行う。

## 2. 系のモデル化

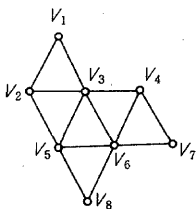
小ゾーン化方式ではサービスエリアを幾つかの小さなゾーンに分割する。その分割の方法はサービスエリアの性質（呼量、電波伝搬など）によって異なる。あるゾーンで使用される電波は、そのゾーンのみならず隣接ゾーンにまで干渉妨害を与える。そのため、同一チャンネルを使用するゾーンは、その代わりにバッファとなるゾーン群を設けなければならない。ゾーン配置構造（各ゾーンとそのバッファゾーンとの関係）を示す無向グラフ  $G^*$  を次のように定義する。このグラフは系のトラヒック特性を考察する上で便利である<sup>10)</sup>。

$G^*(V^*, E^*)$ : 各ゾーン  $z_1, z_2, \dots, z_n$  に点  $v_1, v_2, \dots, v_n, (v_i \in V^*)$  をそれぞれ対応させ、 $z_j$  が  $z_i (1 \leq i, j \leq n)$  のバッファゾーン群に属しているとき、無向枝  $e_k = (v_i, v_j), (e_k \in E^*)$  を対応させたグラフ。

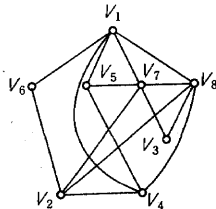
例を示す。図1(a)のサービスエリアにおいて、各ゾ



(a) サービスエリア



(b) グラフ  $G^*$



(c) グラフ  $\bar{G}^*$

図1 サービスエリアとそのグラフ  
Fig.1- A service area and its graph.

ーンのバッファゾーンが一つ隣のゾーンから成っているとすると、グラフ  $G^*$  は同図(b)のようになる。図1(c)は  $G^*$  の補グラフ  $\bar{G}^*$  である。グラフ  $G^*$  の定義から分かるようにすべてのゾーンにおいて同時通話するために必要な最小チャンネル数はグラフ  $G^*$  の彩色数に一致する<sup>10)</sup>。

ダイナミック周波数割当法における最も一般的な形は任意のチャンネルが任意のゾーンで使用できるというものである<sup>(3)~(6), 10)</sup>。そのほかに、固定チャンネルとダイナミックチャンネル両方を含むもの（ハイブリッド法）<sup>11)</sup>、あらかじめ割当てられていたチャンネルでは不足になった場合隣のゾーンから借りてくる方法（channel borrowing法）<sup>(7), (8)</sup> などがある。本論文は任意のチャンネルが任意のゾーンで使用できるという系のみを扱うことにする。この系では新たな呼に対して、系の状態と周波数割当アルゴリズムに基づいて（中央処理装置を通して）チャンネルが割当てられる。多チャンネル系において、あきチャンネルが複数ある場合、どのチャンネルを割当てるか（周波数割当アルゴリズム）によってトラヒック特性が変わる。そのため多チャンネル系のトラヒック特性の厳密な解を得ることは容易でない。そこで、まず1チャンネルの系について考察を進め、次に多チャンネル系の近似法について述べる。扱う系は即時式 (loss system) とし、簡単のために、移動体の通話中のゾーン変更はないと仮定する（ゾーン半径はある程度大きく、平均通話時間が短く、ゾーン変更の確率が無視できる場合と考える）。

## 3. 各ゾーンのトラヒック特性 (1チャンネルの場合)

系のチャンネル数を1とし、ゾーン  $z_i$  における呼に対して、次の二つの仮定をする。

- (i) 呼の発生は平均生起密度（生起係数） $\lambda_i$  のポアソン分布である。
- (ii) 呼の保留時間は平均  $1/\mu_i$  の指数分布である。

一つのチャンネルは幾つかのゾーンで同時に使用できる。そして、そのチャンネルの使用の仕方は（これは系の状態と考えられる）複数ある。系の状態の集合を  $\theta = \{\theta_i\}$  とし、要素  $\theta_i$  はチャンネルが使用中のゾーンに対応するグラフ  $G^*$  の点から成っている（点集合）とする。そのとき、集合  $\theta$  は次のように類別される。

$$\theta = \{\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_{k_m}\} \quad (1)$$

$$\theta_k = \{\theta_i \mid \theta_i \in \theta, |\theta_i| = k\} \quad (2)$$

ここで、 $|\theta_i|$  は集合  $\theta_i$  の要素数を表している。

仮定(i), (ii)から、 $\Delta t$  を微小時間としたとき、 $\Delta t$  間に

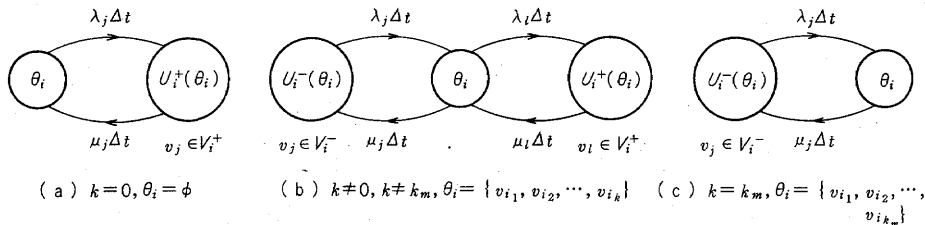


図2 状態遷移図  
Fig.2- State flow diagrams.

二つ以上の呼が生きたまたは消滅する確率は無視できる。そして、ゾーン  $z_i$  において  $\Delta t$  間に一つの呼が生起する確率は  $\lambda_i \Delta t$  であり、 $\Delta t$  間に一つの呼が消滅する確率は  $\mu_i \Delta t$  である。一つの状態  $\theta_i \in \theta_k$  に対して、集合  $U_i^+(\theta_i)$ ,  $U_i^-(\theta_i)$ ,  $V_i^+$ ,  $V_i^-$  を次のように定義する。

$$U_i^+(\theta_i) \triangleq \{\theta_j | \theta_j \in \theta_{k+1}, \theta_j \supset \theta_i\} \quad (3)$$

$$U_i^-(\theta_i) \triangleq \{\theta_j | \theta_j \in \theta_{k-1}, \theta_j \subset \theta_i\} \quad (4)$$

$$V_i^+ \triangleq \{\theta_l - \theta_i | \theta_l \in U_i^+(\theta_i)\} \quad (5)$$

$$V_i^- \triangleq \{\theta_i - \theta_l | \theta_l \in U_i^-(\theta_i)\} \quad (6)$$

系の状態が  $\theta_i$  である確率を  $P(\theta_i)$  とすると、系の状態遷移図は図2のようになる。

系が統計的平衡の状態になったとすると(図2を参照して)、 $k=0$  のとき、

$$P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^+} \lambda_j \Delta t = \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^+(\theta_i) \\ v_j = \theta_l - \theta_i}} P(\theta_l) \mu_j \Delta t \quad (7)$$

$k = k_m$  のとき、

$$P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^-} \mu_j \Delta t = \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^-(\theta_i) \\ v_j = \theta_i - \theta_l}} P(\theta_l) \lambda_j \Delta t \quad (8)$$

$k \neq 0, k \neq k_m$  のとき、

$$\begin{aligned} P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^+} \lambda_j \Delta t + P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^-} \mu_j \Delta t \\ = \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^+(\theta_i) \\ v_j = \theta_l - \theta_i}} P(\theta_l) \mu_j \Delta t + \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^-(\theta_i) \\ v_j = \theta_i - \theta_l}} P(\theta_l) \lambda_j \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

ゆえに、 $k=0$  のとき、

$$P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^+} \lambda_j = \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^+(\theta_i) \\ v_j = \theta_l - \theta_i}} P(\theta_l) \mu_j \quad (7')$$

$k = k_m$  のとき、

$$P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^-} \mu_j = \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^-(\theta_i) \\ v_j = \theta_i - \theta_l}} P(\theta_l) \lambda_j \quad (8')$$

$k \neq 0, k \neq k_m$  のとき、

$$\begin{aligned} P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^+} \lambda_j + P(\theta_i) \sum_{v_j \in V_i^-} \mu_j \\ = \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^+(\theta_i) \\ v_j = \theta_l - \theta_i}} P(\theta_l) \mu_j + \sum_{\substack{\theta_l \in U_i^-(\theta_i) \\ v_j = \theta_i - \theta_l}} P(\theta_l) \lambda_j \end{aligned} \quad (9')$$

式(7'), (8'), (9')を解くために、

$$\theta_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik}\},$$

$$\theta_l = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik+1}\}, (\theta_l \in U_i^+(\theta_i))$$

$$\theta_j = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik-1}\}, (\theta_j \in U_i^-(\theta_i))$$

とおく。そのとき、

$$P(\theta_i) \lambda_{i,k+1} = P(\theta_l) \mu_{i,k+1} \quad (10)$$

$$P(\theta_i) \mu_{ik} = P(\theta_j) \lambda_{ik} \quad (11)$$

は式(7'), (8'), (9')の解であることが分かる。 $a_i = \lambda_i / \mu_i$  (ゾーン  $z_i$  に加わる呼量)であるから、式(10), (11)は

$$P(\theta_i) = a_{i,k+1} P(\theta_l) \quad (12)$$

$$P(\theta_i) = a_{ik} P(\theta_j) \quad (13)$$

となる。式(12), (13)より

$$P(\theta_i) = a_{i,k+1} \cdot a_{ik} \cdot \dots \cdot a_{i1} \cdot P_0 \quad (14)$$

となる。ここで、 $P_0$  はチャネルがどのゾーンでも使用されていない確率である。次に、 $P_x$  を  $x$  個所のゾーンにおいて同時通話している確率とすると、

$$\begin{aligned} P_x = \sum_{\theta_i \in \theta_x} P(\theta_i) \\ = \sum_{\{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ix}\} \in \theta_x} (a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{ix}) P_0 \end{aligned}$$

$\sum_{x=0}^{k_m} P_x = 1$  を用いて ( $\theta_x = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ix}\}$  とする),

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_x \in \theta_x} a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{ix}} \quad (15)$$

ゆえに、

$$P_x = \frac{\sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}}{1 + \sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}} \quad (16)$$

系全体で運ばれる呼量  $a_c$  は、

$$a_c = \sum_{x=1}^{k_m} x P_x = \frac{\sum_{x=1}^{k_m} x \sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}}{1 + \sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}} \quad (17)$$

系の呼損率  $B$  は、

$$B = (a - a_c) / a \quad (18)$$

ここで  $a = \sum_{i=1}^n a_i$

次に各ゾーンの呼損率を求める。  $\theta_k$  の部分集合  $\theta_k^j$  を次のように定義する。

$$\theta_k^j = \{ \theta_i \mid v_j \in \theta_i, \theta_i \in \theta_k \} \quad (19)$$

$P_{x,j}$  を  $z_j$  ゾーンと他の  $x-1$  個所のゾーンで同時通話している確率とすると、

$$P_{x,j} = \frac{\sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}}{1 + \sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}} \quad (20)$$

ここで、  $\theta_s = \{ v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_x} \}$

$z_j$  ゾーンで運ばれる呼量  $a_{c,j}$  は

$$a_{c,j} = \sum_{x=1}^{k_m} P_{x,j} = \frac{\sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s \in \Theta_x^j} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}}{1 + \sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}} \quad (21)$$

$z_j$  ゾーンの呼損率  $B_j$  は、

$$B_j = (a_j - a_{c,j}) / a_j \quad (22)$$

もし各ゾーンに加わる呼量が均一である場合、つまり  $a_i = a_j$  ( $i \neq j$ ) のとき、運ばれる呼量  $a_c, a_{c,j}$  は、

$$a_c = \frac{\sum_{x=1}^{k_m} (a_i)^x \cdot x \cdot \nu_x}{\sum_{x=0}^{k_m} (a_i)^x \nu_x} \quad (17')$$

$$a_{c,j} = \frac{\sum_{x=1}^{k_m} (a_i)^x \nu_{x,j}}{\sum_{x=0}^{k_m} (a_i)^x \nu_x} \quad (18')$$

ここで、

$$\nu_x = |\Theta_x| \quad (23)$$

$$\nu_{x,j} = |\Theta_x^j| \quad (24)$$

グラフ  $\bar{G}^*$  において、  $\theta, \theta_x, \theta_x^j$  はそれぞれ、

$\theta$  :  $\bar{G}^*$  のクリーク  $\uparrow^{(0,0)}$  の集合

$\theta_x$  :  $\bar{G}^*$  の  $x$  ・クリーク  $\uparrow^{(0,0)}$  の集合

$\theta_x^j$  :  $\bar{G}^*$  の  $v_j$  を含む  $x$  ・クリークの集合

という意味を持っている。ゆえに、式(17), (18), (21), (22)

から、系のトラヒック特性は  $\bar{G}^*$  の種々のクリークを求めること

によって得られることが分かる。又、式(17'), (18'), (23), (24)より、

各ゾーンの呼量が均一の場合は  $\bar{G}^*$  のクリーク、  $x$  ・クリークの数のみで良いことが分かる

(グラフのクリークを見出すアルゴリズムなどについてはグラフ理論、

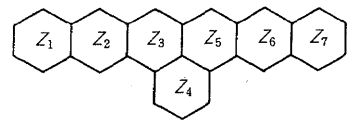
組合せ理論の分野で研究されている)。

次に、各ゾーンのトラヒック特性を求める簡単な例を示す。

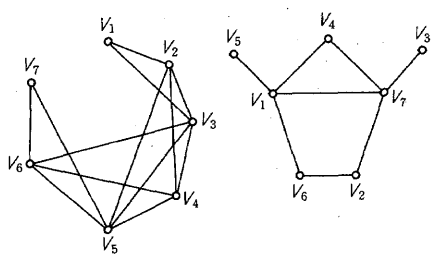
図3(a)のサービスエリアにおいて、各ゾーンのバッファゾーンはそのゾーンの二つ隣りのゾーンまでとする。

そのときグラフ  $G^*, \bar{G}^*$  をそれぞれ図3(b)と(c)に示す。

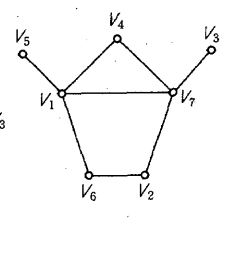
グラフ  $\bar{G}^*$  における1・クリーク、2・クリーク、3・クリークの集合は、それぞれ次のようになる。



(a) サービスエリア



(b) グラフ  $G^*$



(c) グラフ  $\bar{G}^*$

図3 サービスエリアの一例  
Fig.3- An example of service areas.

↑ グラフ  $G$  の完全部分グラフはクリークと呼ばれ、それが  $x$  点含むとき  $x$  ・クリークと呼ばれる。

$$\theta_1 = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}, \quad \nu_1 = 7$$

$$\theta_2 = \{v_1 v_4, v_1 v_5, v_1 v_6, v_1 v_7, v_2 v_6, v_2 v_7, v_3 v_7, v_4 v_7\}, \quad \nu_2 = 8$$

$$\theta_3 = \{v_1 v_4 v_7\}, \quad \nu_3 = 1$$

$\overline{G^*}$  では 4・クリーク 以上のクリークは含まれていない。

い。点  $v_1$  に注目して、  
 $\theta_1^1 = \{v_1\}, \quad \nu_{1,1} = 1$   
 $\theta_2^1 = \{v_1 v_4, v_1 v_5, v_1 v_6, v_1 v_7\}, \quad \nu_{2,1} = 4$   
 $\theta_3^1 = \{v_1 v_4 v_7\}, \quad \nu_{3,1} = 1$   
 式(2)より、ゾーン  $z_1$  で運ばれる呼量は、

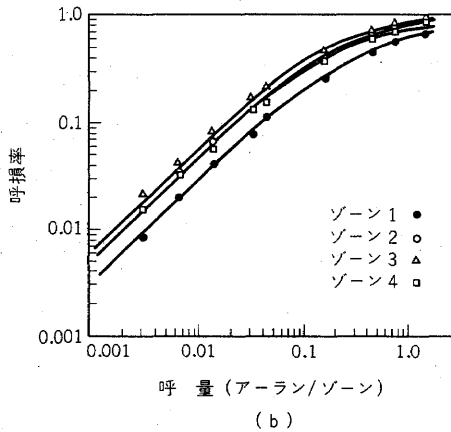
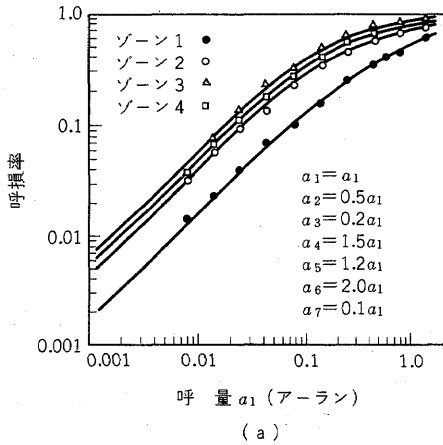


図4 (a) 1チャンネルに対する加わる呼量と呼損率  
 (b) 1チャンネルで  $a_i = a_j (i \neq j)$  に対する加わる呼量と呼損率

Fig.4-(a) Probability of blocking versus traffic offered for one channel.  
 (b) Probability of blocking versus traffic offered for one channel and  $a_i = a_j (i \neq j)$ .

$$a_{c,1} = \frac{\sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s^1 \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}}{1 + \sum_{x=1}^{k_m} \sum_{\theta_s^1 \in \Theta_x} a_{i_1} \cdot a_{i_2} \cdots a_{i_x}}$$

$$= (a_1 + a_1 a_4 + a_1 a_5 + a_1 a_6 + a_1 a_7 + a_1 a_4 a_7) / (1 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_1 a_4 + a_1 a_5 + a_1 a_6 + a_1 a_7 + a_2 a_6 + a_2 a_7 + a_3 a_7 + a_4 a_7 + a_1 a_4 a_7)$$

ゆえに、ゾーン  $z_1$  の呼損率は、

$$B_1 = (a_1 - a_{c,1}) / a_1 = (a_1 + a_2 + a_3 + a_1 a_4 + a_1 a_5 + a_1 a_6 + a_1 a_7 + a_2 a_6 + a_2 a_7 + a_3 a_7 + a_1 a_4 a_7) / (1 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_1 a_4 + a_1 a_5 + a_1 a_6 + a_1 a_7 + a_2 a_6 + a_2 a_7 + a_3 a_7 + a_4 a_7 + a_1 a_4 a_7)$$

もし、各ゾーンの呼量が均一の場合、つまり  $a_i = a_1 (i = 2, \dots, 7)$  の場合、式(18')より、

$$a_{c,1} = \frac{a_1 + 4a_1^2 + a_1^3}{1 + 7a_1 + 8a_1^2 + a_1^3}$$

$$B_1 = \frac{a_1 - a_{c,1}}{a_1} = \frac{3a_1 + 7a_1^2 + a_1^3}{1 + 7a_1 + 8a_1^2 + a_1^3}$$

$B_2, B_3, \dots, B_7$  も同様に求める。図4(a)は呼量が  $a_2 = 0.5a_1, a_3 = 0.2a_1, a_4 = 1.5a_1, a_5 = 1.2a_1, a_6 = 2.0a_1, a_7 = 0.1a_1$  の関係にある場合の加わる呼量  $a_1$  と各ゾーンの呼損率との関係を示している。図4(b)は各ゾーンに加わる呼量が等しい場合である。両図とも、実線が上記の式より求めたものであり、プロット点はシミュレーション結果である。

#### 4. 多チャンネル動作の場合のトラヒック特性

前述したように、ダイナミック周波数割当法を用いた系が多チャンネル系の場合、トラヒック特性を解析的に求めるのは容易でない。そこで、このような系に対するトラヒック特性の近似解法を開発しておく必要がある。この章では二つの近似法を述べる。

1) 1チャンネルの場合、各ゾーンに加わる呼量  $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$  に対して呼損率  $B_i$  は前章の式(2), (22)より求まる。呼量  $a_i$  がある完全線群に加わって呼損率が  $B_i$  となったと考えると、アーランB式<sup>†</sup>を用いて

† アーランB式(22)<sup>3</sup>

$$E_s(a) = \frac{a^s / s!}{\sum_{i=0}^s \frac{a^i}{i!}}$$

• が整数でない場合は次の式が用いられる。

$$E_s(a) = a^s e^{-a} / \int_a^\infty x^s e^{-x} dx$$

等価チャネル  $s_i$  を求めることができる。つまり、

$$B_i = E_{s_i}(a_i)$$

ここで、 $s_i$  は必ずしも整数とは限らなく、一般には、 $s_i \leq 1$  である。

系が  $n_c$  チャネル ( $n_c > 1$ ) であった場合、加わる呼量  $n_c \cdot a_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) に対してゾーン  $z_i$  の呼損率  $B_{i, n_c}$  は  $B_{i, n_c} = E_{n_c \cdot s_i}(n_c \cdot a_i)$  によって近似する。つまり、 $n_c$  個のダイナミックチャネル各々に呼量  $a_i$  が加わったとき (全体の呼量  $n_c \cdot a_i$ ) の呼損率が求まったことになる。これは呼量が各ダイナミックチャネルに均一に加わったとして等価チャネルを求めたことになる。そこで、これを (全体の) 呼量が  $\{a_i\}$  (呼量  $a_1, a_2, \dots, a_n$  から成る集合という意味) の場合 (の呼損率の求め方) に言い換えると次のようである。まず呼量  $\{a_i/n_c\}$ 、式(21)、(22)とアランB式より等価チャネル  $\{s_i\}$  が求まる (図5(a)参照)。そして、 $z_i$  ゾーンは  $n_c \cdot s_i$  チャネルから成る完全線群であると仮定し (図5(b))、加わる呼量  $a_i$  に対するゾーン  $z_i$  の呼損率  $B_{i, n_c}$  を  $B_{i, n_c} = E_{n_c \cdot s_i}(a_i)$  によって求める。

ii) 多チャネル系においてはある一つのチャネルに加わる呼量は他のチャネルからのあふれである場合が一般的である。そのため、各ダイナミックチャネルに加わる呼量が異なり、その結果各ダイナミックチャネルに対する等価チャネルも異なることになる。もし、ダイナミックチャネル  $j$  に加わる呼量が与えられた場合、前述の方法と同様にゾーン  $z_i$  におけるダイナミックチャネル  $j$  に対する等価チャネル  $s_{ij}$  が求まる。あ

ダイナミックチャネル

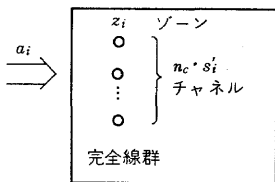
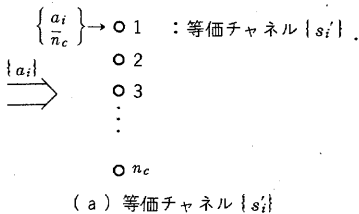


図5 近似法 i) の説明

Fig.5- Explanation of the approximation i).

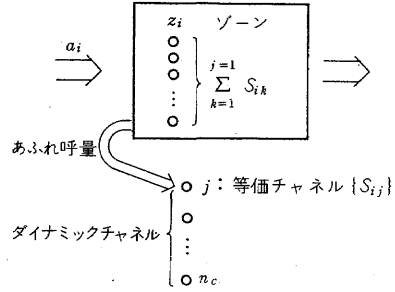


図6 あふれ呼量  
Fig.6- Overflow traffic.

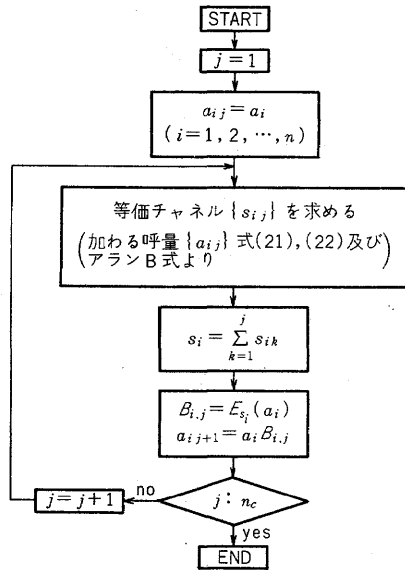


図7 近似法 ii) のフローチャート

Fig.7- The flowchart of the approximation ii).

あふれ呼量は一般にポアソン生起とは限らないが、等価チャネル  $s_{ij}$  はあふれ呼量の平均 (1次モーメント) と等しい呼量が加わったとして求められると仮定する (図6参照)。 $n_c$  チャネルを有する系に対する各ゾーンの呼損率の近似解法の手順を図7に示す。この方法は等価チャネル  $s_{ij}$  をチャネル  $j-1$  からのあふれ呼量より求めていることから、ダイナミック周波数割当アルゴリズムの中の 1st available 法<sup>†</sup> に対応していると見ることができるかもしれない。

次に例を示す。系として図3のサービスエリアを再び用いる。系は 10 チャネルとし、簡単のために各ゾ

<sup>†</sup> あきチャネルの検索中、最初のあきチャネルを割当てる。

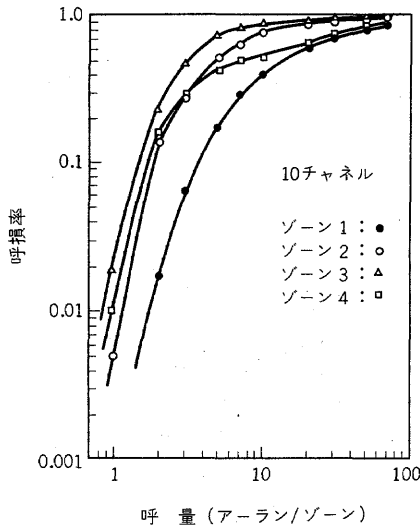


図8 シミュレーション結果  
Fig.8- Simulation results.

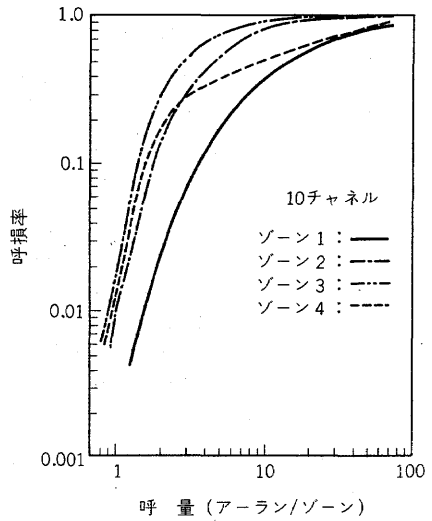


図10 近似法 ii) による結果  
Fig.10- The results of the approximation method ii).

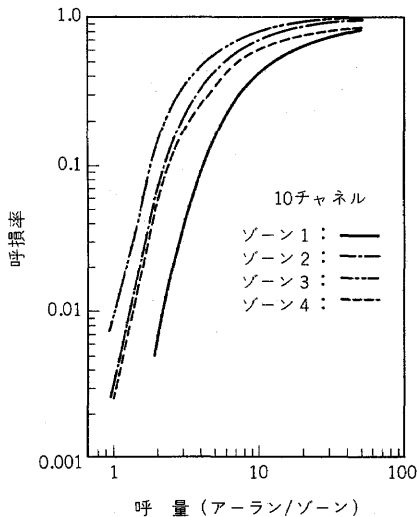


図9 近似法 i) による結果  
Fig.9- The results of the approximation method i).

ゾーン一様に呼が加わると仮定する。図8はダイナミック周波数割当アルゴリズムとして1st available法を用いた場合の計算機シミュレーション結果である。図9, 10はそれぞれ上述の近似解法 i), ii) から得られた結果である。

この例においては、図8のシミュレーション結果と比較すると ii) の方法の方が近似度が良いようである。

この理由の一つはシミュレーションの周波数割当アルゴリズムとして、1st available法を用いたことが考えられる。i)の方法はあまり良い近似となっていないが、計算法が簡単という特徴を持っている。

上記の二つの近似法において、等価チャンネルを求める際、あふれ呼量の平均(1次モーメント)だけを合せた近似を行っている。更に、あふれ呼量の分散まで合せた(等価ランダム法<sup>12,13</sup>参照)方法を用いればより良い近似が得られるものと思われる。

### 5. むすび

ダイナミック周波数割当法を用いた場合の各ゾーンのトラヒック特性の求め方について述べた。多チャンネル系の場合トラヒック特性の厳密解を求めることが困難なため、その近似解法についても触れた。本論文の例題からも分かるように各ゾーンに一樣に呼量に加わっても各ゾーンの呼損率が異なる。そのため、これらのことも考慮に入れたサービスエリアのゾーン分割(または、各ゾーンへの呼量の割当)、周波数割当アルゴリズムの選定などを行わなければならない。その際、本論文の結果が有用になるとと思われる。

又、ゾーン半径が小さくなり、移動体の通話中のゾーン変更が起る系ではそれらの影響も考慮して解を求めなければならない。この問題については別の機会にゆずる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費，総合研究(A)035012(昭50)，(A)135017(昭51～52)，(「ネットワーク構造を持つシステムに関する基礎研究」)の援助のもとに行われたものである。

文 献

- (1) Edited by William C. Jakes, Jr.: "Microwave mobile communications", John Wiley & Sons, Inc. (1974).
- (2) Schiff, L.: "Traffic capacity of three types of common-user mobile radio communication systems", IEEE Trans. Commun., COM-18, p.12 (Feb. 1970).
- (3) Staras, H. and Schiff, L.: "Spectrum conservation in land mobile radio services", IEEE Spectrum, 8, 7, p.28 (1971).
- (4) Cox, D. C. and Reudink, D. O.: "Dynamic channel assignment in high-capacity mobile communications systems", Bell Syst. Tech. J., 50, 6, p.1833 (July-Aug. 1971).
- (5) Cox, D. C. and Reudink, D. O.: "A comparison of some channel assignment strategies in large-scale mobile communications systems", IEEE Trans. Commun., COM-20, p.190 (April 1972).
- (6) Cox, D. C. and Reudink, D. O.: "Dynamic channel assignment in two-dimensional large-scale mobile radio systems", Bell Syst. Tech. J., 51, 7, p.1611 (Sept. 1972).
- (7) Engel, J. S. and Peritsky, M. M.: "Statically-optimum dynamic server assignment in systems with interfering servers", IEEE Trans. Commun., COM-21, 11, p.1287 (Nov. 1973).
- (8) Anderson, L.: "A simulation study of some dynamic channel assignment algorithms in high capacity mobile telecommunications system", IEEE Trans. Commun., COM-21, 11, p.1294 (Nov. 1973).
- (9) Cox, D. C. and Reudink, D. O.: "Increasing channel occupancy in large-scale mobile radio systems: dynamic channel re-assignment", IEEE Trans. Commun., COM-21, p.1302 (Nov. 1973).
- (10) Sengoku, M., Itoh, K. and Matsumoto, T.: "A dynamic frequency assignment algorithm in mobile radio communication systems", Trans. IECE Japan, E 61, 7, p.527 (July 1978).
- (11) Berge, C.: "Graphs and Hypergraphs", North-Holland, Amsterdam (1973).
- (12) 雁部 穎一: "電話交換トラヒック", 電気通信協会 (昭41).
- (13) 秋山 稔: "近代通信交換工学", 電気書院 (昭47). (昭和53年2月27日受付, 5月9日再受付)