

# コンピュータネットワークにおけるシステム設計論

## —トラヒック理論を中心にして—

### A Theory of System Design in Computer Network

渋井 二三男\*  
Fumio Shibui

トラヒック理論は待ち合わせ理論ともよばれ、基本的には確率論が根底になるものであり、コンピュータネットワーク系においては、最適なシステムを構築する際に必要となる理論である。

本論ではこのトラヒック理論の実務的な視点からコンピュータネットワークシステムを構築・設計する際に必ず留意しなければならない基本的なトラヒック理論について概説する。

## 1. 呼の性質及び呼量

### 1.1 呼の性質

世の中の万象は天気予報のように科学的な予測データから明日の天気を予測するものがあるが、現在の科学で100%当てることは不可能である。しかし、水道、電気、ガス…等の使用などに代表される、これら社会生活、集団生活の動きには、ある一定の規則性を持った現象が多いことに驚くであろう。

地震・火災などの自然災害・人災などの例外を除いて図1に示すように通常の学校における一日のコンピュータネットワーク情報端末の使用量は基本的に一定の分布(22頁分布)を形成する場が多い。

ここで、最も頻度の高いコンピュータネットワーク回線を使用するピーク時の連続する1時間/1日24時間を最繁時といい、最繁時1時間中に発生する呼数(呼量)を、最繁時呼数(あるいは最繁時呼量)という。

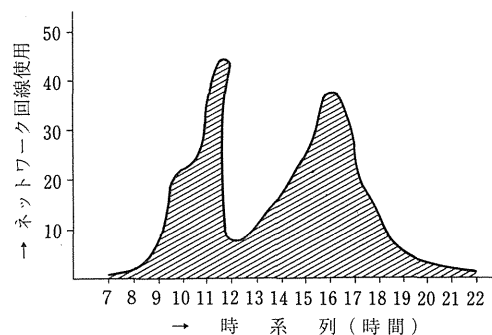


図1 学校の1日のコンピュータネットワーク回線使用例

\* 城西大学女子短期大学部

## 1.2 呼 量

### (1) トラヒック量

道路における自動車などの一日の交通量は時間帯によって渋滞になる場合とそうでない場合があり、ナビゲータのような監視装置も出現し、交通渋滞解消の一助となっている。

同様にデータ通信などの非電話系も通信を適正に行なうため交通整理が必要となり、これをトラヒックとよんでいる。広義に解釈すると、トラヒック理論は確率論が根底となるもので、非常に広範囲なものを扱うが、ここでは、トラヒック理論の中でコンピュータネットワークを設計する際に必要となる事柄のみについて述べる。

このトラヒックの大きさで中継線、リンク、データ端末、保守者の人数などを算出している。

このトラヒックの大きさをトラヒック量といって、次式で与えられる。

$$\text{トラヒック量} = \text{呼数} \times \text{平均保留時間}$$

ここで、呼数とは呼の発生する回数、平均保留時間は呼がネットワーク（デジタル交換機、中継線…など）を占有している時間をいう。

### (2) 呼量（トラヒック密度）

#### (i) 呼量の定義

1時間あたりのトラヒック量を呼量あるいはトラヒック密度といい、次式で与えられる。

$$\text{呼量 (トラヒック密度)} = \frac{\text{トラヒック量}}{\text{対象時間}} = \frac{\text{呼量} \times \text{平均保留時間}}{\text{対象時間 (3600 秒)}}$$

ここで、 $c$  : 1時間あたりの加わった呼数、 $c_c$  : 1時間あたりの運ばれた呼数、 $h$  : 平均保留時間（単位は時間）、とすると、図2より次式が与えられる。

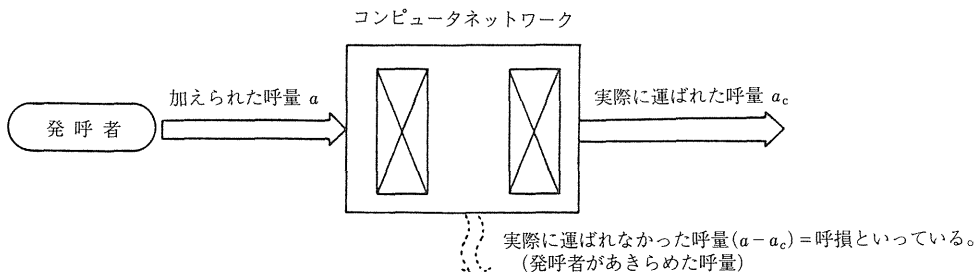


図2 コンピュータネットワーク系モデルにおける各定義の意味

$$\text{加えられた呼量} \quad a = ch \quad (1)$$

$$\text{運ばれた呼量} \quad a_c = c_c h \quad (2)$$

また、実際に運ばれなかった呼量，すなわち，加えられた呼量  $a$ ，実際に運ばれた呼量  $a_c$  との差 ( $a - a_c$ ) を一般的に呼損とっている。

(ii) 呼量の単位

1 アーラン (erl) とは 1 中継線 (装置) を 1 時間継続的に使用したときの呼量であり，1 中継線の運び得る最大呼量でもある。

これは呼量の国際単位として広く使用されている。

(iii) 呼量の示す意味

以上，説明したように，呼量とはトラヒックを扱ううえで，最も基本となる単位である。次に，呼量には，以下に示すように，深い意味があるので，それを列挙する。

- ① 呼ばれた呼量  $a_c$  は「1 時間中の中継線 (装置) の延べ保留時間である。」
- ② 加えられた呼量  $a$  は「平均保留時間内に生起する平均呼数である。」

## 2. 呼 損 率

図 2 のコンピュータネットワーク系のモデルをもう一度見ながら考えてみる。すなわち，即時式のコンピュータネットワークにおいて，呼が多くなり，接続されない呼を損失呼とっている。この損失呼が起こる確率を呼損率という。

例を挙げて証明すると，あるコンピュータネットワークで入力データ端末に 1000 呼が発生したと仮定する。そこで，その中の 1 つの呼は出力データ端末がすべて使用しているため，損失呼となった時は，呼損率は  $1/1000$  となる。したがって，即時系コンピュータネットワークでは呼損率の割合により，そのコンピュータネットワークのサービス提供の割合として表わすことができる。

また，いうまでもなく，この呼損率の割合が大きい程，コンピュータネットワーク上の損失となる呼数が多いということなので，このコンピュータネットワークのサービス提供は悪いということの意味する (図 3 参照)。

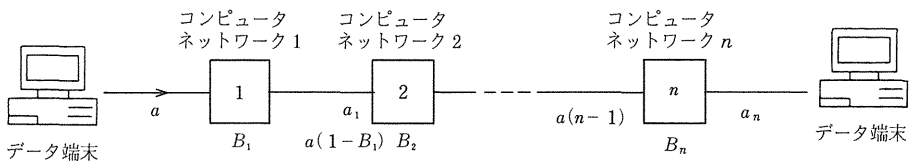


図 3 総合呼損率

### 3. 完全群

#### 3.1 完全群, 不完全群とは

図4に示すように、入線数  $N$  である方路に  $s$  回線数のうち1つでも空いていれば入線側と出線側は必ず接続できる。

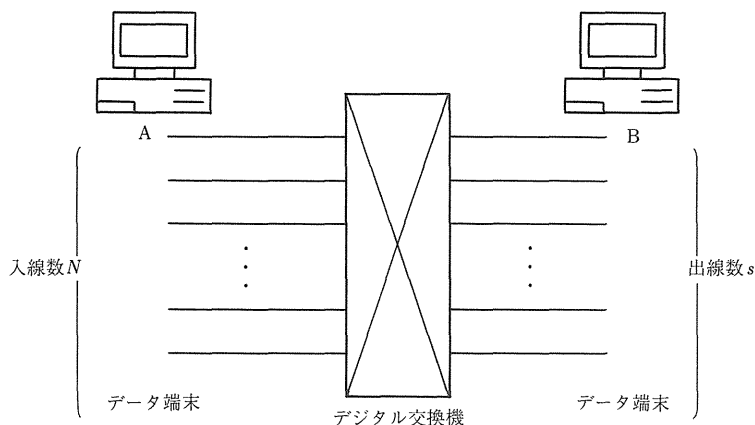
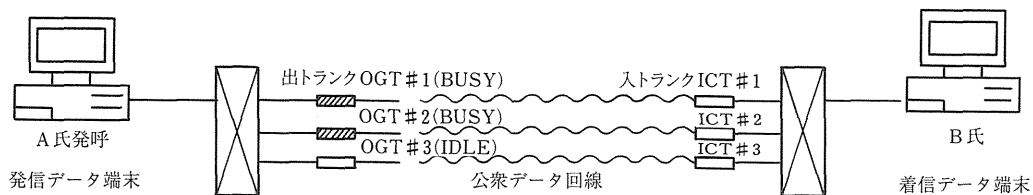


図4 完全群

また、これが輻輳となるのは、出線数  $s$  回線全部が使用中の場合だけであるような構成を、利用率  $s$  の完全群といい、必ず出線接続が行なわれるので、呼損とはならない(図5参照)。



A氏が発呼して出トランクOGT#3が空きトランク(IDLE TRANK)で、1つでも空いているならば、A氏とB氏は接続され、呼損とはならない。

図5 完全群の具体例

一方、出線が全部使用中(BUSY)でないのに、入線に生じた呼が輻輳の起こるような構成を不完全群といっている。

ここで、出入中継線数が等しく、かつ加わる呼量が等しい場合は、完全群の方が不完全群より回線エネルギーが高いことに留意しなければならない。

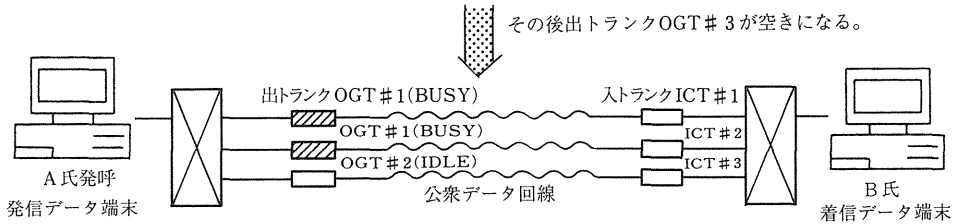
たとえばデジタル交換機にあるトランク接続のように、発呼があるとデジタル交換機は発信トランクを接続していくことになるが、発信トランクがすべて使用中の時は、発呼できなくなるようになっている。

呼の例のように、呼が入線に発生すると、出線に接続されるかどうか直ちに（即時に）決定してしまう方式を即時式と言っている。この場合、出線が全て使用中、あるいは輻輳であったものが、その後、空きになっても入線と出線は接続されず、結局、呼損となってしまう。

図6に示したように、即時式特性をもった完全群を即時式完全群といい、トラヒック理論の中でも、最も基本的な考え方である。



出トランクOGT # 1 ~ # 3 がすべて使用中 (BUSY) 状態で、A氏が発呼した場合



発信データ端末は発信不可の状態となり、使用中 (BUSY) 返しとなる。

図6 即時式完全群の具体例

### 3.2 代表的な即時式完全群

即時式完全群理論の代表例を次に示す。

- (1) アーラン B 式  
[昭和 40 年度 NTT 接続基準に制定]
- (2) モリナ (Molina) 式  
[ PBX 装置の機器算出に採用]
- (3) エングセット (Enguset) の式  
[一般的であるが複雑なトラヒック理論]

#### (1) アーラン B 式

アーラン B 式はほかの方式と比べ、実験結果とも比較的良好に一致しており、トラヒック上の演算も比較的容易なため非常によく使用されている、トラヒックを求めるうえでの公式である。また、昭和 40 年度 NTT の接続基準では、アーラン B 式を採用することにしている。それでは、アーラン B 式とはどういうものか次に説明する。ある回線に 1 時間中に運ぼうとして、加えられ

た呼量に対する1時間中に運びきれなくて、残された呼量の割合、すなわちアーランの呼損率  $B$  は式(3)で求められる。

$$B = \frac{\frac{a^n}{n!}}{1 + \frac{a}{1} + \frac{a^2}{2!} + \dots + \frac{a^n}{n!}} \quad (3)$$

ここで、 $n$  : 出線数

$a$  : 入線に加わる呼量

$n!$  :  $n(n-1)(n-2)\dots\cdot 2\cdot 1$

を示す。

一般的に、サービス程度を示す呼損率  $B$  を決めておいて、入線に加わる呼量  $a$  により、必要とする出線数  $n$  を求める場合がほとんどである。そこで、式(3)より出線数  $n$  を求めるのは決して簡単なことではないので、アーランの負荷表、あるいはアーラン数表を用いることが多い。このアーラン  $B$  式は、即時式完全群損失式ともいっている。他にモリナ (Molina) 式、エンゲセット (Enguset) の式があるが紙面の関係で割愛する。

本稿では、コンピュータネットワークをシステム設計する際、ハードウェア機器数、各  $I/\bar{O}$  対応の Transaction Memory 数をどのくらいに設定してシステム設計すれば経済的で効率的なコンピュータネットワークを構築できるかを待ち行列理論の基礎であるトラヒック理論を用いて概説した。

今回はコンピュータネットワークをシステム設計する際に重要な要因である、

- ① コンピュータネットワーク完全群、不完全群の各特性
- ② コンピュータネットワークシステムの動作率
- ③ コンピュータネットワークシステムの標準負荷
- ④ コンピュータネットワークシステムの保守者数

…などについて実務的なトラヒック理論の視点から概説したい。