HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	外部Discouraged到着率をもつ計算機網のEnd-to-End輻輳制御方式
Author(s)	本間, 利久; 加地, 郁夫
Citation	北海道大學工學部研究報告, 93, 43-56
Issue Date	1979-01-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41555
Type	departmental bulletin paper
File Information	93_43-56.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第93号（昭和54年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 93 (1979)

外部 Discouraged 到着率をもつ計算機網の End-to-End 輻輳制御方式

本間利久* 加地郁夫**

(昭和53年9月30日受理)

End-to-End Flow Control with External Discouraged Arrivals in Computer Communication Systems

Toshihisa HONMA* and Ikuo KAJI**

(Received September 30, 1978)

Abstract

It is important to analyze congestion phenomena in computer communication systems in order to have a full and effective utilization of computer resources. In this paper, we analyze an end-to-end flow control with external discouraged arrivals in place of conventional external constant arrivals, using a queueing network theory. External discouraged arrivals imply that external messages are transmitted at a rate in proportion to the number of external messages, so that consideration of external discouraged arrivals improves the character of an end-to-end flow control such as congestion, blocking probability, inhomogeneous external traffic density, number of stages, per cent improvement and control parameter. Furthermore, we find that character of external messages is improved to a much greater extent than that of link messages.

1. 緒　　言

計算機網の発達は，計算機網中で発生するメッセージまたはパケットの輻輳を制御することの重要さを促してきた。その輻輳を制御する方式として，固定経路選択法で定めた伝送経路（論理経路）上のメッセージ（リンクメッセージ）数を制御する方式と，計算機網中の全メッセージ数を制御する方式とに大別されるが，ここでは，前者の例として知られる ARPA ネットワークの輻輳制御方式すなわち end-to-end 輻輳制御方式を考察する。

この輻輳制御方式の解析として，循環形待ち行列網の確率模型を用いた解析がある[1]。この模型によると，論理経路上に到着する外部メッセージ（リンクメッセージ以外の論理経路上に到着するメッセージ）に対する輻輳は，リンクメッセージの存在により発生する。そのため，この輻輳現象を低く抑える方法として，外部メッセージに対し外部メッセージ数に比例した処理能力を，各中継局に付加させることが考えられる。本論文では，この様な機能を直接考慮するのでは

* Division of Information Engineering, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060.
** Department of Electricity, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060.
* 情報工学専攻情報システム工学講座
** 電気工学科系統工学講座

なく，間接的に考察するために，一定外部到着率に代わり外部 discouraged 到着率を仮定した。そして，外部 discouraged 到着率の end-to-end 輻輳制御方式と一定外部到着率の場合とを比較し，外部 discouraged 到着率による end-to-end 輻輳制御方式への効果を調べた[2,3]。

以下，第2章では，end-to-end 輻輳制御方式の確率模型および平衡方程式とその解をもとめ，第3章で，輻輳制御方式の評価方法を述べた。第4章は，輻輳率，閉塞確率，外部トラフィック密度の不均一性，論理経路の段数，%改善率および制御パラメータについての特性を調べ，第5章で，外部 discouraged 到着率による効果とその特長をまとめた。

2. 輻輳制御方式

2.1 解析模型

end-to-end 輻輳制御方式は，固定経路選択方式で決定した論理経路上の全リンクメッセージ数 N を，リンクメッセージの生起局で制御する方式である。そのため，全リンクメッセージ数が N 未満であれば，リンクメッセージの到着を生起局で許し，N に等しい時は，リンクメッセージは損失される。この様に，全リンクメッセージ数 N を制御パラメータと考えた end-to-end 輻輳制御方式を，循環形待ち行列模型で表わしたのが Fig. 2-1 である。Fig. 2-1 において，$M+1$ 段目が，リンクメッセージの生起局および目的局に相当し，ここで，全リンクメッセージ数を制御する。リンクメッセージの到着率は，$\lambda_0=$ 一定とし，N 個以下のメッセージの循環を許すことにする。1段目から M 段目は中継局を表わし，論理経路を模型化したものである。各中継局の伝送能力は，サービス率 μ_i で表わすことにする。また，外部メッセージは，解析の簡単化のため，i 段目に到着したものは，i 段目から論理経路以外に伝送されるものと仮定する。

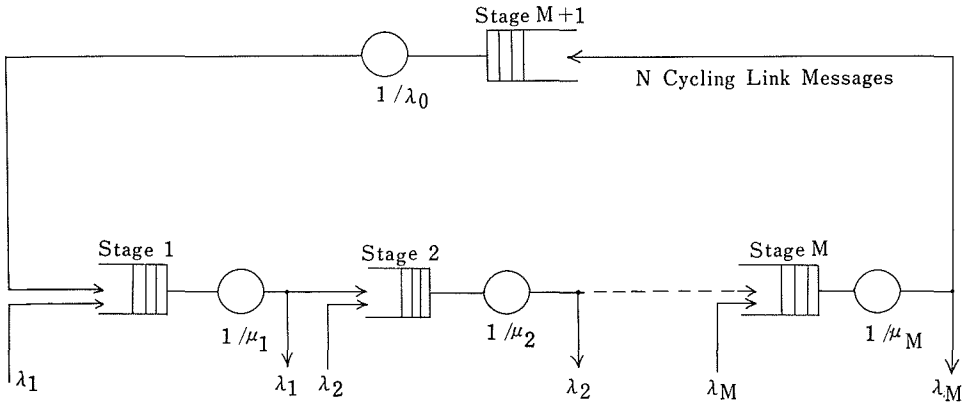

Fig. 2-1 Equivalent closed system for end-to-end control

本論文で考察する i 段目の外部 discouraged 到着率

$$\lambda_i=\frac{\alpha_i}{m_i+1},\quad i=1,2,\cdots,M,\quad m_i=0,1,2,\cdots \tag{2-1}$$

は，間接的に，外部メッセージの到着率が一定で（$\lambda_i=\alpha_i$），外部メッセージ数 m_i に比例したサービス率 $\mu_i=m_i\mu_i$ で外部メッセージを処理する模型に相当している[4]。この様な機能が，各段に付加されるため，外部メッセージに対する輻輳が低く抑えられるものと期待される。

2.2 平衡方程式と解析解

到着時間間隔分布として（2-1）式の到着率をもつ指数分布，サービス時間分布としてサービ

ス率一定の指数分布を仮定すると，確率流の保存則から平衡方程式

$$\left[\lambda_0+\sum_{i=1}^{M}\frac{\alpha_i}{m_i+1}+\sum_{i=1}^{M}\mu_i\right]P(\bar{n},\bar{m})=\lambda_0P(n_1-1,n_2,\cdots,n_M,\bar{m})+\sum_{i=1}^{M}\frac{\alpha_i}{m_i}P(\bar{n},m_1,\cdots,m_i-1,\cdots,m_M)$$
$$+\sum_{i=1}^{M}\frac{n_i+1}{n_i+1+m_i}\mu_iP(n_1,\cdots,n_i+1,n_{i+1}-1,\cdots,n_M,\bar{m})$$
$$+\frac{n_M+1}{n_M+1+m_M}\mu_MP(n_1,\cdots,n_M+1,\bar{m})$$
$$+\sum_{i=1}^{M}\frac{m_i+1}{n_i+m_i+1}\mu_iP(\bar{n},m_1,\cdots,m_i+1,\cdots,m_M)\qquad(2\text{-}2)$$

がもとまる。ここで，$\bar{n}\triangleq(n_1,n_2,\cdots,n_M)$，$\bar{m}\triangleq(m_1,m_2,\cdots,m_M)$，$n_i$ は，i 段目のリンクメッセージ数，$P(\bar{n},\bar{m})$ は，状態 $(\bar{n},\bar{m})$ をとる定常確率である。平衡方程式 (2-2) 式を局所平衡方程式で表わし，積形式の解を仮定すると，解析解，

$$P(\bar{n},\bar{m})=\frac{1}{Z_M^N}\prod_{i=1}^{M}\frac{(n_i+m_i)!}{n_i!(m_i!)^2}\left(\frac{\lambda_0}{\mu_i}\right)^{n_i}\left(\frac{\alpha_i}{\mu_i}\right)^{m_i}e^{-\alpha_i/\mu_i}\qquad(2\text{-}3)$$

を得る。ただし，

$$Z_M^N\triangleq\sum_{\bar{n}\in S(N,M)}\prod_{i=1}^{M}\frac{X_i^{n_i}}{A_i(n_i)},\qquad S(N,M)\triangleq\{(n_1,n_2,\cdots,n_M)\mid\sum_{i=1}^{M}n_i\leqq N\text{ and }n_i\geqq0\ {}^{\forall}i\},$$

$$X_i\triangleq\frac{\lambda_0}{\mu_i},\qquad A_i^{-1}(n_i)\triangleq\sum_{r=0}^{n_i}\frac{\binom{n_i}{r}}{(n_i-r)!}\left(\frac{\alpha_i}{\mu_i}\right)^{n_i-r}$$

そこで，母関数

$$G(\bar{v},\bar{w})=\frac{1}{Z_M^N}\sum_{\substack{\text{all possible}\\ \text{states }(\bar{n},\bar{m})}}\prod_{i=1}^{M}\left(\frac{v_i\lambda_0}{\mu_i}\right)^{n_i}\left(\frac{w_i\alpha_i}{\mu_i}\right)^{m_i}\frac{(n_i+m_i)!}{n_i!(m!)^2}e^{-\alpha_i/\mu_i}\qquad(2\text{-}4)$$

を導入し，i 段目の平均リンクメッセージ数 $E(n_i)$，平均外部メッセージ数 $E(m_i)$ を計算すると，

$$E(n_i)=\frac{\partial G(\bar{v},\bar{w})}{\partial v_i}\bigg|_{\bar{v}=\bar{w}=1}=\frac{X_i}{Z_M^N}\frac{dZ_M^N}{dX_i},\qquad(2\text{-}5)$$

$$E(m_i)=\frac{\partial G(\bar{v},\bar{w})}{\partial w_i}\bigg|_{\bar{v}=\bar{w}=1}=\frac{\alpha_i}{\mu_i}+E(n_i)-R_i\qquad(2\text{-}6)$$

を得る。ただし，

$$R_i\triangleq\frac{1}{Z_M^N}\sum_{\bar{n}\in S(N,M)}\prod_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{M}\frac{X_j^{n_j}}{A_j(n_j)}\cdot\frac{X_i^{n_i}}{\tilde{A}_i(n_i)},\qquad\tilde{A}_i(n_i)\triangleq\left[\sum_{r=0}^{n_i}\frac{r(n_i)}{(n_i-r)!}\left(\frac{\alpha_i}{\mu_i}\right)^{n_i-r}\right]^{-1}$$

さらに，リンクメッセージ数の閉塞確率 P_B は，

$$P_B=\sum_{\substack{\text{all states}(\bar{n},\bar{m})\\ \text{with }\bar{n}=N}}P(\bar{n},\bar{m})=1-\frac{Z_M^{N-1}}{Z_M^N}\qquad(2\text{-}7)$$

となり，リンクメッセージのスループット $\lambda_0(1-P_B)$ がもとまる。また，end-to-end 輻輳制御方式の特性は，外部メッセージに対して (2-6) 式から，リンクメッセージに対して (2-7) 式から計算される。

3. 輻輳制御の評価

リンクメッセージに対する輻輳制御の評価は，閉塞確率 P_B (2-7) 式から与えられることを前章で指摘したが，外部メッセージに対する制御特性の評価は，Pennotti の定義した輻輳率 C，%

改善率Ⅰを用いて行う[5]。すなわち，

$$C \triangleq \frac{\sum_{i=1}^{M} \lambda_i C_i}{\sum_{i=1}^{M} \lambda_i} \tag{3-1}$$

$$I \triangleq \frac{\sum_{i=1}^{M} \lambda_i I_i}{\sum_{i=1}^{M} \lambda_i} \tag{3-2}$$

ただし，

$$C_i \triangleq \frac{T_i - T_i|_{\text{no link}}}{T_i|_{\text{no link}}} = \frac{E(m_i) - E(m_i)|_{\text{no link}}}{E(m_i)|_{\text{no link}}},$$

$$I_i \triangleq \frac{T_i|_{\text{no control}} - T_i}{T_i|_{\text{no control}}} \times 100(\%) = \frac{E(m_i)|_{\text{no control}} - E(m_i)}{E(m_i)|_{\text{no control}}} \times 100(\%),$$

$T_i|_{\text{no link}}$ は，論理経路上にリンクメッセージが存在しない時の外部メッセージの i 段目平均滞在時間である。また，$T_i|_{\text{no control}}$ は，一定外部メッセージ到着率のもとで，輻輳制御を行なわない時の i 段目における外部メッセージの平均滞在時間，$T_i|_{\text{no control}} = \lambda_i/(\mu_i - \lambda_i - \lambda_0)$ である。さらに，平均滞在時間を平均数で表わすために Little の公式[6]を用いている。

i 段目の輻輳率 C_i は，リンクメッセージの存在により，外部メッセージの i 段目における平均滞在時間がどの程度長くなるかを表わしており，i 段目の%改善率 I_i は，外部 discouraged 到着率を考えた輻輳制御を行うことにより，制御をしない場合に比較して，i 段目の外部メッセージの平均滞在時間がどの程度短縮されるかを示す。

以上の定義から，到着率とサービス率を与えた時，リンクメッセージに対して P_B を小さく，外部メッセージに対して C_i を小さく，I_i を大きくする様な制御パラメータ N をもとめることが必要となる。

4. 輻輳制御の特性

4.1 輻　輳　率

輻輳制御の特性を評価する (3-1) 式および (3-2) 式を計算するために，平均外部メッセージ数 (2-6) 式を，また，閉塞確率 P_B を評価するために (2-7) 式を，数値的にもとめる必要がある。これらの特性量は，リンクメッセージ数の関数 $A_i(n_i)$ に依存する分配関数 Z_M^N で記述されているため，この関数値を効率よく計算するアルゴリズムを使用した[7]。計算に必要な入力データとして，制御パラメータ N，論理経路の段数 M，リンクメッセージのトラフィック密度 $\rho_0 = \lambda_0/\mu_i$，外部メッセージのトラフィック密度 $\rho_i = \lambda_i/\mu_i$ を指定する必要がある。ただし，discouraged 到着率の場合，ρ_i と α_i/μ_i は，$\alpha_i/\mu_i = -\ln(1-\rho_i)$ の関係で結ばれている[4]。

Fig. 4-1 は，$M=3$，$\rho_i=0.3\,(i=1, 2, 3)$ のもとで，輻輳制御を行った場合としなかった場合の輻輳率-リンクメッセージトラフィック密度 (C-ρ_0) 特性および一定外部到着率と外部 discouraged 到着率との場合における輻輳制御の比較を示している。この図から，輻輳率 C は，ρ_0 の増加とともに増すが，輻輳制御を行うと，C の飽和する傾向が示され，その飽和値は，N の大きい程大きくなる。一方，輻輳制御を行なわない場合，C の発散する様子が示され，この場合 $\rho_0=0.7$ で発散する。また，C の飽和値は，一定外部到着率より外部 discouraged 到着率の方が小さく，輻輳率も小さい。

今，外部 discouraged 到着率の効果を調べるため，外部 discouraged 到着率による輻輳率の

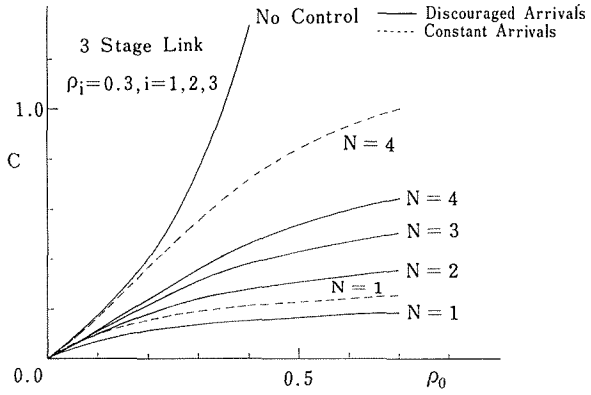

Fig. 4-1 Congestion vs. link messages traffic

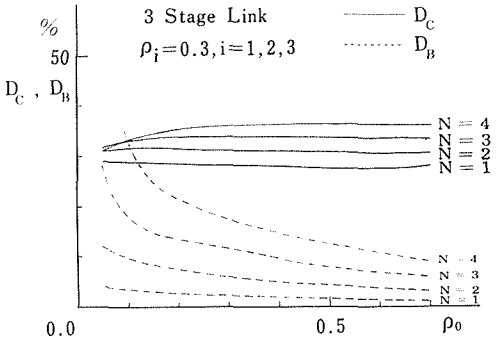

Fig. 4-2 Decreasing rate of congestion and blocking probability vs. link messages traffic

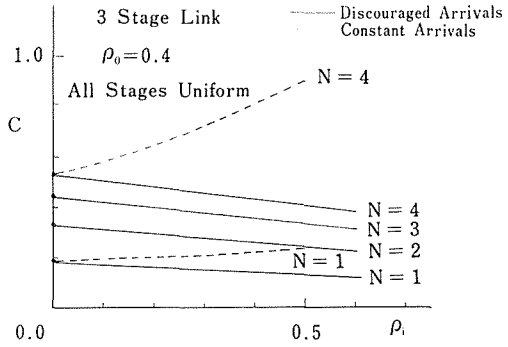

Fig. 4-3 Congestion vs. external messages traffic

減少率

$$D_C \triangleq \frac{C_{\text{const.}} - C_{\text{dis.}}}{C_{\text{const.}}} \times 100 \ (\%) \tag{4-1}$$

を定義する。ただし，$C_{\text{const.}}$ と $C_{\text{dis.}}$ は，各々，一定外部到着率，外部 discouraged 到着率の輻輳率である。この定義にもとづき，輻輳率の減少率—リンクメッセージトラフィック密度特性 (D_C-ρ_0 特性) を図示したのが Fig. 4-2 の実線である。パラメータの値は，Fig. 4-1 と同じである。この図から，外部 discouraged 到着率による輻輳率の減少の割合は，ρ_0 の値にほぼ独立で，一定の減少率をもち，N の大きい程，減少率も大きいことがわかる。

つぎに，ρ_0 をパラメータとして，輻輳率—外部メッセージトラフィック密度 (C-ρ_i) 特性を図示したのが，Fig. 4-3 である。一定外部到着率の場合，ρ_i の増加とともに C は増すが，外部 discouraged 到着率の場合，C は減少する。このことをより明確に示したのが，Fig. 4-4 の輻輳率の減少率—外部メッセージトラフィック密度 (D_C-ρ_i) 特性である。外部 discouraged 到着率による輻輳率の減少率は，ρ_i に比例して大きくなることを，この図は示している。このことは，外部メッセージ数に比例したサービス率を外部メッセージに対して提供していることの間接的な効果と考えられる。

4.2 閉塞確率

外部 discouraged 到着率を考慮した時の閉塞確率-リンクメッセージトラフィック密度 (P_B-ρ_0) 特性を，Fig. 4-1 と同じパラメータに対して図示したのが，Fig. 4-5 である。閉塞確率は，ρ_0 の

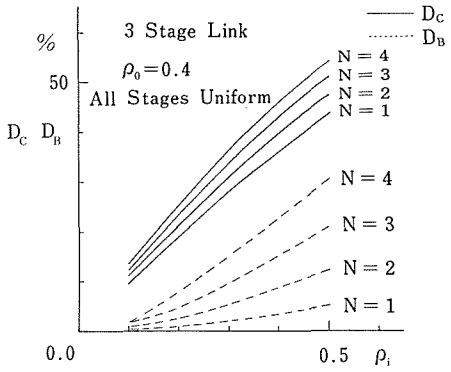

Fig. 4-4 Decreasing rate of congestion and blocking probability vs. external messages traffic

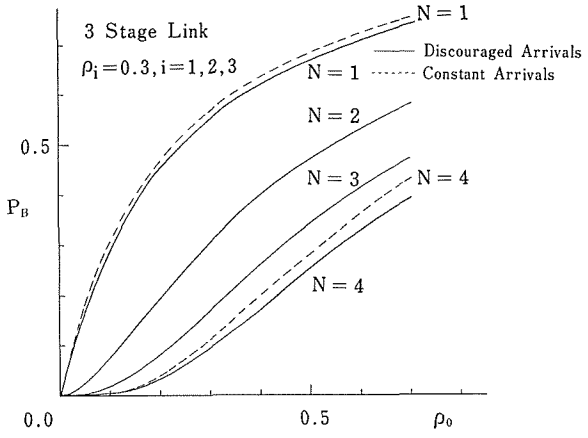

Fig. 4-5 Blocking probability vs. link messages traffic

増加とともに増し，制御パラメータ N が大きい程，閉塞確率は小さい。そのため，リンクメッセージに対しては，N を大きくすることが望ましいが，Fig. 4-1 に示される様に，N の増加は，外部メッセージに対する輻輳率を増すことになる。このことは，リンクメッセージおよび外部メッセージに対し，適切な制御パラメータの存在を示唆している。

Fig. 4-5 は，また，外部 discouraged 到着率による大幅な閉塞確率の減少を示していない。このことを調べるために，閉塞確率の減少率

$$D_B \triangleq \frac{P_{B\,\text{const.}} - P_{B\,\text{dis.}}}{P_{B\,\text{const.}}} \times 100 \quad (\%) \tag{4-2}$$

を定義する。ただし，$P_{B\,\text{const.}}$ と $P_{B\,\text{dis.}}$ は，各々，一定外部到着率，外部 discouraged 到着率の閉塞確率である。この定義にもとづき，閉塞確率の減少率—リンクメッセージトラフィック密度 (D_B–ρ_0) 特性を図示したのが，Fig. 4-2 の破線である。この図より，D_B は，ρ_0 の増加に対し減少する傾向をもつ。このことは，外部 discouraged 到着率による P_B の減少量が ρ_0 の増加に対してほぼ一定量であることを意味している。また，Fig. 4-2 は，N の大きい程 D_B が大きいことを示している。さらに，Fig. 4-2 の D_C–ρ_0 特性と D_B–ρ_0 特性を比較すると，外部 discouraged 到着率は，D_B より D_C に対する改善の寄与が大きいことがわかる。

つぎに，Fig. 4-3 と同じパラメータで，閉塞確率—外部メッセージトラフィック密度 (P_B–ρ_i) 特性を図示したのが，Fig. 4-6 である。この図から，ρ_i の増加とともに P_B も増すが，一定外部到着率に比較して外部 discouraged 到着率の方が，増加の割合が少ない。また，ρ_i の大きい程，一定外部到着率と外部 discouraged 到着率との P_B の差が増加するため，D_B が ρ_i の増加に対し増すことが，Fig. 4-4 の破線で示される。N の大きい程，D_B も大きいが，D_C–ρ_i 特性と比較すると，D_B は D_C よりも小さい。これは，外部 discouraged 到着率による特性改善が，外部メッセージに対して重点がおかれているためで，リンクメッセージの特性改善は，副次的効果であることを示している。

Fig. 4-7 は，Fig. 4-1 と Fig. 4-5 とをまとめ，また，Fig. 4-8 は，Fig. 4-3 と Fig. 4-6 とをまとめて C–P_B 特性を図示したものである。外部 discouraged 到着率の性質から，Fig. 4-7 の C–P_B 曲線は，ρ_i の変化に対して，ほとんど変化しないが，Fig. 4-8 の C–P_B 曲線は，ρ_0 の値により移動することがわかる。すなわち，ρ_0 の小さな値程，C–P_B 特性曲線は原点方向に移行する。

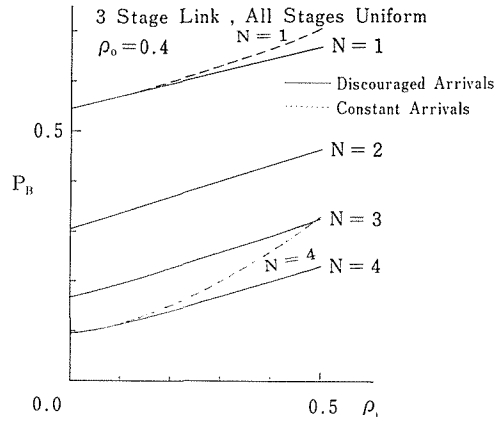

Fig. 4-6 Blocking probability vs. external messages traffic

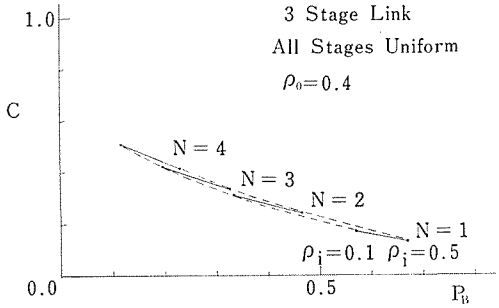

Fig. 4-7 Congestion vs. blocking probability: effect of link messages traffic on performance

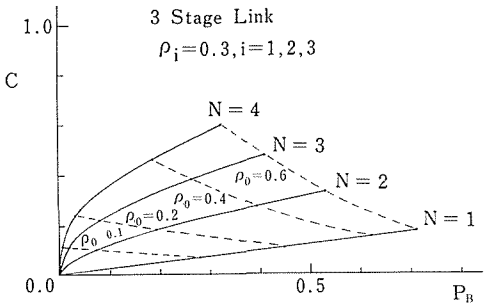

Fig. 4-8 Congestion vs. blocking probability: effect of external messages traffic on performance

4.3 外部メッセージトラフィック密度の不均一性

論理経路上の各段の外部メッセージトラフィック密度は，すべて同一とはかぎらない。そこで，$\sum_{i=1}^{M}\rho_i=$const. の制約条件のもとで，各段の ρ_i が不均一となる場合を考察する。各段の不均一の状態は，不均一となる中継局の順序に無関係であるので，簡単のため，段数が 3 の場合に対し，不均一性

$$\rho_1=\rho_2\pm r,\qquad \rho_2=\rho_2,\qquad \rho_3=\rho_2\mp r \tag{4-3}$$

を考察した。$r=0$ の場合，ρ_i が均一となり，r を大きくするとともに不均一性が増す。Fig. 4-9 の輻輳率—不均一性 (C–r) 特性，Fig. 4-10 の閉塞確率—不均一性 (P_B–r) 特性から，外部 discouraged 到着率の場合，C および P_B は，不均一性の増加に対してほとんど影響をうけず一定となるが，一定外部到着率の場合，C および P_B は，不均一となるにしたがい増大する。そのため，減少率 D_C と D_B は，不均一性の増加とともに大きくなることが，Fig. 4-11 に示される。さらに，減少率 D_C が D_B より大きいのは，ρ_0, ρ_i に関する場合と同様，不均一性に関しても，主に外部メッセージに対する特性が改善されることを意味している。以上のことを，C–P_B 特性として図示したのが，Fig. 4-12 である。

4.4 論理経路の段数

今までは，論理経路の段数を $M=3$ と仮定して，輻輳制御の種々の特性を調べてきた。この節では，$N=$一定として論理経路の段数 M を増加させる場合と，制御パラメータ N と段数との

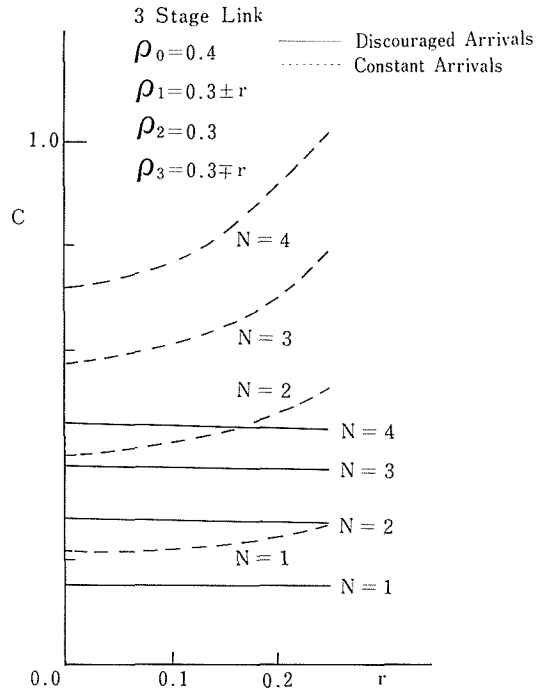

Fig. 4-9 Congestion vs. imbalance

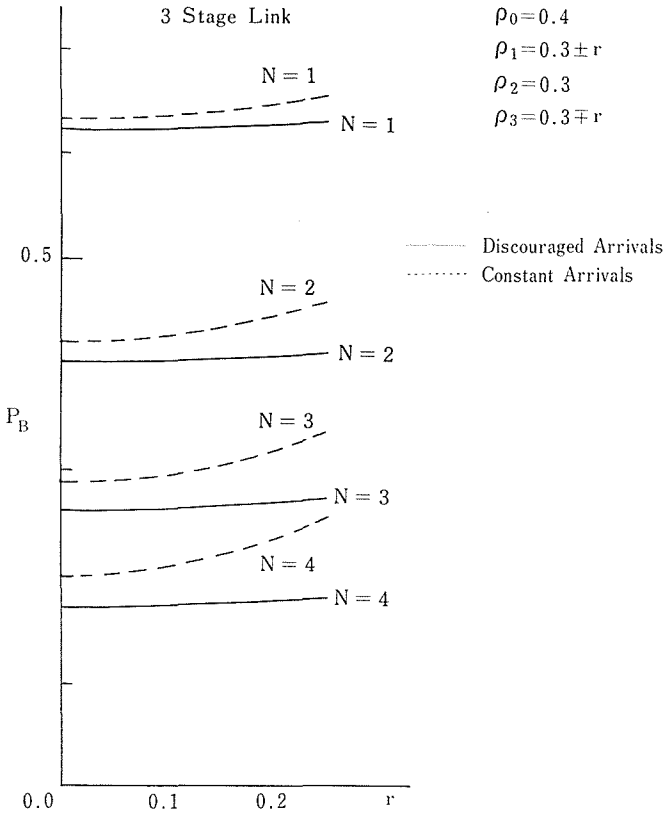

Fig. 4-10 Blocking probability vs. imbalance

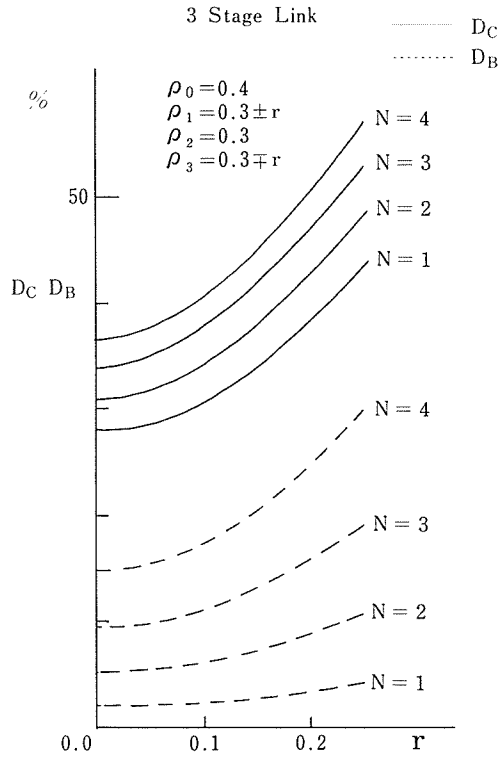

Fig. 4-11 Decreasing rate of congestion and blocking probability vs. imbalance

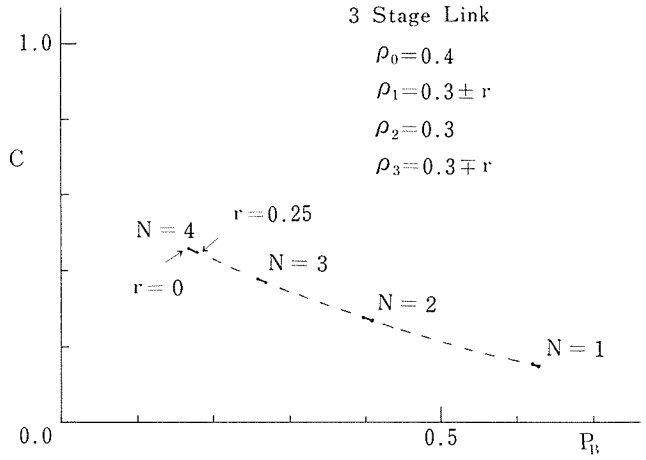

Fig. 4-12 Congestion vs. blocking probability: effect of imbalance on performance

比 N/M を一定として M を増加させた場合の輻輳率，閉塞確率を調べる。

段数 M の増加にともない，輻輳率 C の減少を図示した C–M 特性が，Fig. 4-13 であり，段数の増加は，外部メッセージに対するリンクメッセージの存在確率を相対的に低下させることがわかる。一方，M の増加に対し閉塞確率 P_B の増加を示した Fig. 4-14 の P_B–M 特性は，段数の増加がそれだけ，論理経路上のリンクメッセージの存在確率を高める作用を意味してい

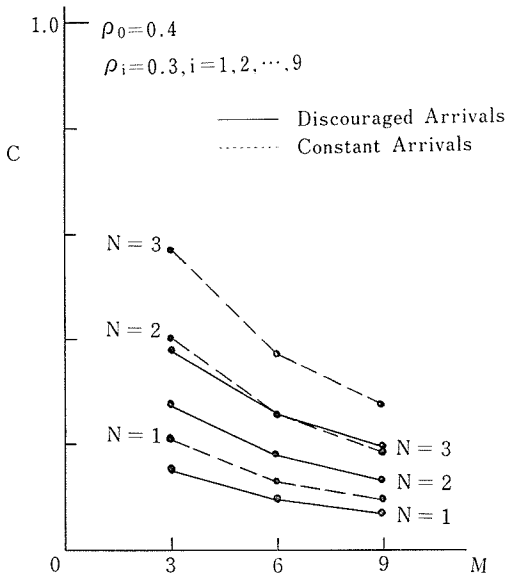

Fig. 4-13 Congestion vs. the number of stages: constant N

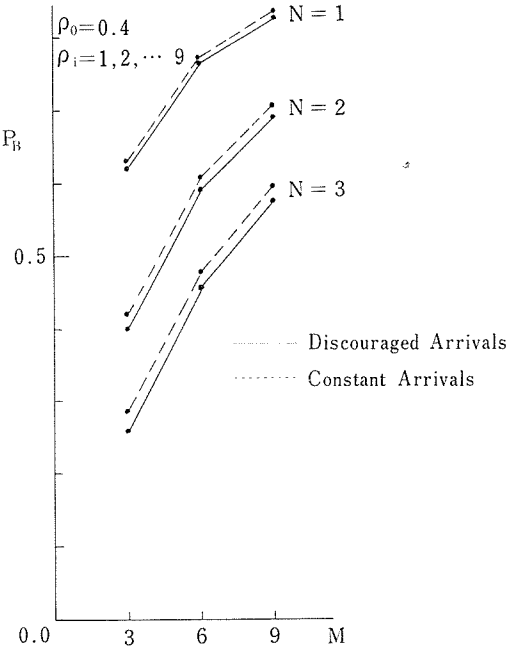

Fig. 4-14 Blocking probability vs. the number of stages: constant N

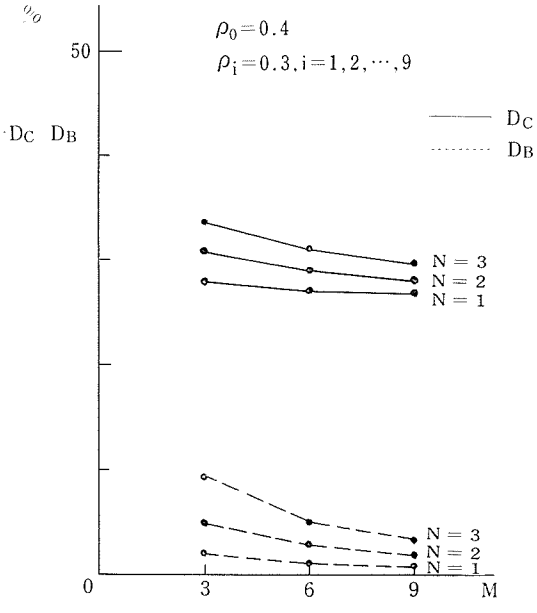

Fig. 4-15 Decreasing rate of congestion and blocking probability vs. the number of stages: constant N

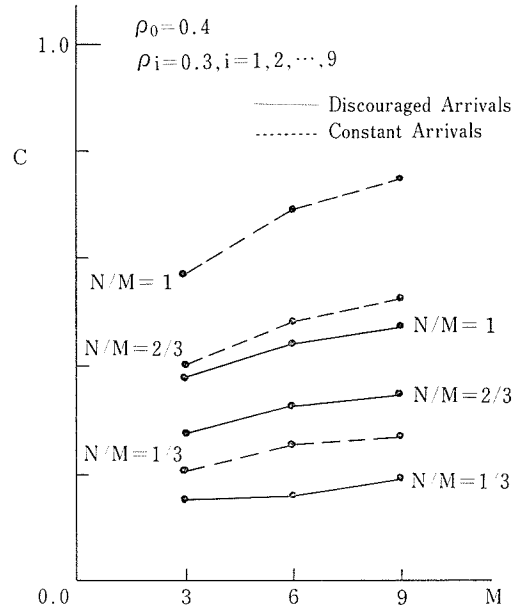

Fig. 4-16 Congestion vs. the number of stages: constant ratio N/M

る。また外部 discouraged 到着率の一定外部到着率への効果は，Fig. 4-15 の D_C–M 特性と D_B–M 特性から示される様に，減少率 D_C が D_B より大きい。このことから，段数の変化においても，外部 discouraged 到着率は，外部メッセージの特性改善に大きな効果をもつことがわかる。

つぎに，段数の増加に対し，N/M が一定となる様に制御パラメータを増加させたときの特性

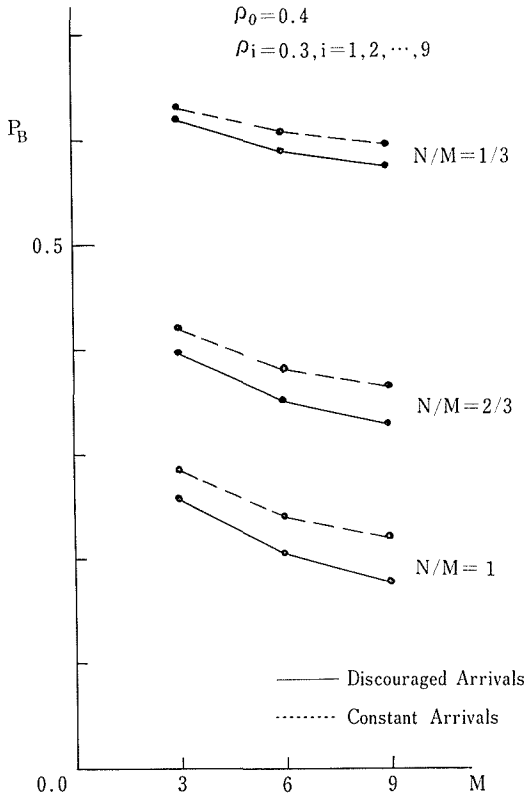

Fig. 4-17 Blocking probability vs. the number of stages: constant ratio N/N

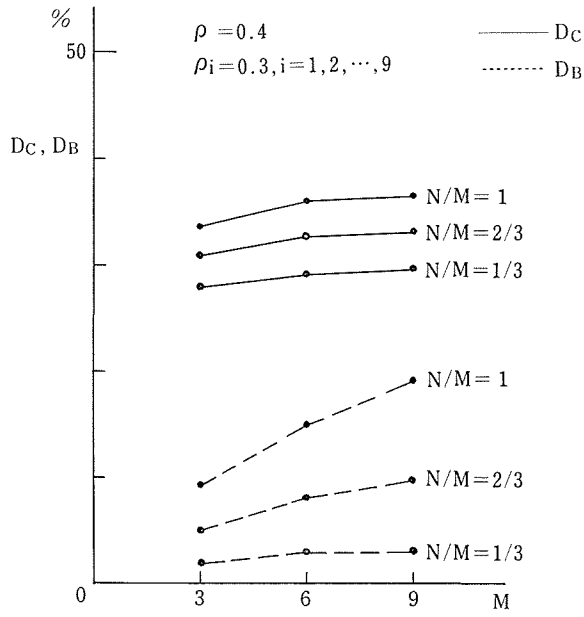

Fig. 4-18 Decreasing rate of congestion and blocking probability vs. the number of stages: constant ratio N/M

を示したのが，Fig. 4-16～18 である。N=一定とした時の M の増加に対する特性 Fig. 4-13～15 の場合と逆の性質を，これらの図は示している。すなわち，N=一定のもとで M を増すと，C は減少し，P_B は増加するが，N/M=一定となる様に N も増加させると，C は増加し，P_B は減少する。このことから，N と M の増加は，互いに，特性に対して逆の作用をもつことが示され，さらに，段数 M の変化の C と P_B に与える効果は，N の変化のそれに比較して小さい。

Fig. 4-18 の外部 discouraged 到着率の一定外部到着率に与える効果は，Fig. 4-15 とは反対に，M の大きい程その効果は大きいが，Fig. 4-15 と同様，D_C は D_B よりも大きい。

4.5 % 改 善 率

4.1 から 4.4 節における外部メッセージの特性の評価として，輻輳率を用いてきたが，この節では，%改善率から外部 discouraged 到着率の輻輳制御の効果を調べる。

Fig. 4-19 は，ρ_i=0.3, (i=1, 2, 3) のもとで，ρ_0 と N を変えた時の%改善率—閉塞確率 (I-P_B) 特性を図示している。これより，N を変化させても，I はほぼ一定値をとり，ρ_0 の大きい程，%改善率が増加することが示される。このことは，ρ_0=0.4 として，ρ_i と N を変化させた I-P_B 特性の Fig. 4-20 からも，同じ様子がうかがえる。

また，Fig. 4-21 の不均一性による効果を示している I-P_B 特性から，不均一性の増加とともに，%改善率の増加することがわかる。その結果，トラフィック密度およびその不均一性の増加に対して，輻輳制御による改善効果が著るしいことが示される。一方，トラフィック密度が小さく，一様で，輻輳制御パラメータの大きい程，%改善率は小さい。

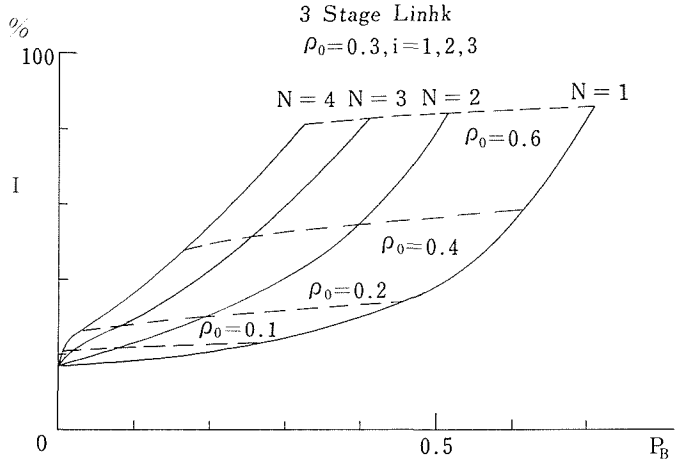

Fig. 4-19 Improvement vs. blocking probability: effect of link messages traffic on performance

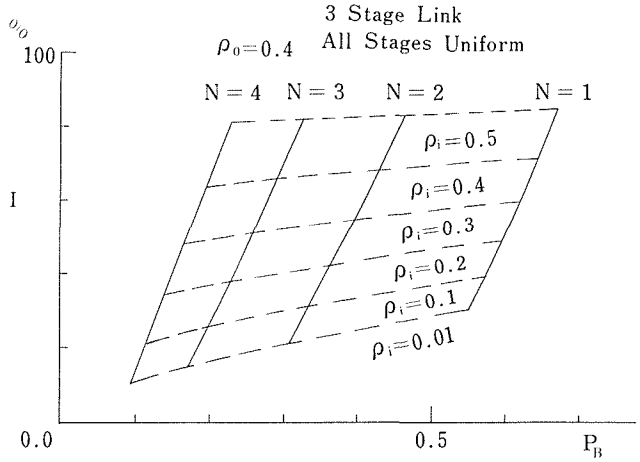

Fig. 4-20 Improvement vs. blocking probability: effect of external messages traffic on performance

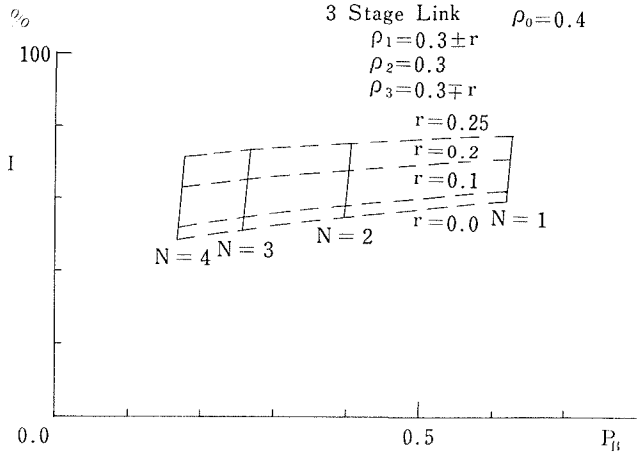

Fig. 4-21 Improvement vs. blocking probability: effect of imbalance on performance

4.6 制御パラメータ

制御パラメータ N の簡単な設計を行うために，一定外部到着率と外部 discouraged 到着率の場合の C–P_B 特性を Fig. 4–22 に図示した。ここで，$\rho_0=0.4$，$(i=1, 2, \cdots, 9)$，段数として $M=3, 6, 9$ とし，制御パラメータも $N=1$ から 9 まで考えた。制御パラメータを設定する方針として，二通り考えた。そのひとつは，最大許容輻輳率 $C_{\max}$ を指定して，そのなかで閉塞確率 P_B を最小にする N を決める方法（方法 I）と，最大許容閉塞確率 $P_{B\,\max}$ を定めて，そのなかで最小な輻輳率を与える N を決める方法（方法 II）である。前者の例として，$C_{\max}$ を 0.5，後者の場合，$P_{B\,\max}$ を 0.4 とした時の結果が Table I に示されている。方法 I の場合，外部 discouraged 到着率を考えた方が，一定外部到着率の場合より制御パラメータを約 2 倍にすることができる。その時の N/M 比もほぼ 1 程度となり，段数の小さい程 1 より大きい。

一方，方法 II の場合，一定外部到着率と外部 discouraged 到着率の場合では，ほぼ同じ N の値をとるが，その時の両者の輻輳率が著しく異なる。そこで，一定外部到着率と同程度の輻輳率を許した外部 discouraged 到着率の N を示すと，括弧の中の数字で与えられる。これによると，方法 I の場合と同様，2 倍から 1.3 倍の N の増加が見込まれ，閉塞確率も小さくなる。

以上のことから，外部 discouraged 到着率による輻輳制御のパラメータ特性に対する改善の寄与の大きいことがわかる。

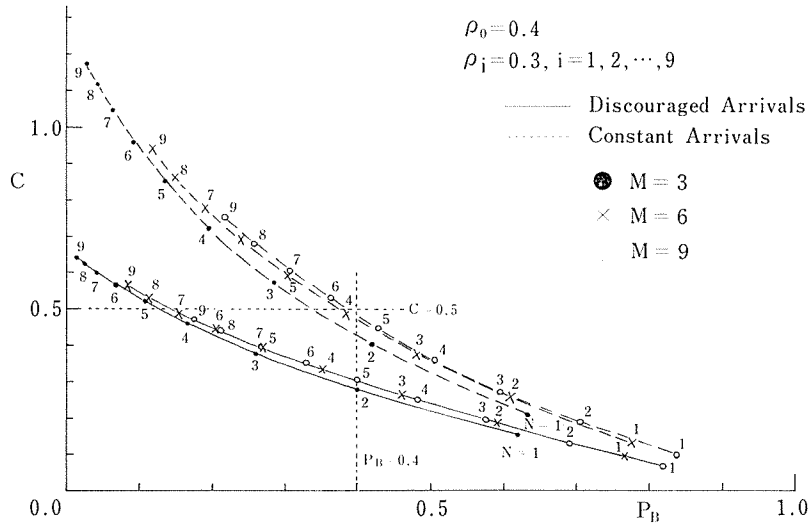

Fig. 4-22 Congestion vs. blocking probability: effect of the number of stages and control parameter on performance

Table 1. Typical control parameter N

	Method I	$C<0.5$	Method II	$P_B<0.4$
M	Constant	Discouraged	Constant	Discouraged
3	2	4	4	2 (6)
6	4	7	7	4 (6)
9	5	9	9	5 (9)

5. 結　　言

第4章の特性解析から，外部 discouraged 到着率を考慮した end-to-end 輻輳制御方式は，一定到着率の場合と比較して，つぎの特長をもつ。

(1) 一定外部到着率の輻輳率より，十分小さな輻輳率となる。

(2) 一定外部到着率の閉塞確率より，小さな閉塞確率を得るが，閉塞確率の減少率は，輻輳率の減少率に比較して小さい。

(3) 論理経路上の全外部トラフィック密度を一定としたとき，トラフィック密度の不均一性による輻輳率，閉塞確率の変化は，ほとんどない。また，輻輳率および閉塞確率の減少率は，不均一性の増加にともない増す。

(4) N=一定のとき，論理経路の段数の増加にともない輻輳率は減少し，閉塞確率は増加するが，N/M=一定のとき，輻輳率は増加し，閉塞確率は減少する。

(5) %改善率は，制御パラメータにほとんど依存せず，トラフィック密度および不均一性が増す程，%改善率は大きい。

(6) 同一輻輳率のもとで，一定外部到着率の場合より制御パラメータの大きい，閉塞確率の小さいシステム設計が可能となる。

(7) 考察した模型の性質から，外部 discouraged 到着率は，外部メッセージの特性に対して大変望ましい結果を得る。一方リンクメッセージの特性に対しては，二次的な良い成果が得られる。

この様な外部メッセージの特性に対して著しく良い特性をもつ外部 discouraged 到着率の end-to-end 輻輳制御方式を提案したが，今後は，この様な到着率を如何に具体化するかの問題が残される。さらに，輻輳の制御を評価するのに用いた輻輳率と閉塞確率を含めた新しい評価関数の考察も，今後の重要な問題である。

参 考 文 献

1) M. C. Pennotti and M. Schwartz, "Congestion Control in Store and Forward Tandem Links", IEEE Trans. on Communications, COM-23, 12 (1975) pp. 1434–1443.
2) 本間，加地，"状態依存性到着率の計算機網における end-to-end 輻輳制御方式の解析"，日本 OR 学会，(1978) 春アブストラクト集，2C1，pp. 155–156.
3) 本間，加地，"状態依存形到着率をもつ計算機網の輻輳制御の解析"，電気学会システム制御研究会資料，SC–78–11.
4) L. Kleinrock, "Queueing Systems, Vol. 1: Theory", John Wiley & Sons, N. Y., (1975) pp. 99–101.
5) M. C. Pennotti, "The Control of Congestion in Message Switched Networks", Ph. D. dissertation, Polytechnic Inst. N. Y., June 1974.
6) J. D. C. Little, "A Proof of the Queueing Formula $L=\lambda W$", Operations Research 9, (1961) pp. 383–387.
7) J. P. Buzen, "Computational Algorithms for Closed Queueing Networks with Exponential Servers", Commun. Ass. Comput. Mach., 16 (1973) pp. 527–531.