

# 連携型待ち行列ネットワークシステムにおける 施設間負荷分散制御の効果検証

高木健斗<sup>†</sup>

奥田隆史<sup>†</sup>

愛知県立大学情報科学部情報科学科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

新型コロナウイルス感染症は世界各国で流行している [1]. 我が国においても新型コロナウイルス感染症の新規感染者の増加が続いている. その結果, 都市部を中心に, 医療需要が医療供給量を継続して超過する医療崩壊が懸念されている [2]. ただし, 全ての都道府県で医療崩壊が懸念されているわけではない. 2020年12月25日時点では, 都道府県毎の確保病床使用率は異なっている. 確保病床使用率が最も大きい大阪府は66.9%, 最も小さい秋田県は1.8%となっている [3]. 同様に各医療施設においては, 患者の受け入れ状況に偏りがあることも報告されている [4].

つまり, もし医療施設間の連携により, 医療施設間での患者 (利用者) の移動やリソースの提供などが可能となっていれば, 上記の偏りを吸収することができ, 医療崩壊を未然に防ぐことができる可能性が示唆される. ここで, リソースとは人的・物的資源を指し, 医師, 看護師, 再来受付機などが含まれる.

本研究では, 医療施設などのサービス提供施設間の連携による利用客の待ち時間減少を離散シミュレーションにより検証する. 複数のサービス提供施設を待ち行列ネットワークシステム (以後 **QN**) としてモデリングする. そして, 各 **QN** が連携した**連携型 QN** を構築し, 2種類の負荷分散制御手法を適用する.

以下, 第2節では連携型 **QN** について述べ, 第3節では負荷分散制御手法である利用者移動手法, リソース提供手法について述べる. 第4節では医療施設をモデリングし, 負荷分散制御手法が与える効果を離散シミュレーションにより検証する. 第5節でまとめと今後の課題について述べる.

## 2 連携型 QN

連携型 **QN** は図1で示すように,  $M$  個の互いにつながっている  $QN_i (i = 1, 2, \dots, M)$  で構成される.  $QN_i$  内で混雑が発生した場合,  $QN_k (k \neq i)$  からリソースの提供や,  $QN_k$  へ利用客の移動を行う.

$QN_i$  は独立した  $n$  個のユニットから構成されるものとする.  $QN_i$  に到着した利用客は1番目のユニットの待ち行列の後ろに並ぶ. 各ユニットでは先頭の利用客から順にサービスを受け次のユニットへ進む.  $n$  番目のユニットでのサービスを利用し終えたとき  $QN_i$  から退出する.

なお, ある  $QN_i$  の利用客は独立した到着率  $\lambda_i$  の指数分布に従い到着するものとする.  $QN_i$  内の  $j$  番目のユニットにおける窓口のサービス時間は正規分布に従い, 平均サービス時間は  $h_{ij}$  [分], 標準偏差を  $\sigma_{ij}$  [分], 窓口数を  $S_{ij}$  とする.

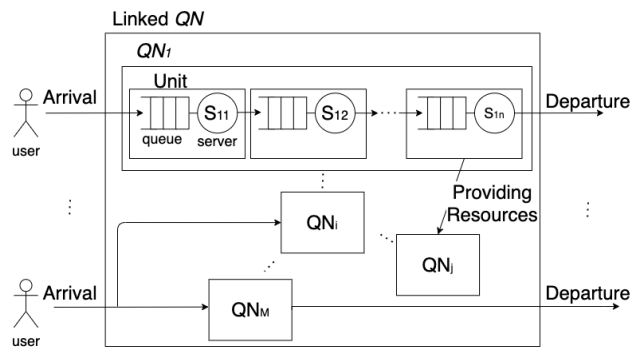


図1: 連携型 QN モデル

## 3 負荷分散制御手法

$QN_i$  に複数の利用客が集中すると待ち行列が形成され, 利用客の待ち時間が増加するという負荷が生じる. このとき, 負荷が集中していない  $QN_i$  から負荷が集中している  $QN_k$  へ2つの負荷分散制御手法を適用する. 以下で各手法を述べる.

- (1) **利用者移動手法**: ある  $QN_i$  に到着する利用客に着目する.  $QN_i$  に利用客が集中している場合, 新たに到着した利用客を移動確率  $p_m$  で利用客が集中していない  $QN_i$  に移動させることにより負荷を分散する. 利用客の移動時間は正規分布に従い, 平均  $h_m$  [分], 標準偏差  $\sigma_m$  [分] とする.
- (2) **リソース提供手法**:  $QN_i$  内の各ユニットに着目する. ユニット内に利用客が集中している場合, 負荷が集中していない  $QN_i$  から負荷が集中している  $QN_k$  へリソースを提供する. 以下でリソース提供手法を2種類提案する.
  - (2-1) **窓口増設**: 医師, 看護師などの人的リソースを提供することにより窓口数が増加する.  $j$  番目のユニットの提供数を  $\Delta S_j$  とすると,  $QN_i$  の窓口数は  $S_{ij} + \Delta S_j$  となる. 一方で, 提供する場合, 提供数を  $\Delta S_j$  とすると, 窓口数は  $S_{ij} - \Delta S_j$  となる.
  - (2-2) **サービス効率化**: 再来受付機などの物的リソースを提供することにより, サービス提供を円滑に行うことができる.  $j$  番目のユニットのサービス短縮時間を  $\Delta h_j$  [分] とすると,  $QN_i$  の平均サービス

Verify the effectiveness of variance control in queue network system

<sup>†</sup>Kento TAKAGI, Takashi OKUDA

<sup>†</sup>Department of Information Science and Technology, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

時間は  $h_{ij} - \Delta h_j$  となる。一方で、提供する場合、サービス増加時間を  $\Delta h_j$  とすると、サービス時間は  $h_{ij} + \Delta h_j$  となる。

#### 4 数値例

本稿において、利用客は医療施設に到着後、受付ユニットに入り、診察の手続きを行う。その後、診察室で診察を受け、最後に会計を済ませ医療施設から退出するものとする。

ここでは、逼迫している小規模の医療施設を  $QN_1$  とし、逼迫していない中規模の医療施設を  $QN_2$  として考察する。すなわち  $QN$  数  $M = 2$  の連携型  $QN$  を構成することになる。各  $QN$  はユニット数  $n = 3$  とし、受付 (reception), 診察 (medical examination), 会計 (accounting) からなるものとする。

利用客は医療施設  $QN_1, QN_2$  に独立して訪れる。小規模な医療施設の混雑状況を通常時、混雑時に到着率を定め、負荷分散制御の効果検証を行う。値は通常時の到着率を  $\lambda_1 = 0.1$ , 混雑時の到着率を  $\lambda_1 = 0.125$  とする。 $QN_2$  の到着率は混雑状態によらず  $\lambda_2 = 0.2$  とする。

$QN_1, QN_2$  内の各ユニットの値は、受付ユニットは  $h_{i1} = 10, \sigma_{i1} = 2$ , 診察ユニットは  $h_{i2} = 10, \sigma_{i2} = 3$ , 会計ユニットは  $h_{i3} = 8, \sigma_{i3} = 2$  とする ( $i = 1, 2$ )。また、窓口数は  $S_{1j} (j = 1, 2, 3), S_{21} = 3, S_{22} = 2, S_{23} = 1$  とする。なお二つの医療施設では、患者は到着順にサービスの提供が行われる。システム内許容客数は無限とする。

中規模の医療施設  $QN_2$  が小規模の医療施設  $QN_1$  に対し負荷分散制御手法 (1), (2-1), (2-2) を独立して適用する。

- (1) 移動確率  $p_m = 0.2$ , 平均移動時間  $m = 5$ [分], 標準偏差  $\sigma_m = 2$ [分] とする。
- (2-1) 窓口増加数  $\Delta S_1 = 1$  とする。
- (2-2) サービス短縮時間  $\Delta h_1 = 2$ [分] とする。

医療施設の1日の営業時間である8時間のシミュレーションを30回行い、各ユニットにおける患者の平均待ち時間の平均値 [分] を算出した値を用いて評価をする。シミュレーションには汎用シミュレーションパッケージ S-quattro Simulation System[5] を使用する。

通常時、混雑時における医療施設モデルのシミュレーション結果をそれぞれ図2, 3に示す。縦軸が平均待ち時間 (mean waiting time) [分] を示しており、横軸が負荷分散制御手法の番号を示している。Base は負荷分散制御手法を適用していない状態, (1), (2-1), (2-2) はそれぞれ負荷分散制御手法の利用客移動手法, サービス効率化, 窓口増設を適用した状態を示している。

図2では(1)を用いた場合、 $QN_2$  の診察ユニットに負荷が集中したため待ち時間が増加した。(2-1)では $QN_1$  の受付ユニットの待ち時間は大きく減少したが、 $QN_1$  の診察ユニットの待ち時間が増加した。待ち時間を  $QN_1$  と  $QN_2$  で均等にする場合、(2-2)が最も有効である。

図3では(1)を用いることにより  $QN_1, QN_2$  に到着してから退出する合計待ち時間が最小となった。そのため、混雑時には(1)が有効である。

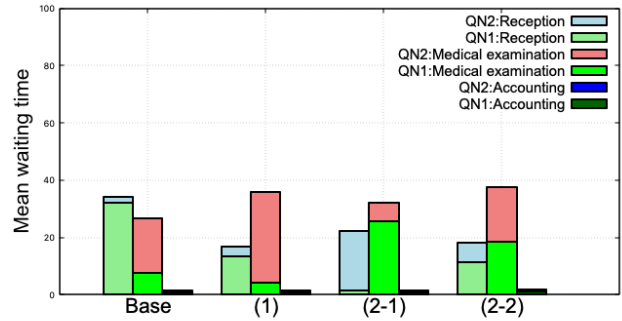


図2: 通常時の各ユニットの待ち時間

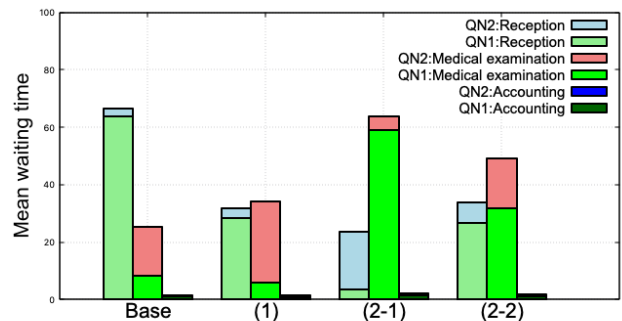


図3: 混雑時の各ユニットの待ち時間

#### 5 おわりに

本研究では、先ず連携型  $QN$  における2種類の負荷分散制御手法を提案した。次に提案手法の効果を検証するために、連携した2つの医療施設を想定し、連携型  $QN$  としてモデリングした。さらに連携型  $QN$  における各ユニットにおける負荷分散制御手法の効果を確認シミュレーションにより検証した。

今後の課題は、飲食店や百貨店などのさまざまなサービス提供施設に応用すること、検証結果の有効性を検証、負荷分散制御手法を組み合わせた場合の効果について検証、利用客の到着分布を変更しシミュレーションを行うことがある。

#### 参考文献

- [1] 外務省, “各国・地域における新型コロナウイルスの感染状況”, [https://www.anzen.mofa.go.jp/covid19/country\\_count.html](https://www.anzen.mofa.go.jp/covid19/country_count.html), 最終閲覧日 2021 年 1 月 3 日。
- [2] 藤井聡他, “国民被害の最小化を企図した新型コロナウイルス対策における基本方針の提案”, 実践政策学, Vol6-1, pp.103-108, 2020.
- [3] 厚生労働省, “感染拡大に伴う入院患者増加に対応するための医療提供体制確保について”, <https://www.mhlw.go.jp/content/000712371.pdf>, 最終閲覧日 2021 年 1 月 2 日。
- [4] 厚生労働省, “都道府県の医療提供体制等の状況 (医療提供体制・監視体制・感染の状況) について (6 指標)”, [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/newpage\\_00035.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/newpage_00035.html), 最終閲覧日 2021 年 1 月 2 日。
- [5] NTT データ数理システム, “S<sup>4</sup> Simulation System”, <https://www.msi.co.jp/s4/>, 最終閲覧日 2020 年 12 月 12 日。