

周回を許す図書館の貸出図書の待ち行列

千葉大学 *白木詩乃 SHIRAKI Shino
01207040 千葉大学 塩田茂雄 SHIODA Shigeo

1. はじめに

公共図書館における貸出予約件数は年々増加している。特にベストセラー本に対する予約が集中し、大きな図書館では1つのタイトルに数百件の予約がつくなど、これまでにない予約件数が数えられるようになった。千葉市の公共図書館における貸出予約件数ベスト100に入る“樹木希林 120の遺言”という図書は2019年6月20日の時点で所蔵冊数20冊に対し、予約件数は416件となっていた。千葉市の公共図書館の貸出期間の限度は2週間であるため、この状態から利用者が予約を入れると10ヶ月ほど待つ可能性がある。

千葉市の公共図書館のように、多くの図書館では貸出期間は2週間程度以内と定められている。2週間を超えて借りる場合は、図書を一旦返却し、予約待ちの行列に並び直すルールを採用すると¹、これは周回（フィードバック）のある待ち行列とみなせる。本研究では、図書館の貸出図書の予約待ちの行列を「周回のある待ち行列システム」としてモデル化し、貸出期間の制限を変えることにより、どのような効果が生じるかを数値的に確認する。以前我々は、短期貸出客に優先的に貸し出す図書を設けることにより、利用者全体の平均待ち時間を軽減する方策の有効性を検討した[1]が、この方策との関係についても考察する。

2. 周回を許す図書館の貸出図書の待ち行列

貸出図書を「窓口」とみなし、貸出図書の待ち行列を複数の窓口からなる待ち行列としてモデル化する。窓口の数は c とする。客は到着率 λ のポアソン過程に従って到着する。客が要求するサービス時間（総借出期間）は平均 $1/\mu$ をもつ指数分布に従うとする。到着時に窓口空きがある場合、空いている1つの窓口でサービスを受ける。全ての窓口が利用されている場合、客は共通の待ち室で待機し、窓口が空いた時点で、待ち室で待機中の客のうち到着が最も早い客が空いた窓口でサービスを受ける。窓口で受けることのできる一回のサービスには制限時間（貸出期間制限）があり、客の要求サービス時間が制限時間を超える場合は、制限時

¹一般には貸出期間の延長が行われるが、本稿では延長の代わりに、並び直しを取り入れる。

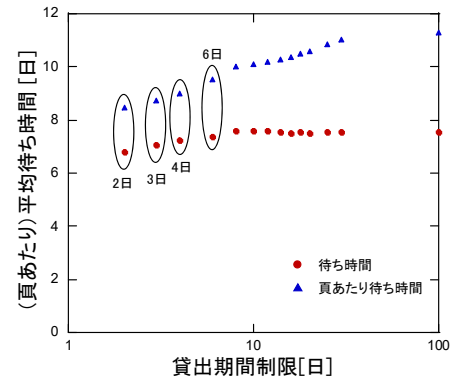


図 1: 平均待ち時間と貸出期間制限の関係 ($\rho = 0.95$)

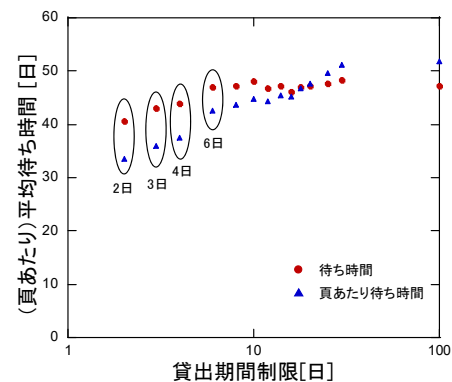


図 2: 平均待ち時間と貸出期間制限の関係 ($\rho = 0.99$)

間内のサービスを受け、残りのサービスは、再び待ち行列に並びなおして受けることとする。

3. 貸出期間制限を変えることによる効果

本研究では、通常は2週間以内とされている貸出期間制限を変更することの効果进行分析した。2章のモデルは、複数の窓口を有する周回を許す待ち行列であり、解析的なアプローチは困難であるため、シミュレーションにより効果の分析を行った。総借出期間の平均値は10日、窓口数は20とし、利用率が0.95もしくは0.99となるように客の到着率 λ を1.9 [人/日]もしくは1.98 [人/日]と定めた。

図1と図2は貸出期間制限を2日から100日まで変えて、平均待ち時間をプロットしたものである。なお、総借出期間が貸出期間制限を超える場合、客は複数回待ち行列に並ぶこととなり、そのたびに待ち時間が発

生するが、それら待ち時間の総和をその客の最終的な待ち時間としている。

図1と図2より、貸出期間制限を6日より短くすると平均待ち時間は有意に減少することが確認できる。この理由は次のように説明できる。貸出期間制限を短くすると、周回が不要な（総借出期間が貸出期間の制限内に収まる）客は、事実上、周回が必要な客に割り込んでサービスを受けられるようになる。これは、短期貸出客を優先処理することと同値である。サービス時間が短い客を優先処理すると、全体の待ち時間は減少することが知られており、従って、貸出期間制限を短くすることで平均待ち時間が減少すると考えられる。

なお、貸出期間制限を短くすると、何回も周回が必要となり、周回のたびに待ち時間が加算されるので、本の後半のページにたどりつくまでの時間は延びるが、本の前半は比較的短い待ち時間で読むことができるはずである。この効果を確認するため、頁毎に読めるまでに必要な待ち時間（頁あたり待ち時間）を評価し、その平均値も図に示した。頁あたり待ち時間は貸出期間制限を短くするほど、ほぼ単調に減少する。

4. 短期貸出客の優先処理との関係

以前、我々は、短期貸出客に優先的に図書を貸し出すことにより、利用者全体の平均待ち時間を軽減する方策の有効性を検討した[1]。この方策では、例えば3日以内に返却する客を短期貸出客、それ以外の客を一般客とし、短期貸出客と一般客の待ち行列を分ける。窓口が空いたときは、短期貸出客用の待ち行列の先頭の客を案内し、短期貸出客がいない場合に限り、一般客を案内することとする。この方策により、短期貸出客の平均待ち時間は大幅に減少し、一般客の待ち時間は若干増加するものの、全体の平均待ち時間は減少することを確認した。

この方策を取ると、短期貸出客の平均待ち時間は一般客の平均待ち時間より大幅に短くなる。その結果、一般客が短期貸出客となって周回して借りる方が結果的に得をする場合が生じる²。もし、一般客全員が短期貸出客となって周回して借りることを選ぶと、短期貸出客用の貸出期間を全員の客に一律に課すこと（つまり2章のモデル）と同じになる。

そこで、本研究では、短期貸出客に優先貸出を行い、一般客が短期貸出客として繰り返し借りることは許さ

²例えば3日以内に返却する客を短期貸出客とすると、短期貸出客の平均待ち時間が1日、一般客の平均待ち時間が100日の場合、計14日借りる客であっても短期貸出客として5回周回する方が得である。

表 1: 待ち時間: $\rho = 0.95$

| 総借出期間 | ≤ 3 日 | > 3 日 | 全体平均 |
|-------|------------|---------|--------|
| 方策 1 | 0.47 日 | 7.83 日 | 5.92 日 |
| 方策 2 | 1.89 日 | 7.80 日 | 6.27 日 |
| 方策 3 | 2.12 日 | 8.77 日 | 7.05 日 |

表 2: 待ち時間: $\rho = 0.99$

| 総借出期間 | ≤ 3 日 | > 3 日 | 全体平均 |
|-------|------------|---------|--------|
| 方策 1 | 0.60 日 | 49.2 日 | 36.6 日 |
| 方策 2 | 12.0 日 | 49.8 日 | 40.0 日 |
| 方策 3 | 13.5 日 | 53.3 日 | 43.0 日 |

表 3: 頁あたり待ち時間: $\rho = 0.95$

| 総借出期間 | ≤ 3 日 | > 3 日 | 全体平均 |
|-------|------------|---------|--------|
| 方策 1 | 1.01 日 | 12.7 日 | 9.69 日 |
| 方策 2 | 2.43 日 | 10.3 日 | 8.22 日 |
| 方策 3 | 2.66 日 | 10.9 日 | 8.74 日 |

表 4: 頁あたり待ち時間: $\rho = 0.99$

| 総借出期間 | ≤ 3 日 | > 3 日 | 全体平均 |
|-------|------------|---------|--------|
| 方策 1 | 1.28 日 | 55.4 日 | 41.4 日 |
| 方策 2 | 12.7 日 | 42.2 日 | 34.5 日 |
| 方策 3 | 14.2 日 | 43.6 日 | 36.0 日 |

ない場合（方策 1）、短期貸出客への優先貸出を行いつつ、一般客が（総借出期間と待ち時間を勘案して）短期貸出客として繰り返し借りることを許す場合（方策 2）、全員一律に貸出期間制限を課す場合（方策 3）とで、どのような違いが生じるかを、シミュレーションにより分析した。シミュレーションの条件は3章と同じとし、方策 1 と方策 2 での短期貸出客の貸出期間は3日以内（一般客は制限なし）、方策 3 での貸出期間は3日以内とした。

待ち時間に関する結果を表 1 ($\rho = 0.95$) および表 2 ($\rho = 0.99$) に示す。方策 1 が最も待ち時間が短く、方策 3 が最も待ち時間が長く、方策 2 のその中間となる。つまり、客に利己的な行動を許す方策 2 は全体の性能（待ち時間）を若干低下させるが、一律に貸出期間に制限を掛ける方策 3 よりも、短期貸出客を設けて短期貸出客となるか一般客となるかの選択肢を客に与える方策 2 の方が全体の性能は向上する。

一方、表 3 ($\rho = 0.95$) および表 4 ($\rho = 0.99$) は頁あたり待ち時間の結果である。頁あたり待ち時間の観点で見ると、方策 2 が最も良い結果となる。

参考文献

- [1] 白木詩乃, 塩田茂雄, “短期貸出客を優先処理する図書館の貸出図書の待ち行列,” 2018 年度待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, pp.121–122, 2019.